

10. 宮城県におけるメタン濃度の変動について (第2報)

加賀谷秀樹 百川 和子* 佐藤 信俊
宮崎栄一郎

キーワード：メタン、高濃度事例、山谷風、廃棄物埋立

前報において、多賀城地域における間欠的なメタン濃度の上昇現象について、その広域性、季節変化などから測定局近傍の発生源ではないと推定した。この発生源を同定するため、移動観測車を用いて、利府町、大郷町の2カ所において補完調査を行った。その結果、利府町と大郷町の中間にある廃棄物埋立処分場からのメタンが、局地風である山谷風にのってもたらされたものであることが判った。

1. はじめに

地球温暖化ガスの一つとして注目されているメタンについて、大気常時監視局におけるデータを用いて解析し、①宮城県内のメタン濃度は毎年0.6%で増加しており全国的な増加率と同じであること、②多賀城地域の高濃度件数が多いことから高濃度時の事例解析を行い静穏時で特定風向の際に著しく上昇していること、など2、3の見見を得た¹⁾。

そこで本稿では、多賀城地域の高濃度の原因となる発生源及びそのメカニズムについて解明すべく、特定風向の風上側である利府町、大郷町の2カ所に大気汚染移動観測車を配置し、常時監視局との同時測定を各1カ月間行った。

2. 測定地点等

大気汚染移動観測車の観測地点、日時等を表1に示す。平成4年6月に大気汚染移動観測車を多賀城II局の北5キロにあたる利府町の宮城県サッカー場に、また、10月には松島局の北西8キロにある大郷町母子健康センターに設置・観測した。観測項目はメタンを中心にSOX、NOXなどの大気汚染項目と風の流れを知るために風向・風速の観測も行った。

移動観測車も含めた多賀城地域周辺のメタン濃度測定

表1 移動観測車測定地点

測定日時	測定地点	測定項目
平成4年6月5日 ～7月3日	利府町 (宮城県営サッカー場)	CH4, nMHC, THC, SO2, SPM, NO, NO2, NOX, O3, 風向, 風速
平成4年10月2日 ～10月31日	大郷町 (大郷町母子健康センター)	同 上

* 現宮城県消費生活センター

地点を図1に示す。●印がメタンを観測している地点であり、○印の新火力では風向、風速のほか、煙突上160M、100M、45Mの高度で地表との温度差も測定している。この温度差データを大気の安定度を判定する指標として用いた。

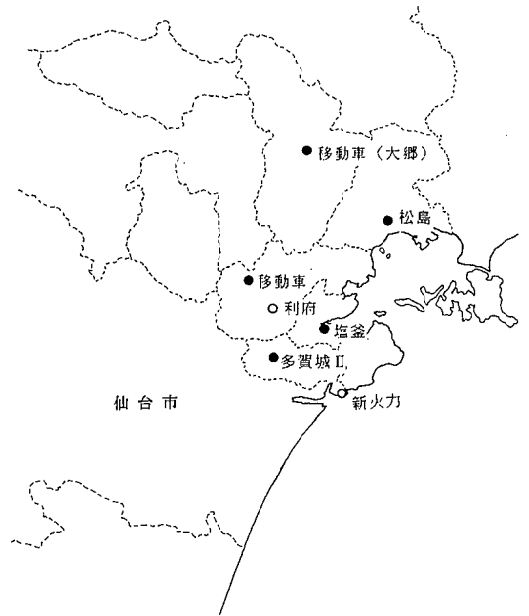


図1 メタン濃度測定地点図

3. 測定結果

(1) 概要

前報²⁾によれば、宮城県におけるメタンのバックグラウンドレベルは1.71ppmCであり、これに県内のメタン発生負荷が加わり県内の年平均値は1.82ppmCと推定される。6月の移動観測車と周辺常時監視局の測定結果を図2に示す。図2の点線がバックグラウンドレベルの1.71ppmCである。仙台市内の測定局では殆どありえない3ppmCを超えるレベルを記録したのは、8回計24時間であった。このときの最高値は移動車が6.7ppmCで、多賀城II局は

2.8ppmCであった。

10月の移動観測車と周辺常時監視局の測定結果を図3に示す。3 ppmCを超えるレベルを記録したのは、3回計

4時間であった。このときの最高値は移動車が3.6ppmCで、松島局は2.2ppmC、多賀城II局は2.8ppmCであった。

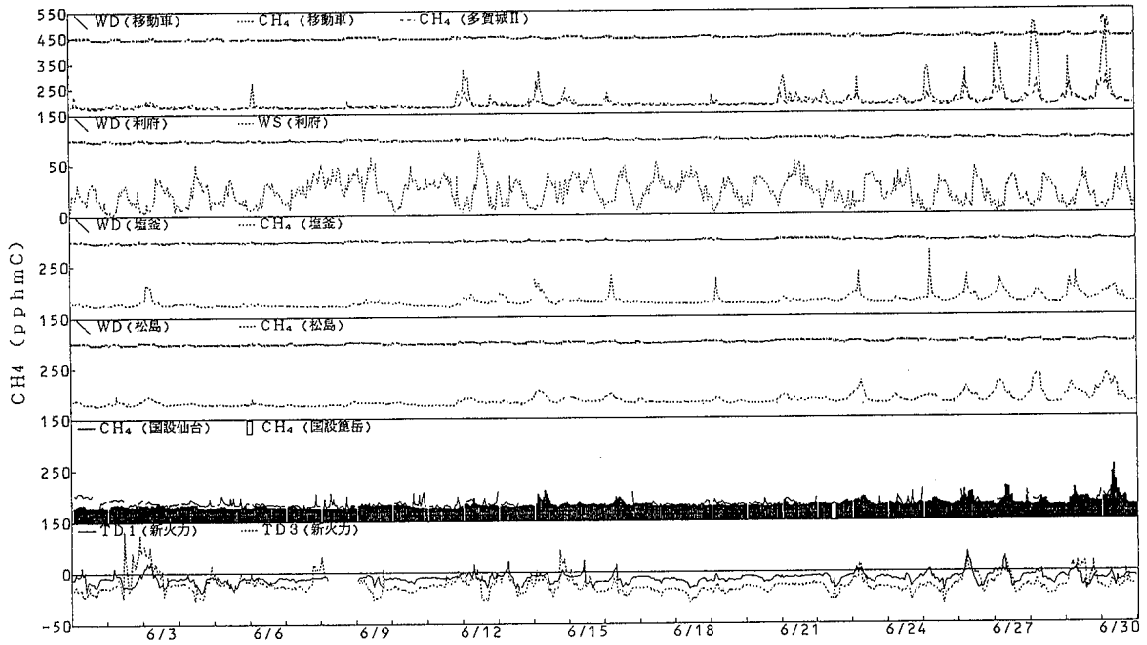


図2 メタン濃度変化図 利府町 (1992年6月1日~1992年6月30日)

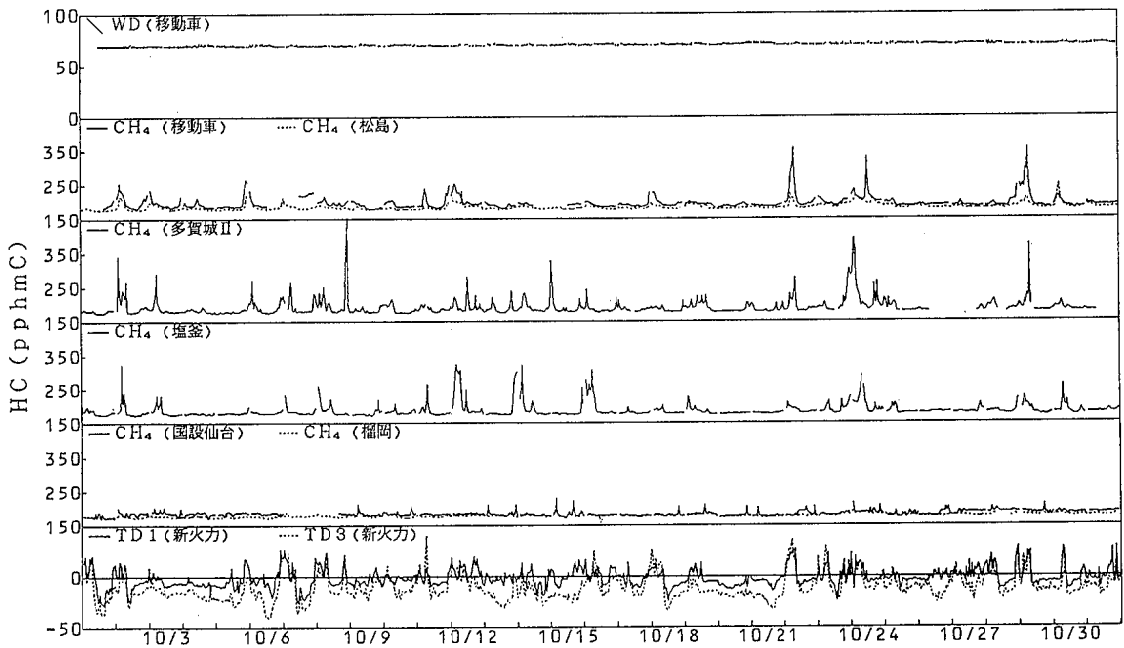


図3 メタン濃度変化図 大郷町 (1992年10月1日~1992年10月31日)

(2) 高濃度事例

1) 事例解析-1 (利府町: 6月27~28日)

図4に高濃度になった6月27日から28日の風の流れを示す。このときの日本付近の天気図では、梅雨の中休みで移動性高気圧に覆われ、穏やかな晴れの日であった。6月27日18時には海風が進入しており、深夜にかけて徐々に海風が弱まり、海風の弱まりとともに明け方にか

けて陸風に変化した。

このときの移動観測車のメタン濃度は、6月28日4時に最高濃度となり、6.7ppmCであった。陸風の風下にあたる多賀城II局では7時に2.8ppmCとなり、塩釜局では2.0ppmCと若干上昇した。一方、松島局でも同日7時に2.4ppmCと上昇したが、国設仙台局などの仙台周辺及び国設筥岳局ではほとんど上昇しなかった。

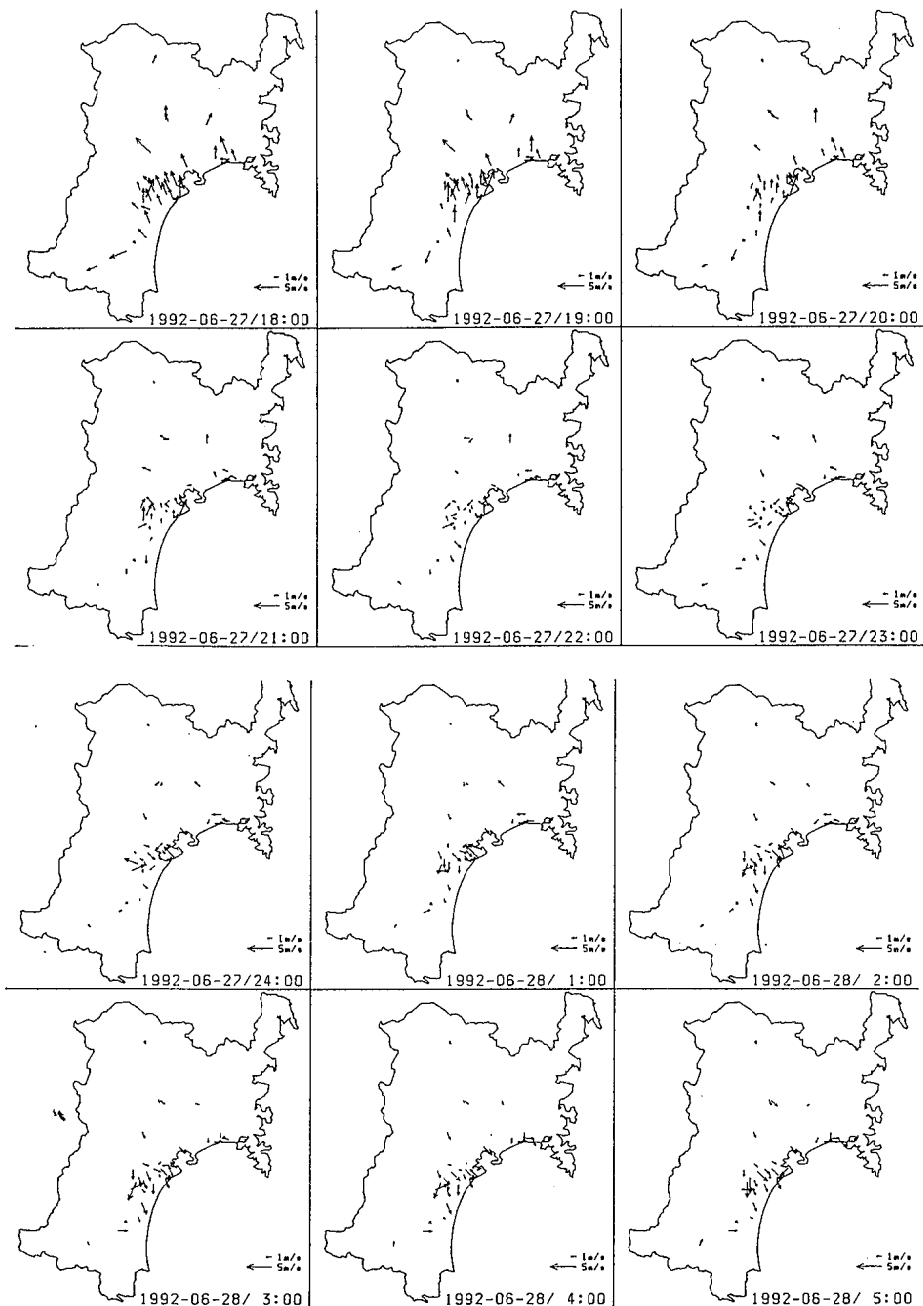


図4 6月27日~28日の風の流れの変化

2) 事例解析-2 (大郷町: 10月21~22日)

10月21日の天気概況は、日本海の気圧の谷が移動中でこれに伴い関東の東沖に低気圧が発生し、雲の多い天気であった。翌22日は大陸の高気圧が張り出しつつあった。図5に示すように21日18時から23時頃まで北よりの風が吹いていたが、22日になってから徐々に風が弱まり、9

時頃まで静穏な状態が続いた。

このときの移動観測車のメタン濃度は、10月22日8時に最高濃度となり3.6ppmCであった。移動車の南東にある松島局では6時に2.3ppmCとなり、多賀城II局では2.8ppmCと若干上昇したが、塩釜、国設仙台、国設箕岳局ではほとんど上昇しなかった。

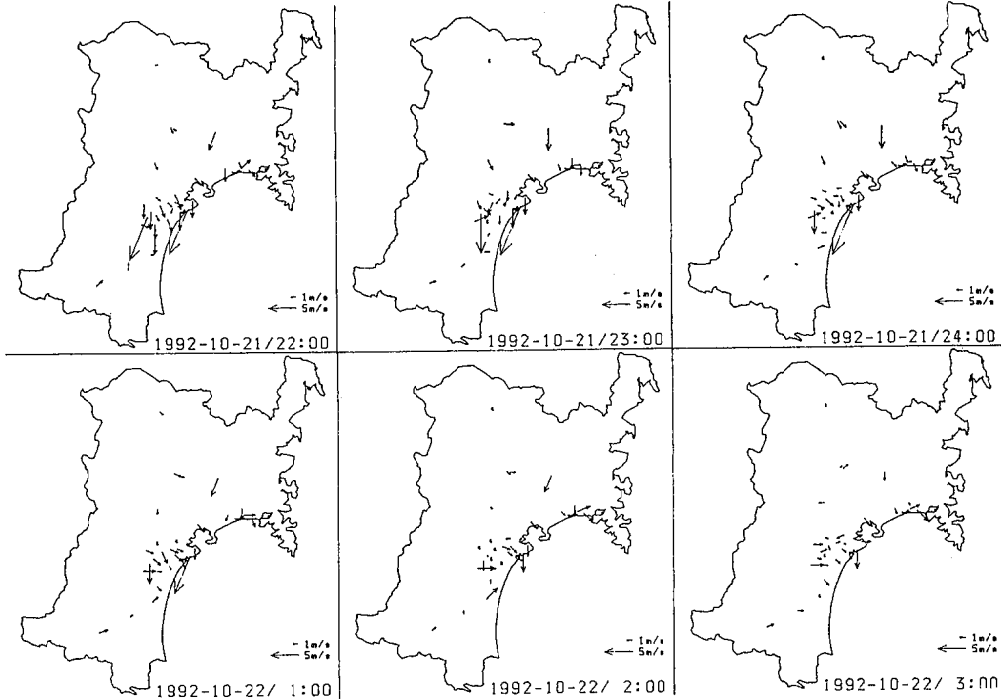


図5 10月21日~22日の風の流れの変化

(3) 大気安定度からの検討

図2, 3を見て判るように、温度差がプラスあるいはゼロ付近にある時にメタンの間欠の高濃度が記録されている。事例解析-1においては、6月28日1時頃から9時頃にかけてゼロ付近にあり、中立的な成層状態だったと推定される。一方、事例解析-2においては10月22日0時から9時まで強い逆転層が形成されていた。

このように新火力の温度差が大気の安定度の重要な指標になっており、メタンが上昇する際は、多賀城地域周辺でも大気の成層状態は中立から強い安定となっていると推定される。

(4) 山谷風によるメタンの移流

上記(2)の高濃度事例から、一般風が弱く局地的な海陸風に支配され、かつ逆転層が形成されている静穏な気象条件の時に、メタンは高濃度となっている。このような気象条件の時に、地形の影響により局地風である山谷風

が発生する。図6に山谷風のモデルを示す²⁾が、山谷風は山間部と平野部との間で起こり、一般風の弱い時に同高度の大気温度の差に由来するものである。夜の始まりから斜面に沿って冷たい風が流下し、徐々に発達する。そして夜間には山風という山を谷に沿って下り降りる気流が生成する。

利府町と大和町の境界には100m前後の丘陵地が存在することから、この地域では気象条件さえ満足すれば山谷風が卓越するものと推定される。

一方、ここにはメタンの発生源の一つ³⁾である大規模な廃棄物埋立処分場がある。そして、事例解析-1の利府町の場合には、北よりの風の際にメタンが上昇し、事例解析-2の大郷町の場合には、反対の南よりの風の際にメタンが上昇することから、我々は、ここからのメタンが山風によって多賀城、塩釜及び大郷、松島方面へ移流し高濃度をもたらすものと推定した。

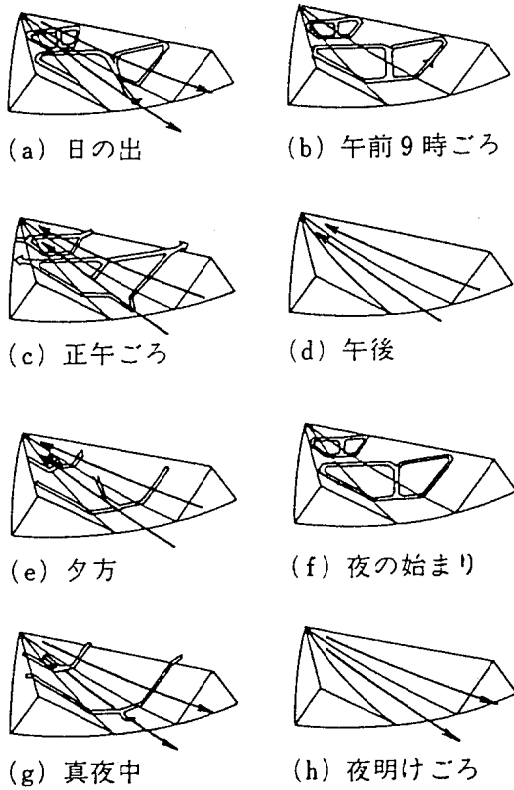


図6 山谷風のモデル (Defant, 1963)

4. まとめと考察

- (1) 移動車の測定値で3 ppmCを超える高濃度を記録したのは、6月が7回計24時間であり、10月が3回計4時間であった。最高値はそれぞれ6.7, 3.6ppmCであった。
- (2) 事例解析の結果、移動車及び多賀城II局のメタン濃度は同時に変動し、南よりの風から北よりの風に変化するとともに急激に濃度が上昇し、南の風になると再び下降し平常レベルに戻った。また、10月の大郷町では、利府と異なり南の風の時に急激に上昇し、やはり松島局と同時に変動していた。
- (3) 以上の結果、多賀城地域のメタン上昇の発生源は利府町と大郷町の中間の丘陵地にある廃棄物埋立処分場であると推定した。

しかし、平成2年度全国の一般環境大気測定結果によれば、東京都、神奈川県などでも本地域よりレベルの高い地点があることから、問題とするようなレベルではないものの、地球温暖化対策の面では有効利用の方策等検討が必要かと思われる。

参考文献

- 1) 加賀谷秀樹他：宮城県におけるメタン濃度の変動について、宮城県保健環境センター年報 第10号 (1992)
- 2) 森口実他：「環境汚染と気象」, 朝倉書店 (1990)
- 3) 清水浩：「地球を救うエコ・ビジネス100のチャンス」, につかん書房 (1991)

11. 空中散布農薬実態調査

— フサライドの大気中濃度変動と飛散状況について —

齋藤 善則 庄司 幸雄* 佐藤 博明
鈴木 壽雄 宮崎栄一郎

キーワード：フサライド，空中散布，大気中濃度，降下量，距離減衰

大河原町と南郷町において，空中散布時のフサライドの大気中濃度変動と飛散状況調査を実施したところ，散布区域境界から250～400mの地点では百分の数 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，15～30mの地点では数 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。また，散布後数日間では百分の数 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出され続けた。

降下量は50m以内の周辺地域で散布区域直下の十数%が降下し，1000mの地点でも飛散降下が認められた。

1. はじめに

宮城県では，水道水源，学校のプール水から空中散布農薬が検出されたことにより，人体への悪影響が懸念され，ここ数年ヘリコプターによる空中散布を地上散布に切り換える市町村が増えている。しかし散布面積は依然として東北地方で一番多い。

そこで，今回イモチ病予防農薬の一つであるフサライド（殺菌剤）の空中散布周辺地域への飛散状況，さらに，大気中濃度の経時変化について調査を実施したので報告する。

表1 調査地点の概要（大河原町）

地点名	境界からの距離(m)	方角	備考
A-1	50	E S E	北東端部
A-2	250		大気中濃度測定地点
A-3	600		
A-4	1,000		白石川土手直近
B-1	50	S E	東側中央部
B-2	300		大気中濃度測定地点
B-3	400		
B-4	700		
C-1	30	S	南側中央部
C-2	300		大気中濃度測定地点
C-3	600		白石川土手直近
D-1	30	S W	南西部
D-2	150		大気中濃度測定地点
D-3	400		
D-4	700		丘のふもと

* 現登米保健所



図1 空中散布地域と調査地点（大河原町）

2. 調査方法

2.1 調査地域

2.1.1 大河原町

空中散布区域を図1に，測定地点の概要を表1に示す。散布面積は430haであり，飛び地，山間地はあるものの居住区域は国道4号及び，国道4号バイパス沿いに集中しており，この地域を調査地域とした。

散布区域境界より30～400m離れたA-2（東南東方向），B-3（南東方向），C-2（南方向），D-1（南西方向）の4地点で大気中濃度の測定を行い，また，30～1000m離れた15地点で飛散状況の調査を実施した。調査実施日は散布当日の7月7日を挟んだ7月6日から9日までの4日間である。散布農薬等は表3に示す。

2.1.2 南郷町

空中散布区域を図2、3に、測定地点の概要を表2に示す。散布面積は1730haであり、5区に分け5機のヘリコプターで散布したが、全域を調査地域とするには広すぎるので第5区に限って調査地域とした。この地域は平坦地で鳴瀬川に沿って居住区域があるため、散布境界から鳴瀬川までの距離が近い所で100m、遠い所でも250m程度で、飛散状況の調査地点として向岸の地点も2ヶ所

表2 調査地点の概要(南郷町)

地点名	境界からの距離(m)	方角	備考
A-1 A-2 A-3	25 150 500	NW	北端部 大気中濃度測定地点 鳴瀬川土手直近 鳴瀬川土手向岸直近
B-1 B-2 B-3 B-4	30 150 250 750	W	西側中央部 大気中濃度測定地点 鳴瀬川土手直近 鳴瀬川土手向岸 100m離
C-1 C-2 C-3	15 50 200	SW	南端部 大気中濃度測定地点 鳴瀬川土手直近

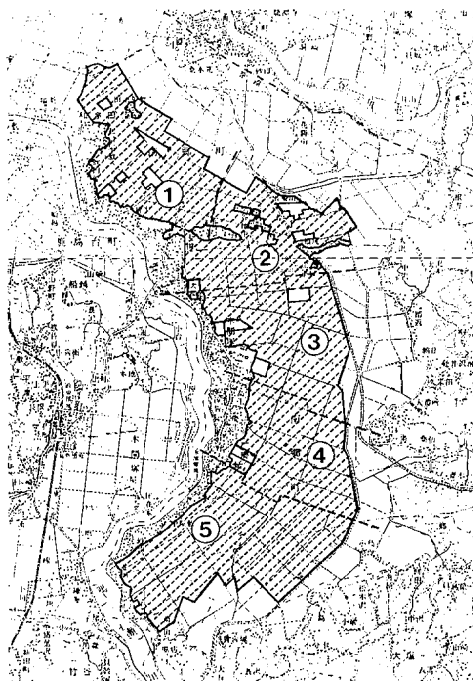


図2 空中散布区域(南郷町)

加えた3方向10地点とした。なお、大気中濃度は境界より15~30m離れたA-1(北西方向)、B-1(西方向)、C-1(南西方向)の3地点で測定した。調査実施日は散布日の8月17日を挟んだ8月16日から19日までの4日間である。散布農薬等は表3に示す。

2.2 試料の採取

2.2.1 大気中濃度

試料採取装置は吸着剤のろ紙の後にポンプを取り付け、環境大気を吸引し、その吸引量をポンプの後に付けたガスメーターで計測した。吸引は採取口を散布区域に向けて地上1.2mの高さで行った。

散布当日は空中散布開始直後から毎分約2lで、1回目は2時間吸引し、さらに、ろ紙交換後の2回目は4時間吸引した。また、経時変化をみるため翌日、翌々日も同様に日中4時間吸引した。散布前日も吸引し、これを調査期間のブランク値とした。

2.2.2 降下量

降下農薬の捕集方法としては、直径15cmのろ紙(No.5c)を入れたシャーレーを地上1.5mに設置し、一定時間静置後、二つ折りにしビニール袋に密封して回収した。

散布当日は空中散布直前に設置し、約4時間静置後回収した。また、大気中濃度測定と同様に、散布前日も捕集し、これを調査期間のブランク値とした。

2.3 試料溶液の調整

2.3.1 大気中濃度

使用する紙は3M社製Empore 20 C18 47mm Diskを用い、エタノールで活性化し、アセトン洗浄後水洗し、湿潤状態を保って捕集した。回収したろ紙は吸引ろ過器に取り付け、アセトンで数回抽出し、液量を10mlとした。

2.3.2 降下量

直径15cmのろ紙(No.5c)をアセトン洗浄後、風乾したものを調査地点に設置し捕集した。回収したろ紙をば

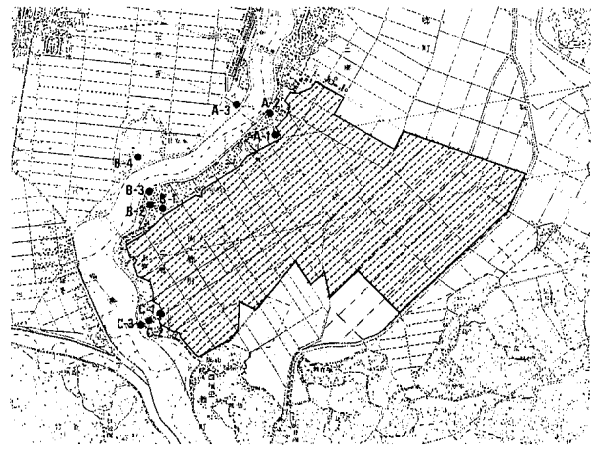


図3 調査地点(南郷町)

さみで切り、アセトン100mlで浸漬抽出し、さらに、超音波を15分かけ抽出した。低濃度のものは10倍に濃縮し測定した。

2.4 装置及び測定条件

ガスクロマトグラフ：日立GC163 ECD検出器
付
カラム：内径 3mm 長さ 2m ガラスカラム
カラム充填剤：5%OV-210 (60~80メッシュ)
カラム温度：200℃
注入部及び検出部温度：240℃
キャリアーガス流量：N₂ガス 60ml/min

3. 結果及び考察

3.1 大河原町

大気中濃度は4地点で4日間に計20検体採取した。その結果を表4に示す。

A-2, B-3, C-2 地点は散布区域境界から250~400m離れており、その間に国道4号あるいは4号バイパスが通り、居住区域である。これらの地点では、散布前日は検出下限値未満であったが、散布当日でもあまり濃度は高くならなかった。

D地点は散布区域境界から30mの地点であるが、近くに中学校のプールがあり、また、散布区域境界から飛び

表3 空中散布実施計画表

町名	病害虫名	実施日	実施日数(日)	実施面積(ha)	栽培地 面積(ha)	散布農薬	散布剤 形態	散布量 /ha	稼働機数 (機)
大河原町	イモチ	7月7日	1	430	380	ラブサイドゾル	ULV	1.2	2
	イモチ・ モンガレ	7月19日	1	430	380	モンカットラブサイ ドゾル	ULV	3.0	2
	イモチ	8月2日	1	430	380	カスラブサイドゾル	ULV	1.2	2
	イモチ	8月20日	1	430	380	カスミンL	ULV	1.2	2
	計		4	1,720	1,520				8
南郷町	イモチ	6月15日	1	210	200	オリゼメート	G	10.0	1
	イモチ・ モンガレ	8月2日	1	1,730	1,647	ビームバシタックゾル	ULV	3.0	5
	イモチ	8月17日	1	1,730	1,647	カスラブサイドゾル	ULV	1.5	5
	計		3	3,670	3,494				11

注) ULV:微量剤(1) G:粒剤(Kg)

表4 フサライドの大気中濃度(大河原町)

地点名	採取日	採取時刻	吸引量 (l)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	風向	風速 (m/sec)
A-2	7月6日	14:35~17:33	199.5	<0.01	25.5	S - calm	1.6 - -
	7日	8:00~10:00	134.5	<0.01	26.5	NW - SE	0.5 - 0.3
	7日	10:05~14:05	269.0	<0.01	27.0	SE S NE	0.3 0.7 0.8
	8日	10:50~14:50	486.0	0.03	25.0	S SSE SW	0.3 0.8 0.7
	9日	11:40~15:40	146.8	0.02	27.0	SSW SSW N	0.7 1.3 2.6
B-3	7月6日	13:00~17:00	269.0	<0.01	28.0	ES - SSE	2.2 - 0.9
	7日	8:00~10:00	134.5	0.05	26.5	ESE - SSE	0.6 - 0.9
	7日	10:03~14:03	269.0	0.03	27.0	SSE SE SSE	0.9 1.1 2.0
	8日	11:15~15:15	479.2	0.01	26.5	calm SSE NW	- 2.0 1.2
	9日	11:25~15:25	477.9	0.02	27.0	SE SSE W	1.5 1.3 2.3
C-2	7月6日	15:12~18:46	239.9	<0.01	26.0	SW - -	0.9 - -
	7日	8:00~10:00	134.5	0.02	26.5	calm - -	- - -
	7日	10:05~14:05	269.0	0.03	27.0	calm SSW SSW	- 0.4 0.8
	8日	12:00~16:01	468.8	0.02	27.5	NE SW calm	0.8 0.4 -
	9日	11:05~14:55	463.4	0.03	26.5	SSW calm NE	0.7 - 0.8
D-1	7月6日	16:00~18:22	159.2	0.03	24.0	ENE - ESE	1.4 - 0.5
	7日	8:00~10:00	134.5	0.10	27.8	ENE ENE ENE	0.6 0.7 0.7
	7日	10:05~14:05	269.0	0.08	27.0	ENE ENE SE	0.7 0.5 0.6
	8日	12:30~15:50	50.1	-	30.0	E ENE ENE	0.7 1.9 1.5
	9日	10:40~14:40	503.2	0.03	27.0	WSW S WSW	0.8 0.3 0.4

出た三角地域のそばにある。この周辺は田畑が多く、空中散布をしない田も多く存在した。この地点では散布前日にも $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出されており、地上散布による影響と思われる。

この4地点の中で最大値を示したのはD地点であり、散布当日で $0.10, 0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。風向、境界からの距離等を考えるともっと高い値が予想されたが、前述の学校のプールに配慮した散布を行ったものと思われる。また、A-2地点では散布当日でも検出下限値未満であった。この地点は4号バイパスを隔てた向かい側にあり、青果市場の建物の裏側となったこと、さらに、風が散布区域に向かって吹いたことが原因と思われる。

散布翌日、翌々日にはどの地点でも $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

であったが検出されている。大気中濃度は居住区域の人々の健康に直接影響を与えるものであるが、平成3年3月28日に(社法)農林水産航空協会が発表した航空散布による生活環境の大気中農薬の指針値 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較するとかなり低い値であった。

降水量は15地点で散布前日と散布当日の2回行い、計30検体採取した。その結果を表5に示す。

散布前日はB-1, B-3地点で $1.4, 2.0 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 検出された以外は検出下限値未満であった。散布当日はA-1地点に $1730 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下したが、A-2地点へは $77.0 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下した。また、A-3, A-4地点へは $32.8, 46.4 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下し、距離減衰が認められた。このことから1000m程度は飛散することが明らか

表5 フサライドの降水量(大河原町)

地点名	採取日	採取時刻	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	風向	風速 (m/sec)
A-1 A-2 A-3 A-4	7月6日	14:09~17:28 14:20~17:33 14:29~17:46 14:56~17:52	<1.0 <1.0 <1.0 <1.0	25.5	- - - S - - - - - - - -	- - - 1.6 - - - - - - - -
同上	7月7日	7:46~11:52 7:43~12:00 7:55~12:08 8:02~12:15	1730 77.0 32.8 46.4	25.0	SSE SE SE NW SE S calm NE SE E E E	0.8 1.3 2.2 0.5 0.3 0.7 - 1.7 1.3 0.8 1.5 1.8
B-1 B-2 B-3 B-4	7月6日	13:56~17:31 13:44~17:36 13:05~17:38 13:30~17:50	1.4 <1.0 2.0 <1.0	28.0	- - - - - - SE - - - - -	- - - - - - 2.2 - - - - -
同上	7月7日	8:03~12:15 8:10~12:12 8:14~12:04 7:58~11:55	215 48.7 125 74.7	26.5	NNE NE SSE ENE NNE SE ESE SSE SE calm calm SSW	0.8 1.1 1.1 0.2 1.1 0.5 0.6 0.9 1.1 - - 0.3
C-1 C-2 C-3	7月6日	15:33~18:35 15:12~18:46 15:28~18:42	<1.0 <1.0 <1.0	26.0	- - - SW - - - - -	- - - 0.9 - - - - -
同上	7月7日	7:30~12:00 7:45~12:07 7:58~12:15	2150 424 101	26.5	N NE SE NNE calm SSW N ESE E	0.5 1.5 0.8 0.8 - 0.4 0.2 0.7 1.2
D-1 D-2 D-3 D-4	7月6日	15:50~18:15 16:06~18:10 16:12~18:05 16:20~18:00	<1.0 <1.0 <1.0 <1.0	24.0	ENE - ESE - - - - - - - - -	1.4 - 0.5 - - - - - - - - -
同上	7月7日	8:03~12:06 8:05~12:12 8:08~12:15 8:13~12:20	1100 8380 6790 4640	27.8	ENE ENE ENE - - - - - - - - -	0.6 0.7 0.5 - - - - - - - - -

になった。

B-1地点へは $215 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下した。境界からの距離はA-1地点と同じ50mであるが、ヘリコプターが直角方向に飛ぶところで大気があまり乱されない地点のためと思われる。B-2, B-3, B-4地点へはそれぞれ48.7, 125, $74.7 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下した。C-1地点へは $2150 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下し, C-2, C-3地点へは424, $101 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下した。これは白石川の向こう岸の散布区域の影響も考えられる。

D-1地点へは $1100 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下した。しかし, D-2, D-3, D-4地点へはそれぞれ8380, 6790, $4640 \mu\text{g}/\text{m}^2$ と非常に高濃度の飛散降下が認められた。これは大気中濃度のところでもふれたように中学校のプールを配慮したこと, D-2~D-4地点は非空中散布の田畑であるが, この場所でヘリコプターの方向転換を行ったためと思われる。

3.2 南郷町

大気中濃度は3地点で4日間に計15検体採取した。その結果を表6に示す。

これらの地点は散布区域境界から15~30m離れた地点であり, その間に建造物, 樹木などは何もなく, ここから居住区域が始まっている。散布前日の8月16日はすべての地点で検出下限値未満であった。散布当日の1回目の値はA-1地点で $1.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, B-1地点で $1.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, C-1地点で $55.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。A-1, B-1地点は採取地点に向かって直角方向にヘリコプターが飛んでいたが, C-1地点はこの地点に向かってヘリコプターが飛んできて, 真上を通過したため, 散布区域直下と同じ状態になり, 非常に高い濃度になったものと思われる。このため, C-1地点では次の2回目

の値も $7.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と他に比べ, 非常に高い濃度になった。散布翌日, 翌々日はどの地点でも濃度は低下しているものの検出され続けた。

降下量は10地点で散布前日と散布当日の2回行い計20検体採取した。その結果を表7に示す。

散布前日はA-1, B-1, C-1~C-3地点で2.5, 2.2, 2.4, 2.5, $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 検出されたが, その他の地点は検出下限値未満であった。散布当日はA-1~A-3地点へは394, 294, $300 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下した。散布区域境界から500m離れたA-3地点は鳴瀬川の向こう岸にもかかわらず, ほぼ同濃度降下した。これは風向等の気象条件が大きくかかっているものと思われる。

B-1地点では $2040 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下した。B-2~B-4地点へはそれぞれ1950, 990, $170 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 飛散降下した。B-3地点までは距離減衰が比較的小さいのはAの各地点と同様に風向の影響と思われる。

C-1地点では $15900 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 降下し, 調査中の最大値を示した。これは大気中濃度で前述した通り散布区域直下と同程度の降下量を示したものと思われる。C-2, C-3地点は323, $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^2$ と距離減衰が明確に現れた。

参考文献

- 1) 阿部時男他：宮城県保健環境センター年報 10, 64 (1992)
- 2) 塚林裕他：石川県衛生公害研究所年報 28, 237 (1991)
- 3) (社法) 農林水産航空協会：農業航空技術研修資料 平成 3年10月16日

表6 フサライドの大気中濃度(南郷町)

地点名	採取日	採取時刻	吸引量 (l)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	風 向	風 速 (m/sec)
A-1	8月16日	13:45~17:47	423.0	<0.01	28.0	SE - SSE	2.4 - 2.0
	17日	8:42~10:50	238.1	1.29	25.0	calm - SE	- - 1.0
	17日	10:53~15:21	503.3	0.04	28.0	SE - SSW	1.0 - 1.0
	18日	9:00~13:00	444.5	0.04	24.5	SSE - SSW	1.0 - 1.1
	19日	11:30~15:19	457.2	0.04	26.5	SSE - S	3.8 - 1.0
B-1	8月16日	13:15~17:15	445.9	<0.01	29.0	ESE - ESE	1.7 - 1.3
	17日	8:40~10:48	246.0	1.87	26.0	calm - SE	- - 1.2
	17日	10:56~15:30	537.9	0.02	28.0	SE - ESE	1.2 - 1.5
	18日	9:18~13:18	463.9	0.03	25.0	SE - SE	0.8 - 2.4
	19日	11:15~15:11	458.9	0.10	27.0	SE - SE	1.2 - 1.3
C-1	8月16日	14:05~17:28	392.0	<0.01	29.0	SSW - SSE	2.0 - 0.7
	17日	8:49~11:07	267.9	55.3	28.0	ESE - SSE	0.3 - 1.4
	17日	11:10~15:02	461.0	7.38	30.0	SSE - S	1.4 - 1.4
	18日	9:30~13:30	422.3	0.06	29.0	SW - S	2.3 - 1.1
	19日	10:54~14:57	473.9	0.06	26.0	SSE - SSW	1.4 - 0.8

表7 フサライドの降下量(南郷町)

地点名	採取日	採取時刻	降下量 ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	風向	風速 (m/sec)
A-1	8月16日	13:30~17:47	2.5	28.0	SE - SSE	2.4 - 2.0
A-2		15:10~18:02	<1.0		SSE - SSE	3.3 - 0.2
A-3		15:30~18:10	<1.0		SSW - SSW	1.2 - 0.5
同上	8月17日	8:42~14:22	396	29.0	calm - S	- - 1.3
		9:05~14:15	294		SE - SE	0.3 - 0.7
		9:20~13:57	300		calm - WSW	- - 1.8
B-1	8月16日	13:20~18:10	2.2	29.0	ESE - ESE	1.7 - 1.3
B-2		14:40~18:13	<1.0		SW - SE	0.7 - 0.5
B-3		14:50~18:18	<1.0		SSE - SSW	1.5 - 0.4
B-4		15:48~18:18	<1.0		SSE - SSE	1.0 - 0.7
同上	8月17日	8:38~13:51	2040	27.0	calm - ESE	- - 2.2
		8:53~14:03	1950		calm - S	- - 1.8
		8:58~14:07	990		calm - SSE	- - 1.3
		9:14~14:05	170		ESE - SSE	0.8 - 3.0
C-1	8月16日	14:05~17:29	2.4	29.0	SSE - SSE	2.0 - 0.7
C-2		14:20~17:42	2.5		SSE - calm	0.5 - -
C-3		14:28~17:48	8.3		SSE - SSW	3.1 - 1.0
同上	8月17日	8:48~14:02	15900	28.0	ESE - S	0.3 - 1.4
		8:50~13:50	323		SE - SSE	0.3 - 0.4
		8:55~13:57	17.0		SE - SSE	0.3 - 3.3

12. 有機質肥料製造施設の悪臭実態調査結果（第1報）

新垣 康秀 嵯峨 京時 榎野 光永*
宮崎栄一郎

キーワード：家畜ふん尿，強制発酵施設，臭気測定，臭気排出強度，
臭気コンター

家畜のふん尿等を原料とする代表的な強制発酵施設について，臭気に関する実態調査を行った。換気口においては，特に問題はなかったが，敷地境界においては，宮城県公害防止条例の悪臭に係る規制基準を超過したのが約4割，悪臭防止法のアンモニアの規制基準を超過したのが1割あった。

また，臭気排出強度（Total OER）は，豚ふん及び混合ふん発酵施設で10°のオーダーであり，悪臭苦情が周辺で発生してもおかしくない強度であった。さらに，臭気コンターを求めたところ，臭気指数10以下のコンターは発酵施設開放部から100m程度，アンモニア1ppmのコンターは同じく20m程度であると推定された。

1. はじめに

家畜のふん尿等を原料とする有機質肥料は最近需要が伸び，その製造施設も増加傾向にある。しかしながら，脱臭処理まで実施している施設はほとんどなく，今後，農村地域への都市化の進展等により，悪臭公害の起こる可能性を内在している。

この有機質肥料製造施設のなかでも，施設数の多い強制発酵施設は，宮城県公害防止条例の悪臭の特定施設に該当するが，換気口及び敷地境界の規制基準はなく，また，悪臭の実態，防止対策等のデータも少ないので，指導に苦慮している実状にある。

今回，これらの施設からの悪臭発生状況を把握するため，平成3年度から4年度にかけて調査を実施したので報告する。

2. 調査方法

2.1 調査対象事業場

県内に立地する約90の有機質肥料製造施設の内，主に家畜のふん尿等を原料とする代表的な強制発酵施設11施設について，冬季及び夏季に調査を実施した。

2.2 調査期間

平成3年12月～平成4年7月

2.3 調査地点及び調査項目等

表1に調査地点及び調査項目等を示すが，代表的な数施設については，原料別の臭気排出強度（Total OER）*，臭気の距離減衰等の調査も併せて行った。

※臭気排出強度＝臭気濃度×排ガス量(Nm³/min)

表1 調査地点及び調査項目等

調査地点	調査項目	測定方法
換気口	臭気指数	5点比較式臭袋法
	アンモニア(ppm)	検知管法
	硫化水素(ppm)	検知管法
敷地境界等	臭気指数	5点比較式臭袋法
	アンモニア(ppm)	検知管による簡易測定法 (平成2年4月環大特第58号)
	硫化水素(ppm)	検知管による簡易測定法 (平成2年4月環大特第58号)

注) 換気口は建屋開放部，出入口等を含む。

3. 結果及び考察

3.1 操業状況

表2に強制発酵施設の操業状況を示す。

当該施設においては，好気性発酵を促進するため，調整原料の含水率，送風，温度管理，発酵日数等に注意を払う必要があると言われている^{1) 2) 3)}。

水分調整等は各事業場において独自の方法で実施していたが，調整原料の含水率は41～73%の範囲内であり，ほぼ満足する値（最適含水率は40～60%であり，70%を越えると一部嫌気性状態になると言われている。）に調整されていた。

送風はE事業場（発酵槽が回転することによって，空気が自然に槽内に入っていくタイプ）を除いて全て実施しているが，山間地域に立地するD事業場のみ，厳寒期には温風で加温していた。

発酵日数は，1次発酵は，満足する日数であったが，2次発酵は一部の施設で足りない事業場もあった。

* 現宮城県原子力センター

表2 強制発酵施設の操業状況

事業場名	主原料	原料処理量(t/日)	水分調整等の方法	調整原料含水率(%)	送風の有無	1次発酵日数(2次発酵日数)	脱臭対策	発酵方法
A	鶏ふん	1.5	鶏舎内に数か月堆積	59	有	40日(1~2か月)	無	ロータリー
B	鶏ふん	1.2	生ふん：1次発酵品(1:1)	50	有	40日(1か月)	無	箱型通気
C	鶏ふん	12	生ふん：1次発酵品(1:1)	42	有	20日(20~30日)	無	スクープ
D	鶏ふん	140	生ふん：1次発酵品(6:4)	41	有(温風)	14日(26日)	無	箱型通気
E	鶏ふん	3.5	生ふんを2週間天日乾燥	43	無	7日(30日)	無	横型
F	豚ふん	3.0	生ふん：モミガラ(1:3)	42	有	40日(数日)	無	スクープ
G	豚ふん	0.8	生ふん：粉碎モミガラ(1:1)	65	有	20日(数日)	無	箱型通気
H	豚ふん	6.5	生ふん：モミガラ：1次発酵品(1:0.6:0.8)	48	有	70日(数か月)	無	スクープ
I	牛ふん	3.0	特になし	73	有	65日(数日)	無	スクープ
J	混合ふん	12	原料貯蔵室に2か月放置	69	有	70日(数日)	無	スクープ
K	バーク	75	バーク：汚泥(6:4)	53	有	24日(0.5~1年)	無	スクープ

注1) 水分調整等の方法()は容積比 注2) 発酵槽滞留時間を1次発酵日数とした 注3) 鶏ふんは採卵鶏
 注4) D事業場は厳寒期のみ温風で加温 注5) 牛ふんは肥育牛 注6) 混合ふんは豚ふん：鶏ふん：牛ふん=1:1:1

脱臭対策は、今回調査した施設では特に実施していなかった。

発酵方式については、現在、表3に示す方式が主に用いられているが、今回調査した事業場においては、ロータリー式、スクープ式等の攪拌方式が約7割を占め、残りは堆積方式であった。

3.2 臭気測定結果

3.2.1 換気口における臭気測定結果

図1, 2に原料別の換気口における臭気測定結果を示す。

臭気指数は冬季にはバーク、夏季には豚ふんが一番高い値(臭気指数20)を示しており、比較的発酵しにくいバークが冬季に高かったのは、当該施設が他に比べて密閉構造であり、さらに、原料処理量もかなり多いためと考えられる。


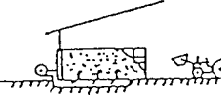

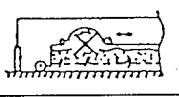
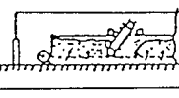
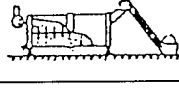
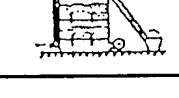
硫化水素は全て検出限界未満であったが、アンモニアは冬季には鶏ふん、夏季には豚ふんが一番高い値(41ppm, 17ppm)を示していた。

いずれの場合にも、冬季と夏季の顕著な差は認められず、また、発酵方式の違いによる顕著な差も認められなかった。

図3, 4に換気口における臭気指数及びアンモニア濃度出現割合を示すが、臭気指数は全て条例の悪臭に係る規制基準(臭気指数25)以下であり、その内、約44%は10以下であった。

一方、アンモニアは最高で180ppm(1検体)あったが、約65%は10ppm以下の濃度であった。

表3 発酵方式一覧

発酵方式		区分
堆積方式	堆肥舎	
	通気型堆肥舎	
	箱型通気	
開放式	ロータリー式	
	スクープ式	
密閉式	横型	
	縦型	

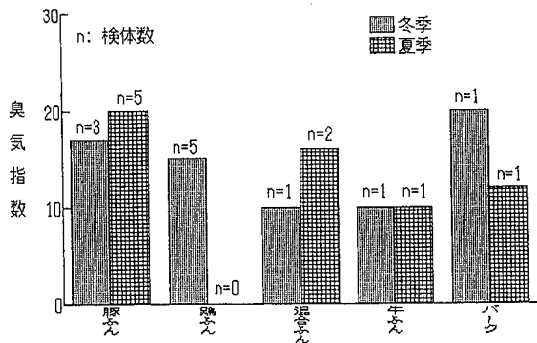


図1 換気口における臭気指数測定結果

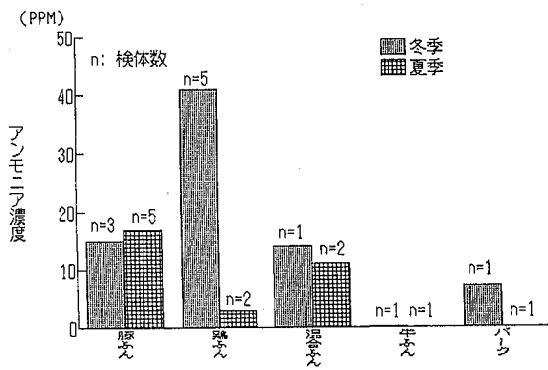


図2 換気口におけるアンモニア濃度測定結果

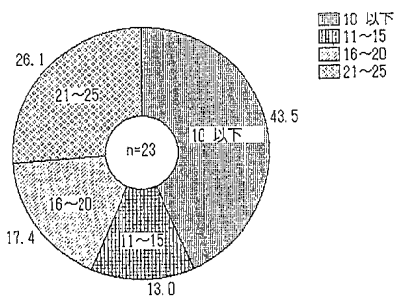


図3 換気口における臭気指数出現割合

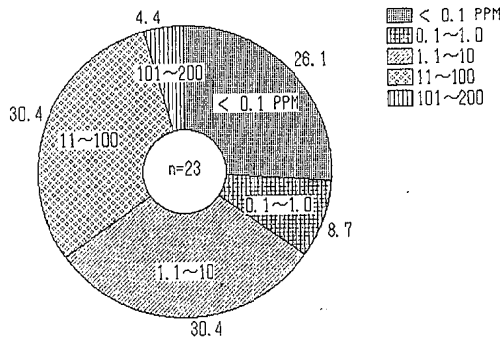


図4 換気口におけるNH₃濃度出現割合

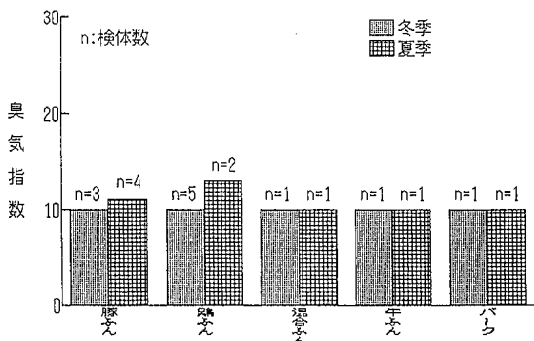


図5 敷地境界における臭気指数測定結果

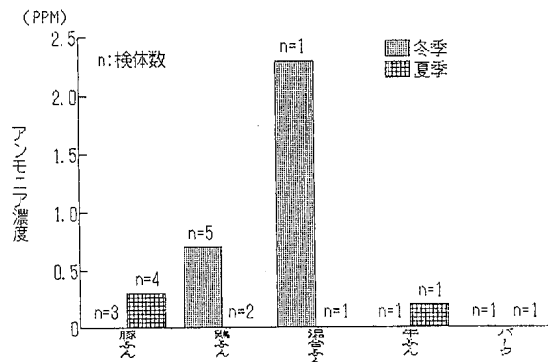


図6 敷地境界におけるアンモニア濃度測定結果

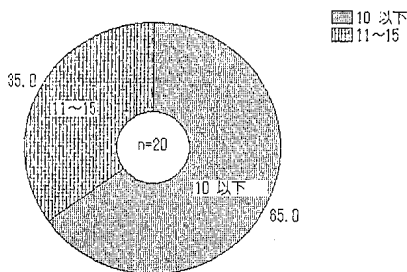


図7 敷地境界における臭気指数出現割合

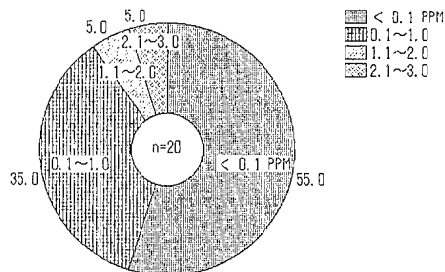


図8 敷地境界におけるNH₃濃度出現割合

3.2.2 敷地境界における臭気測定結果

図5, 6に敷地境界における臭気測定結果を示す。

臭気指数は冬季には全て10以下であったが、夏季には鶏ふんが敷地境界までの距離が短いこともあり、一番高い値(臭気指数13)を示していた。

硫化水素は全て検出限界未満であったが、アンモニアは冬季には混合ふん、夏季には豚ふんが一番高い値(2.3 ppm, 0.7ppm)を示していた。

いずれの場合にも、冬季と夏季の顕著な差は換気口と同様に認められなかった。

図7, 8に敷地境界における臭気指数及びアンモニア濃度出現割合を示すが、臭気指数は35%が条例の悪臭に係る規制基準(臭気指数10)を超過していた。

一方、アンモニアは10%が悪臭防止法の敷地境界規制値(1 ppm)を超過していた。

3.2.3 臭気排出強度

表4に原料別の臭気排出強度の測定結果を示す。

臭気排出強度(Total OER)は、豚ふん、混合ふんで 10^5 のオーダーであり、日本環境センターが臭気排出強度と悪臭公害の起こりぐあいについてまとめた表5と対比すると、500m以内で悪臭苦情が発生してもおかしくない状況にある。また、これは維持管理が不良な化製場における建屋臭気のオーダーでもある⁴⁾。

原料1 t当りの臭気排出強度はバーク、牛ふん、鶏ふん、混合ふん、豚ふんの順に大きくなっていった。

バークで特に臭気排出強度が小さいのは、当該物質の炭素率(C/N)が数百あり、他に比べてはるかに大きい(鶏ふん、豚ふん、牛ふん 十数~ 数十)ので分解しにくく、また、発酵促進等のために添加する汚泥から発生する臭気をバークがかなり吸着するためと考えられる。

3.2.4 臭気の距離減衰

表6に臭気の距離減衰を示す。

今回の調査では、強制発酵施設の開放部から100m程

表4 原料別の臭気排出強度

季節	主原料 測定項目	豚ふん		鶏ふん		混合ふん		牛ふん		バーク	
		n	測定値	n	測定値	n	測定値	n	測定値	n	測定値
夏季 H4.6 H4.7	臭気排出強度 (Total OER)	3	2.7×10^5	1	1.8×10^4	1	1.2×10^5	1	3.8×10^3	1	4.7×10^4
	臭気排出強度 (原料1 t当り)	3	1.0×10^5	1	5.1×10^3	1	1.0×10^4	1	1.3×10^3	1	6.3×10^2

注1) nは検体数

注2) 臭気排出強度(Total OER)=臭気濃度×排ガス量(Nm³/min)

注3) 原料1 t当りの臭気排出強度とは、臭気排出強度(Total OER)を原料処理量(t/日)で割ったもの。

表5 臭気排出強度と悪臭の起こりぐあい

臭気排出強度 (Total OER) [Nm ³ /min]	悪臭公害の起こりぐあい	発生業種の代表例	備考
10^4 以下	特殊な場合を除いて起こらない	パン工場、醸造工場	
$10^5 \sim 6$	現在小規模の公害が起こっているか、その可能性を内在している	塗料・塗装工場、印刷・インク工場、皮革工場、FRP工場、飼・肥料工場、下水処理場	悪臭の最大到達距離は1~2 kmで、悪臭苦情も500m以内が中心で、1 km以遠はまずないといえる
$10^7 \sim 8$	小・中規模の公害が起こっている	鋳物工場、し尿処理場、養豚・養鶏場、石油化学工場	悪臭の最大到達距離は2~4 kmで、悪臭苦情は1 km範囲内である
$10^9 \sim 10$	大規模の公害が起こっている	KP工場、セロファン工場、へい獣処理場、レイヨン工場	悪臭の最大到達距離は10 km以内で、悪臭苦情は2~3 km範囲内である
$10^{11} \sim 12$	最大の発生源でその例は少ない	公害対策をしていない大規模のKP工場	悪臭の最大到達距離は数十 kmに及び被害も4~6 kmの範囲に及ぶ

注) 日本環境衛生センターが過去10年間調査したTotal OERと悪臭公害の起こりぐあいを表にまとめたものである。

表6 臭気の距離減衰

事業場名	測定項目	強制発酵施設の出入口からの距離(m)						
		0	5	10	20	50	75	100
E	臭気指数	11		11	11			≤10
	NH ₃ (ppm)	3.0		0.2	< 0.1			
F	臭気指数	23	15			≤10		
	NH ₃ (ppm)	39	1.4			0.2		
G	臭気指数	18	15	11				
	NH ₃ (ppm)	5.0	< 0.1	< 0.1				
H	臭気指数	25				11		≤10
	NH ₃ (ppm)	3.0				0.4		< 0.1
I	臭気指数	≤10		≤10		≤10		
	NH ₃ (ppm)	< 0.1		< 0.1		< 0.1		
J	臭気指数	21		≤10	≤10	≤10		≤10
	NH ₃ (ppm)	21		1.6	0.8	0.2		0.4
K	臭気指数	15					≤10	
	NH ₃ (ppm)	< 0.1					0.2	

注) E~Kは表2の事業場と同じである。

度で、臭気指数は10以下、同じくアンモニアは20m程度で1ppm以下となっていた。

環境臭気は、その時の気象条件、すなわち風向、風速、温度、湿度等によって臭気の強さに、かなりの差があると言われており、気象条件によっては、影響範囲がいま以上に広がる可能性は十分に考えられる。

4. ま と め

- (1) 敷地境界においては、苦情の出ない値であると言われている、臭気指数10以下を超過している施設も見受けられ、また、臭気排出強度(Total OER)から判断しても小規模公害の発生の可能性も内在していることから、立地に際しては、十分なる吟味・検討を行う必要があると考えられる。
- (2) 臭気低減策としては、次のことが考えられる。
 - ① 発酵施設内外でのふん尿の散乱を防止する。
 - ② 家畜ふん原料は、速やかにおが屑、パーク等の多孔質の有機質水分調整材と適度に混和する。
これにより、通気性が改善されるとともに、炭素率(C/N)が高くなるので、発酵が緩やかに進行し、急激な臭気の発生を防止できる。さらに、有機質水

分調整材による脱臭効果も期待できる。

- ③ 上記によっても臭気が低減しない場合は、何らかの方法で脱臭することが必要であると考えられる。今後の課題としては、臭気に関する影響範囲を正確に把握するため、住民アンケート調査を行うとともに、モデル施設を対象とした精密調査等を実施する必要があると考えられる。

最後に本調査に当たり、サンプリング等に御協力いただいた、関係保健所の環境公害課の職員の皆様に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 伊達 昇：便覧有機質肥料と微生物資材，農文協(1991)
- 2) 環境庁大気保全局特殊公害課編集：悪臭防止技術の手引き(Ⅱ)(Ⅳ)，臭気対策研究協会
- 3) 下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥コンポストの指標(1980)
- 4) 氏家国夫他：宮城県保健環境センター年報 1,142(1983)

13. 県内における等価騒音レベルの実態について

一 一般地域における環境騒音の等価騒音レベル調査 一

加藤 憲治 柳田 則明* 宮崎栄一郎

キーワード：環境騒音，評価値，L50，Leq，Ldn，支配的音源，用途地域

本県においては、快適な音環境を創造するため、統一した評価尺度（Leq，Ldn）を用い、これまで各種騒音について実態調査を行ってきた。今回の調査では塩釜市，多賀城市，利府町及び七ヶ浜町の2市2町において環境騒音の実態調査を実施して、各用途地域別に騒音レベルの程度を把握するとともに、L50とLeq，Ldnの関係について検討した。

また、音源識別調査を実施して、各用途地域別に発声音源の状況を把握した。

1. はじめに

複数の騒音源の影響を受けている地域において、発声音源毎に適用されている各種評価方法によっては、全騒音暴露量を的確に捕らえているとは言いがたく、統一した評価値が望まれている。一方、昭和58年に日本工業規格（JIS-Z 8731）において、騒音源の統一した評価値として、等価騒音レベルが採用されている。このような状況下、県内における騒音レベルの程度を、等価騒音レベル（Leq）及び昼夜等価騒音レベル（Ldn）で把握し、騒音防止対策を講ずるうえでの資料を得ることを目的として、昭和60年度から本調査研究が始められ、これまで交通騒音の影響を受ける地域を対象として飛行場周辺、鉄道沿線及び幹線道路沿道について実態調査が行われた。¹⁾²⁾引き続き、平成元年度から比較的交通騒音の影響を受けない一般地域を対象として、環境騒音の実態調査を実施したものである。

2. 調査測定方法

2.1 調査地点の選定

本県内の一般地域における環境騒音レベルの実態を把握するため、都市計画法に基づく全ての用途地域を有している、塩釜・多賀城地域（塩釜市，多賀城市，利府町及び七ヶ浜町の2市2町）を選び、重点的に調査することにした。

次に、この対象地域とした塩釜市，多賀城市，利府町及び七ヶ浜町の2市2町について、各用途地域毎の面積に比例するように調査地点数（表1のとおり）を配分し、無作為に選出した。具体的な個別の調査地点の選出にあたっては、その地点が幹線道路の沿道でないこと、鉄道等の交通騒音の影響をできるだけ受けないこと、付近で道路工事，建築工事等をしていないこと，対象民家に犬がいないこと等，出来るだけその付近一般の環境騒音を代表出来るよう留意した。

* 現宮城県塩釜保健所

表1 調査測定地点数

	塩釜市	多賀城市	利府町	七ヶ浜町	計
一種住専地域	2	—	5(1)	2(1)	9(2)
二種住専地域	3(1)	6(1)	1	1	11(2)
住居地域	8(1)	5	2(1)	1(1)	16(3)
近隣商業地域	1	2(1)	—	—	3(1)
商業地域	3(2)	1	—	—	4(2)
準工業地域	4	1(1)	—	—	5(1)
工業地域	2(1)	2(1)	—	1	5(2)
計	23(5)	17(4)	8(2)	5(2)	53(13)

注) ()は精密調査地点数

2.2 騒音レベル調査

騒音レベル調査及び音源識別調査は民家の敷地内で実施した。使用した騒音計及びデータサンプリング条件は表2に示すとおりである。この騒音計はLeqと時間率騒音レベルの中央値（L50）について10分毎のデータを取りこみ，それらを内部メモリに記憶していくものである。これを24時間経過後に回収して，パソコンで解析を行った。

表2 使用測定機器

	測定機器	
環境騒音測定	リオン(株)NB11型 環境騒音測定装置	周波数補正：A特性 動特性：SLOW サンプリング周期：1/5秒 サンプリング回数：3,000
音源識別調査	リオン(株)NL01型 積分騒音計	周波数補正：A特性 動特性：SLOW サンプリング周期：1/30秒 サンプリング回数：18,000

2.3 音源識別調査

2.3.1 一般調査

前述のように騒音計を民家の敷地内に設置した際、約10分間音源識別調査を実施した。なお、音源の分類は環境庁の報告書³⁾に従った(表3参照)。これを持ち帰り、5秒間隔100個のデータを読み取って、その地点の発生音源の状況を検討した。

本調査ではこれを「一般調査」と呼び、騒音レベルを調査した全地点(53地点)で実施した。

表3 支配的音源の区分

音源区分	発生源の概要
1.自動車音	自動車に起因する音
2.自動車以外の道路音	道路空間から発生する上記以外の音(人の話声, 自転車音, 子供の遊び声等)
3.工場, 事業所等の音	工場, 事業所等に起因する音(商店, 駐車場, 官公庁, 運輸施設, 飲食店等から発生する騒音も含む。)
4.家庭音	家庭内の生活活動に起因する音(話し声, テレビ・ステレオの音, ペットの鳴き声, 家庭機器音等)
5.自然音	虫の声, 野鳥の声, 木の葉の揺れる音, 水音, 風音等自然に起因する音
6.特殊音	航空機, 鉄道, 建設作業に起因する音
7.その他の音	特定できるが, 上記の分類に入らない音
8.不特定音	騒音レベルが低く, 特定できない音

2.3.2 精密調査

前述の一般調査は昼間1回だけの調査であるが、これとは別に騒音レベル測定地点のうち計13地点において、昼間2回、朝、夕、夜間の時間帯にそれぞれ1回、計5回の音源識別調査を実施し、その地点における時間帯別の発生音源の状況を検討した。本調査ではこれを「精密調査」と呼んだ。

3. 騒音レベル測定結果

3.1 環境基準及び環境保全水準の達成状況

始めに、調査を実施した計53地点の測定結果の概要を図1に示した。

次に、環境基準の達成状況と宮城県環境管理計画⁴⁾で示されている環境保全水準の達成状況を求めると表4及

表4 環境基準達成状況

	地点数	達成地点数	達成率
一種住専地域	9	3	33.3
二種住専地域	11	3	27.3
住居地域	16	7	43.8
近隣商業地域	3	3	100
商業地域	4	4	100
準工業地域	5	5	100
工業地域	5	4	80.0
計	53	29	54.7

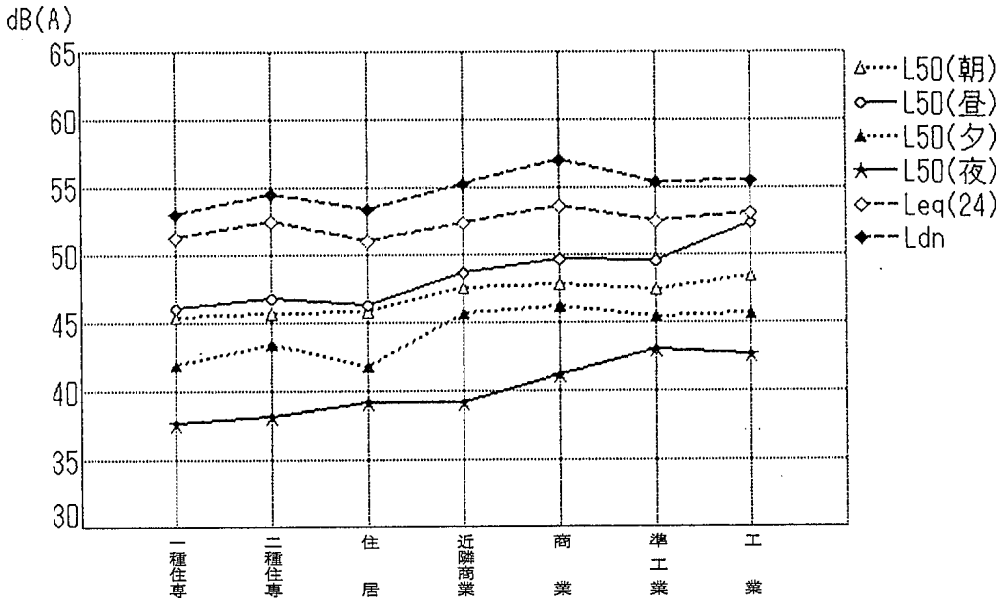


図1 環境騒音測定結果

表5 時間帯別環境基準達成状況

	地点数	達成地点数	達成率
朝	53	31	58.5
昼	53	48	90.6
夕	53	46	86.8
夜	53	40	75.5

表6 環境保全水準達成状況

	地点数	達成地点数	達成率
一種住専地域	9	8	88.9
二種住専地域	11	5	45.5
住居地域	16	12	75.0
近隣商業地域	3	3	100
商業地域	4	4	100
準工業地域	5	5	100
工業地域	5	5	100
計	53	42	79.2

び表6のとおりである。ここで環境基準達成地点は朝、昼、夕、夜のいずれの時間帯でも環境基準を満たしているものとした。環境基準達成率は近隣商業、商業、準工業の各地域で100%と良好であるが、住居系地域がいずれも50%以下で低く全体で54.7%であった。また、環境保全水準の達成状況は近隣商業、商業、準工業、工業の各地域で100%であるが、やはり住居系地域で低く、全体で79.2%であった。

次に、環境基準を達成している29地点中環境保全水準を満たしていない地点が2地点(6.9%)あった。また逆に環境保全水準を満たしている42地点中環境基準を満たしていない地点が15地点(35.7%)あった。

また、環境基準の達成率を時間帯別にみると表5のようになる。達成率が高いのは昼間の90.6%であり、低いのは朝の58.5%であった。

3.2 日変化

本調査では各地点毎に日変化図を作成したが、その一例を図2に示す。なお、この図は住居地域の一例である。この図に見られるように、騒音レベルは激しい日変化を示しており、特に10分値の変化は大きく、L50に比べLeqの変化が激しい。騒音レベルは瞬時、瞬時には大きな変化をしていることがわかる。また、この図より、騒音レベルはその地点その地点で一様ではなく、独特な日変化を示している。

ここでLeqのデータがL50に比べ変化が激しいのは、その算出の仕方にあると思われる。即ちL50は時間率騒音レベルの中央値であるのに対し、Leqは個々のデータをパワー平均して求めるためである。従って短時間でも騒音レベルの大きなデータがあると、それに影響されてその時間を含む全体の騒音レベルを引き上げてしまう結果になる。⁸⁾⁹⁾

次に、各地点のデータを用途地域別に平均すると図3及び図4に示すようになり、個々には激しい日変化を示すものの、全体を平均すると滑らかで自然な日変化となっている。これらの図よりL50、Leqとも全体として、夜間の低レベル時、朝、夕の上昇時、下降時、昼間の高レ

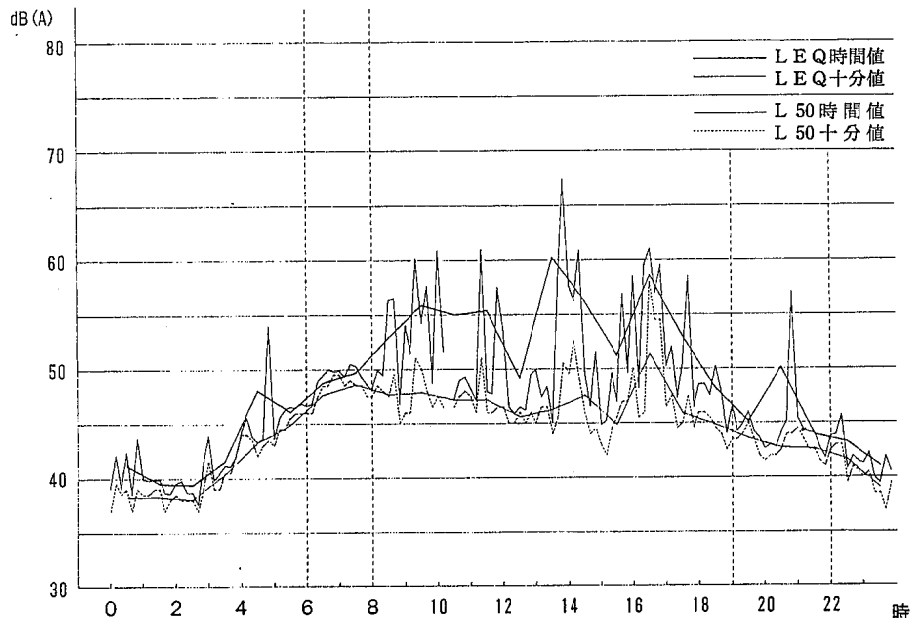


図2 日変化図の一例(住居地域)

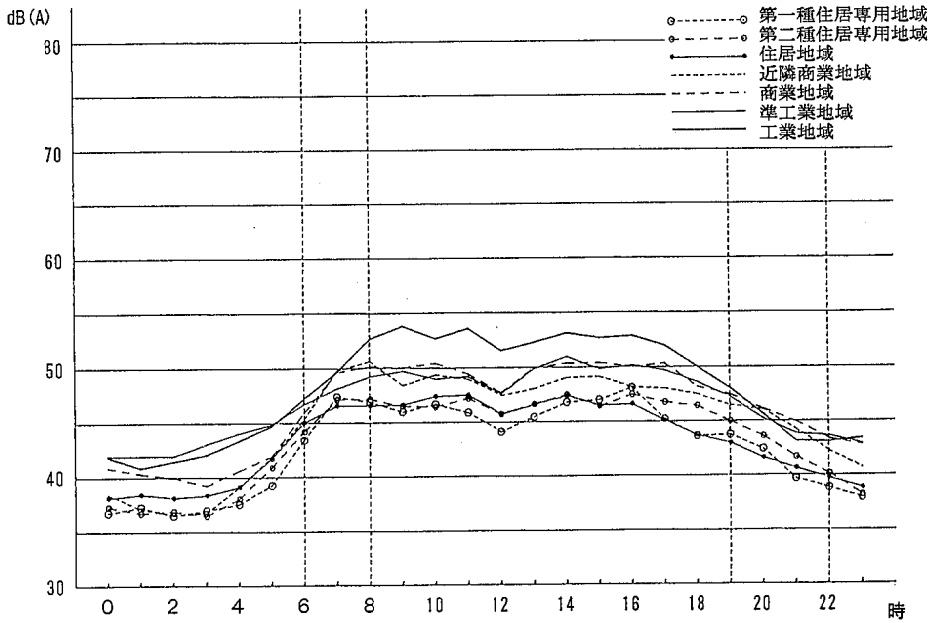


図3 用途地域別環境騒音の日変化 (L50)

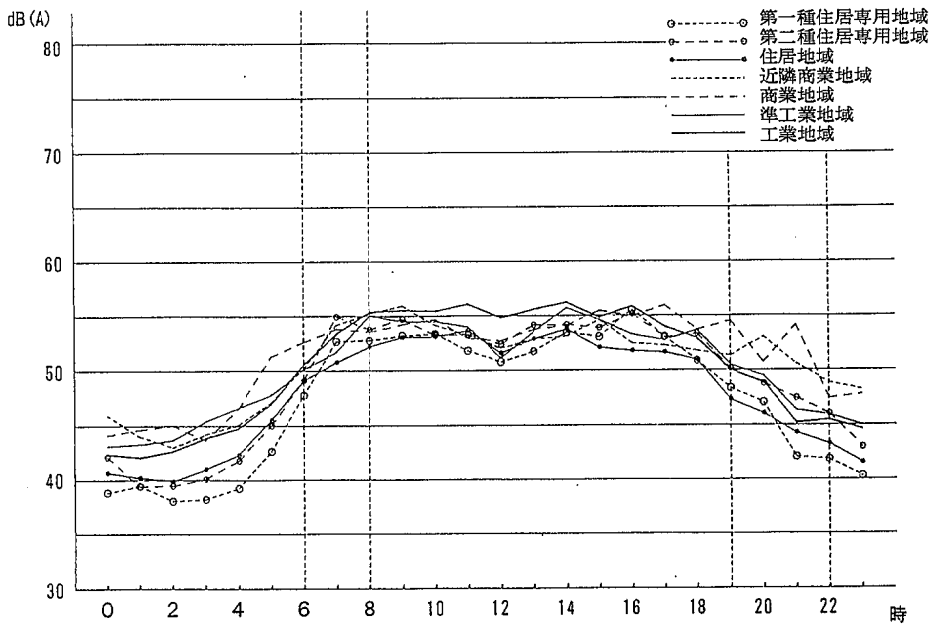


図4 用途地域別環境騒音の日変化 (Leq)

ベル時と環境騒音の特徴ある日変化がみられ、また住居系地域よりも商業系、工業系地域のデータが高く、各地域ともL50よりもLeqのデータが高いこと等の特徴がみられる。

また、Leqの昼間の時間帯では、各用途地域毎の騒音

レベルの差が少なくなっており、これは、住居系地域でも比較的少ない交通量にもかかわらず、自動車音が影響し、Leqデータが引き上げられることによるものと思われる。

4. L50とLeq, Ldnの関係

4.1 時間値での関係

4.1.1 L50とLeqの関係

はじめに、全地点の時間値でのL50とLeqの散布図を図5に示す。この図よりLeqは常にL50より大きく、回帰式は $Y=1.0X+2.8$ で相関係数は0.87である。

次に各用途地域別にL50とLeqの相関を表7に示した。

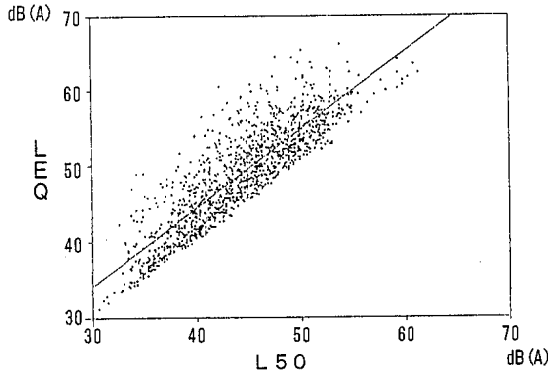


図5 L50とLeqの散布図(全地点)

表7 L50とLeqの相関(時間値)

	n	回 帰 式	r
一種住専地域	216	$Y=1.3X-6.6$	0.89
二種住専地域	263	$Y=1.2X-1.4$	0.88
住居地域	384	$Y=1.1X+1.4$	0.86
近隣商業地域	72	$Y=0.7X+20.7$	0.85
商業地域	96	$Y=0.9X+10.0$	0.84
準工業地域	120	$Y=1.2X-6.8$	0.91
工業地域	119	$Y=1.0X+1.7$	0.97
全地域	1270	$Y=1.0X+2.8$	0.87

全体に相関は高く、最も高いのは工業地域の0.97で、最も低いのは商業地域の0.84だった。工業地域で相関が高いのは比較的、定常音が多いためと思われる、また商業地域で相関が低いのは自動車音の影響と思われる。一例として二種住専、工業の各地域の散布図を図6、図7に示した。

次に、各用途地域における昼間と夜間のL50とLeqの相関を表8にまとめた。この表より、全体として昼間よりも夜間の方が相関が高く、各地域の相関係数の平均は昼間で0.71、夜間で0.82だった。これは夜間になると自動車音の影響が少なくなるためと思われる。ところが商業地域だけは夜間よりも昼間の方が相関が高かった。これは商業地域は車の通行量が多く、昼間は自動車音そのものが定常音に近づくためではないかと思われる。

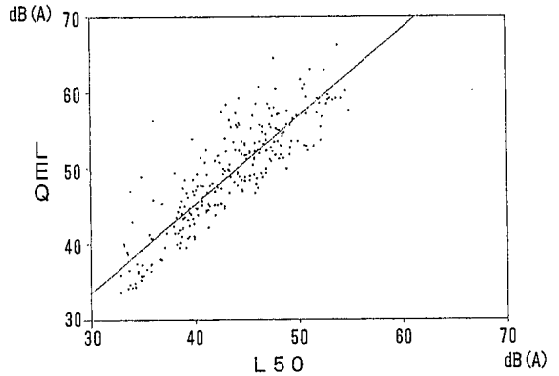


図6 L50とLeqの散布図(二種住専地域)

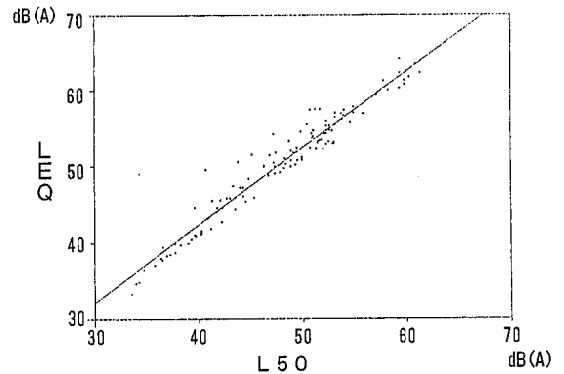


図7 L50とLeqの散布図(工業地域)

表8 昼夜別L50とLeqの相関(時間値)

	昼		夜	
	n	r	n	r
一種住専地域	90	0.61	72	0.90
二種住専地域	120	0.72	88	0.78
住居地域	176	0.68	128	0.80
近隣商業地域	33	0.38	24	0.73
商業地域	44	0.86	32	0.60
準工業地域	55	0.79	40	0.93
工業地域	55	0.93	39	0.98
平均		0.71		0.82

4.1.2 LeqとL50の差とLeqの関係

騒音レベルが大きくなるとともにLeqとL50の差(以下「Leq-L50」記す)が大きくなるように思われたので、この点について調べてみた。

図8は「Leq-L50」の変化を時刻別にみたものである。この図より全体として騒音レベルが高くなる昼間に「Leq-L50」の差が大きくなる傾向が見られる。この点を各用

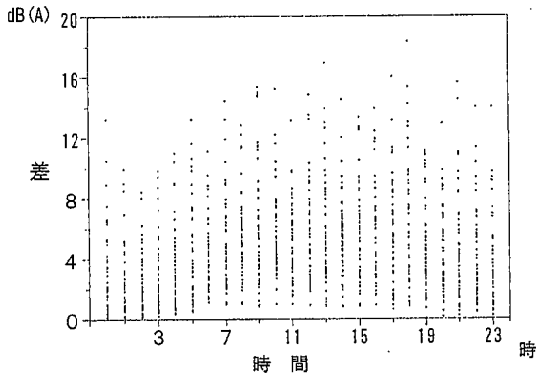


図8 (Leq-L50)の時間変化(全地点)

途地域別にみると、住居系地域でこの傾向がよくみられたが、他の地域でははっきりした傾向はみられなかった。例として図9、図10に一種住専地域と近隣商業地域の場合作示した。そこで次に「Leq-L50」とLeqの関係について

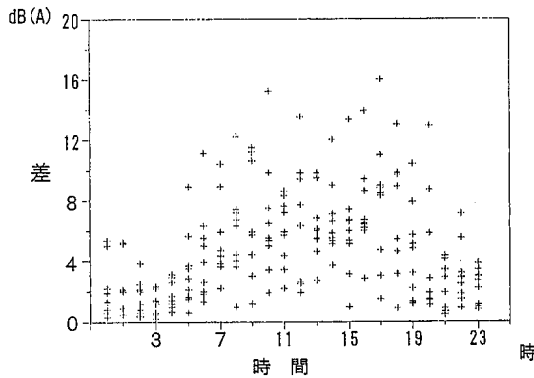


図9 (Leq-L50)の時間変化(一種住専地域)

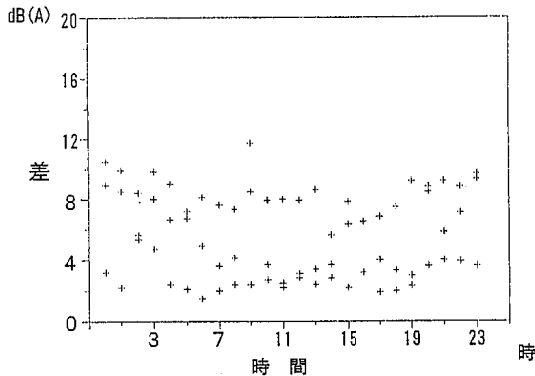


図10 (Leq-L50)の時間変化(近隣商業地域)

て調べた。図11は全地点における「Leq-L50」とLeqの散布図であるがこの図より「Leq-L50」とLeqには全体として相関関係がみられる。そこで各用途地域別に「Leq-L50」とLeqの相関を求めたのが表9である。この表より「Leq-L50」とLeqは住居地域で相関が高くその他の地域

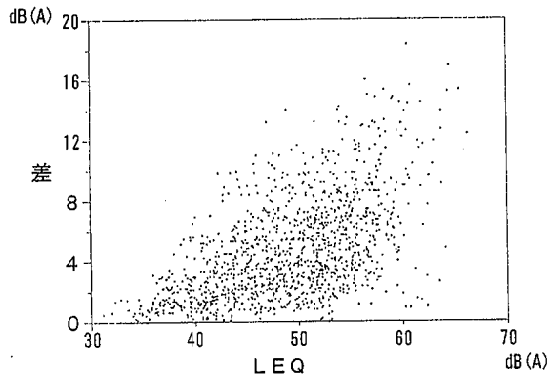


図11 Leqと(Leq-L50)の散布図(全地点)

表9 (Leq-L50)とLeqの相関(時間値)

	n	r
一種住専地域	216	0.76
二種住専地域	263	0.68
住居地域	384	0.61
近隣商業地域	72	-0.14
商業地域	96	0.38
準工業地域	120	0.72
工業地域	119	0.29
全地域	1270	0.55

では準工業地域を除いて低くなっている。

また、図11より大部分のデータはグラフの対角線 ($Y = 0.5 X - 15$)より下の部分に分布している。つまりLeqのデータをXとすると、「Leq-L50」の値は大部分が $0.5 X - 15$ よりは小さいといえる。

4.2 日平均値での関係

4.2.1 L50(日)とLeq(24), Ldnの関係

次に、L50の1日24時間の平均値(以下これを「L50(日)」と記す)とLeq(24), Ldnの関係について調べた。その結果を表10に、散布図を図12、図13に示した。

この表より、全体として各用途地域で、L50(日)とLeq

表10 L50(日)とLeq(24), Ldnの相関

	n	L50(日)とLeq(24)		L50(日)とLdn	
		回帰式	r	回帰式	r
一種住専地域	9	$Y=0.8X+16.0$	0.64	$Y=0.9X+15.7$	0.76
二種住専地域	11	$Y=0.9X+12.2$	0.80	$Y=0.9X+16.1$	0.82
住居地域	16	$Y=0.7X+19.5$	0.75	$Y=0.7X+22.4$	0.79
商業系地域	7	$Y=0.6X+25.2$	0.58	$Y=0.6X+27.3$	0.64
工業系地域	10	$Y=0.9X+10.1$	0.87	$Y=1.0X+8.0$	0.94
全地域	53	$Y=0.7X+20.8$	0.74	$Y=0.8X+20.4$	0.82

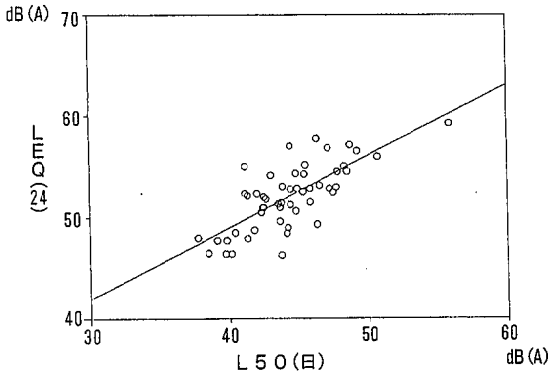


図12 L50(日)とLeq(24)の散布図(全地点)

(24)の相関よりもL50(日)とLdnの相関が高い。また用途地域別にみると、工業系地域が最も相関が高く商業系地域が最も低かった。全体ではL50(日)とLeq(24)の相関は0.74、L50(日)とLdnの相関は0.82となり、良い関係を示した。

4.2.2 L50の各時間帯別平均値とLdnの関係

前述のように、L50(日)とLdnの相関は全体で0.82とかなり高かったが、次にL50の各時間帯別平均値であるL50(朝)、L50(昼)、L50(夕)、L50(夜)とLdnの関係について調べるため、L50(朝)、L50(昼)、L50(夕)、L50(夜)を従属変数とし、Ldnを目的変数として重回帰分析を行った。

その結果、重相関係数は0.82となり次の回帰式が得られた。F検定の結果この式は1%の危険率で有意である。(観測値数53) またこの回帰式から得られる実測値と予測値の関係を図14に示した。

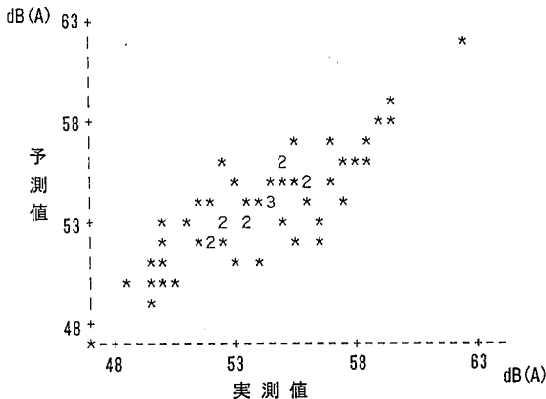


図14 Ldnの実測値と予測値の散布図

$$Y = 0.125X_1 + 0.211X_2 + 0.254X_3 + 0.199X_4 + 19.66$$

ここで Y : Ldn,

X 1 : L50(朝), X 2 : L50(昼)

X 3 : L50(夕), X 4 : L50(夜)

次にこの式を用いて、環境基準の値と本県の環境管理計画で定めている環境保全水準の値の関係について検討

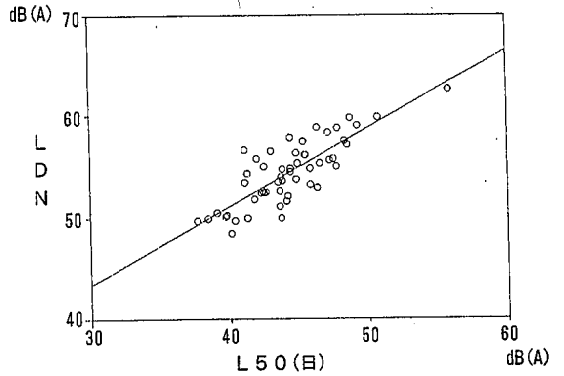


図13 L50(日)とLdnの散布図(全地点)

した。地域類型AA地域では、環境基準値はL50で昼間45dB(A)以下、朝夕40dB(A)以下、夜間35dB(A)以下なので、これらの値を上記の式に代入すると、Ldnの予測値は51.3dB(A)となる。同様にして地域類型A地域、B地域における各時間帯の環境基準値を上記の式に代入すると、Ldnの予測値はそれぞれ55.2dB(A)、63.1dB(A)となる。ところで環境保全水準値は、地域類型AA地域、A地域、B地域ではそれぞれ50dB(A)以下、55dB(A)以下、65dB(A)以下なので、いずれの地域においても環境基準値から求めたLdnの予測値と環境保全水準値とがほぼ同程度のレベルとなった。このことから、ある地点における騒音レベルが朝、昼、夕、夜の各時間帯でそれぞれ環境基準に適合していれば、概略的にその地点の騒音レベルは環境保全水準にもほぼ適合しているものと推定される。

5. 音源識別調査結果

5.1 音源識別調査結果

はじめに一般調査地点(53地点)における調査結果を図15に示す。この図より、いずれの地域でも自動車音の占める割合が大きく、特に商業地域では59.3%、近隣商業地域で51.0%と大きな割合を示している。また一種住専、二種住専、住居の住居系地域では、他の地域に比べ家庭音、自然音の占める割合が大きく、工業、準工業の工業系地域では工場・事業場音が大割合を占めているのが特徴的である。

次に、精密調査地点(13地点)における朝、昼、夕、夜の各時間帯における調査結果を図16~図19に示す。これらの図より各地域、各時間帯において、いずれも自動車音の占める割合が大きく、特に商業地域はいずれの時間帯においても他の地域に比べ最も大きな割合を示している。

各時間帯別にみると、まず図16の朝では、二種住専地域をはじめとして全体として自然音が多くなっている。ここで一種住専、二種住専での自然音は小鳥の鳴き声であり、商業、準工業、工業地域での自然音は風のざわつきであった。また一種住専、住居地域で家庭音が多くな

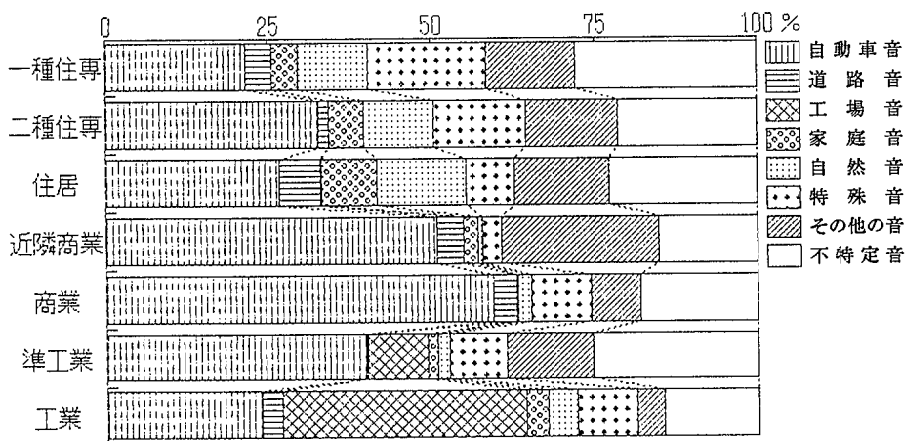


図15 音源識別調査結果（一般調査地点，昼間）

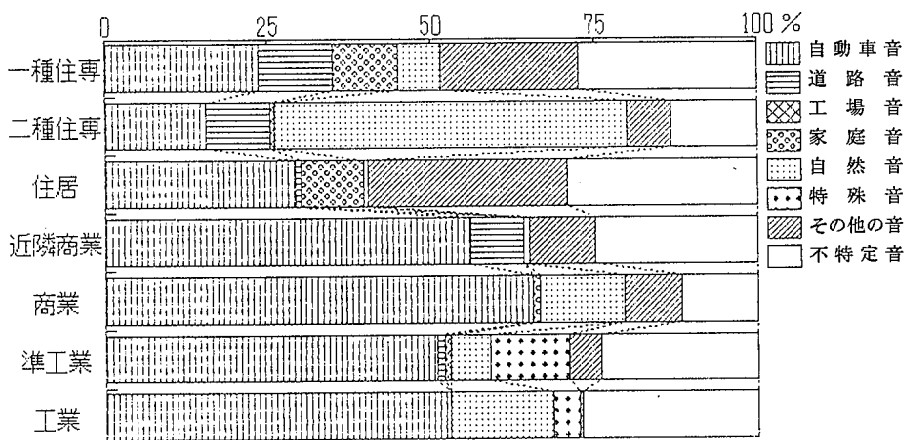


図16 音源識別調査結果（精密調査地点，朝）

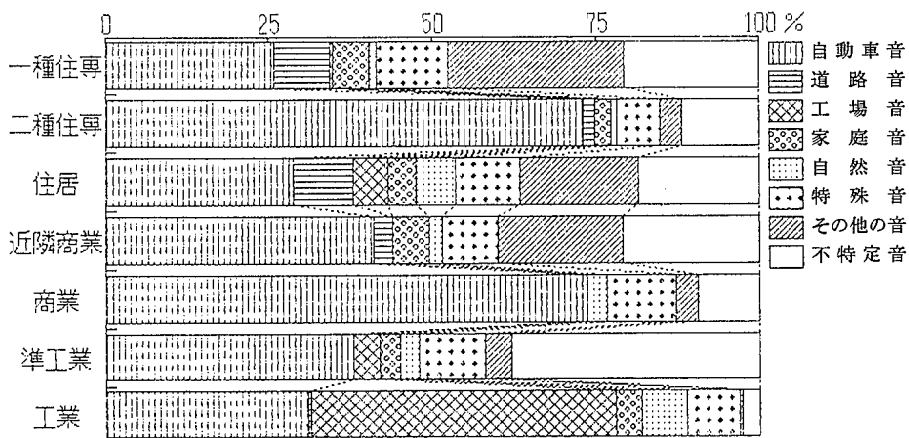


図17 音源識別調査結果（精密調査地点，昼間）

っているが、これは主に犬の鳴き声であった。次に図17の昼間では、全体として他の時間帯に比べいろいろな音がばらついており、また全体として特殊音が多くなっている。工業地域では工場音が多くなっている。図18の夕の時間帯では、昼間 비해音源の種類が少なくなっている。全体的に自動車音の占める割合が大きくなり、特に商業地域では86%、準工業地域では73%を占めている。図19の夜間では、夕方比に比べ更に音源の種類が少なくなり、全体に不特定音が多くなり、各地域とも自動車音、不特定音、その他の音で大部分が占められるようになる。¹⁰⁾この図で商業地域、工業地域の自然音は風のざわつきである。

6. おわりに

以上、環境騒音の調査結果について述べてきた。
現在、日本はモータリゼーションの時代といわれて久

しいが、本調査を通じて、どこに行っても大なり小なり車の音が聞こえ主要な音源となっている場合が多く、自動車騒音対応の重要性を痛感した。環境騒音対策を検討する場合は、自動車騒音対策につきるといっても過言ではないように思われる。

また、L50とLeqの関係についてはこれまでもいろいろと報告されてきており、³⁾⁶⁾⁷⁾国際的には確かにLeqが普及しつつあるが、環境庁では当分の間環境騒音の評価値としてL50を採用していく方針のようである。調査結果において、環境基準とLdnの環境保全水準の整合性について検証されているところであり、環境基準値を満足するように環境保全対策をとっていくとともに、Ldnについては、環境管理の手法としてその長所を活用し、騒音対策に結びつけていくことが望ましいものと考えられる。

今回の調査では53地点について測定し、概略的な用途地域別の騒音レベルの程度の把握及びL50とLeq、Ldnの関係等について検討したが、より詳細な実態把握のため

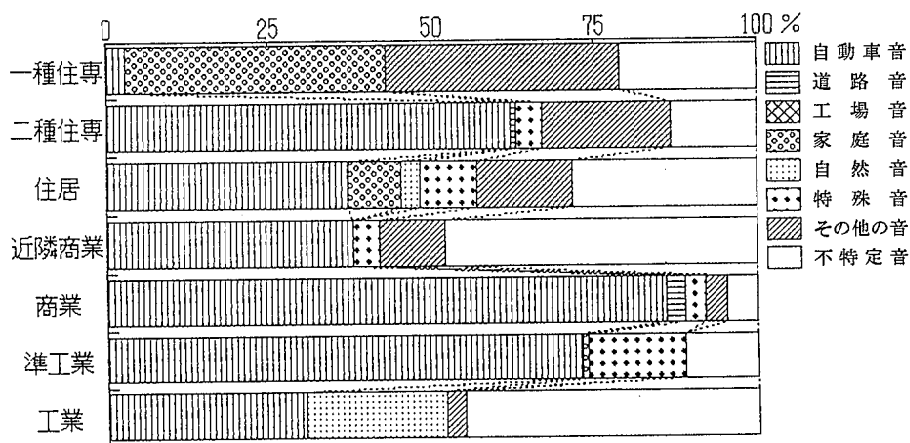


図18 音源識別調査結果 (精密調査地点, 夕)

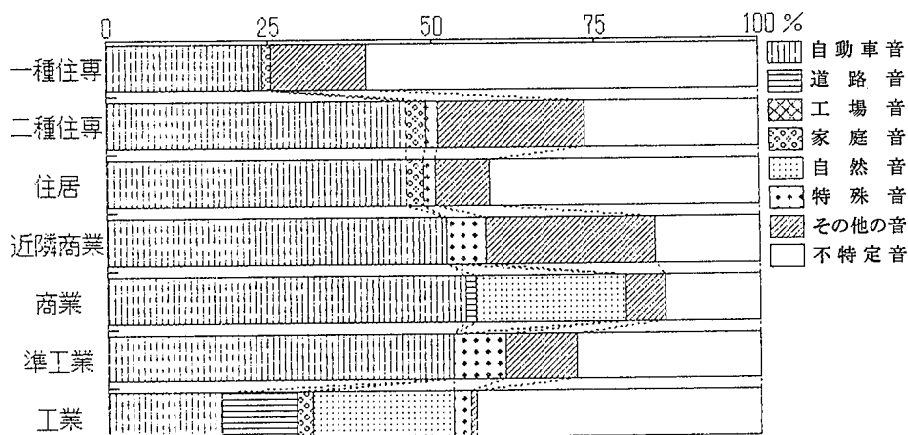


図19 音源識別調査結果 (精密調査地点, 夜間)

には、調査地点数をさらに増やすと伴に、きめ細かな条件の設定等が必要になってくるものと思われる。

おわりに、本調査にあたり調査地点の選定等で御協力頂きました塩釜市、多賀城市、利府町、七ヶ浜町及び塩釜保健所の公害担当者の方々に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 菊地英男他：県内における等価騒音レベルの実態について(第1報)，(第2報)，宮城県保健環境センター年報5(1987)
- 2) 柳田則明他：県内における等価騒音レベルの実態について(第3報)，宮城県保健環境センター年報6(1988)
- 3) 加賀谷秀樹他：Ldnに関する検討(第1報)，(第2報)，(第3報)，宮城県保健環境センター年報2(1984)
- 4) 宮城県：環境管理計画(1992)
- 5) 環境庁大気保全局：都市環境騒音の把握手法(1986)
- 6) 平松幸三他：変動騒音のうるささ，日本音響学会誌34(11)(1978)
- 7) 山本剛夫：Leqから見た騒音評価，日本音響学会誌38(5)(1982)
- 8) 末岡伸一他：Leq測定における問題点(第1報)，(第2報)，東京都環境科学研究所年報(1988)(1989)
- 9) 池館和江：道路交通騒音の計測と評価，公害と対策25(4)(1989)
- 10) 神成陽容他：環境騒音測定における支配的音源の主観判断の特性，騒音制御17(2)(1993)

14. 宮城県における地下水汚染の実態

氏家愛子 富塚和衛 菊池 格*

キーワード：揮発性有機塩素化合物，地域汚染，地下水

1. はじめに

テトラクロロエチレン（以下PCE），トリクロロエチレン（以下TCE）等の揮発性有機塩素化合物は，金属機械部品の脱脂洗浄剤やドライクリーニング剤として広く用いられてきた。現在，これらの物質による地下水汚染が全国的な問題になっており，実態調査や原因究明調査も多く報告^{1),2)}されている。宮城県では，昭和57年度に環境庁が行った地下水汚染調査において，仙台市の井戸からWHOの暫定ガイドラインを超過する濃度が検出されたことを契機に，58年度から県内の地下水汚染実態調査を開始し，更に，平成元年度から地下水測定計画に基づき概況調査及びモニタリング調査を実施している。

また，仙台駅東地区の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染については，昭和58年度に濃度分布等についての詳細な調査が実施され，木戸³⁾らによって既に報告さ

れているところである。

今回，昭和58年度から平成4年度までの10ヶ年の調査結果をもとに，宮城県の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染の実態をまとめたので報告する。

2. 調査対象井戸の状況

調査件数は，政令指定都市の仙台市を除き10ヶ年で346件（のべ494件）であった。調査対象になった井戸は古い井戸が多く，聞取り調査による井戸深度は5割を超える井戸について不明であった。井戸の用途についてみると，飲用に23.6%，雑用に25.4%，工場冷却水や業務用に18.9%，その他または不明が32.2%であった。

3. 調査結果

3.1 県内の地下水汚染の概況

昭和58年度から平成4年度までの調査結果をもとに，TCE，PCE，1，1，1-トリクロロエタン（以下MC）の評価基準超過率及び検出率について，仙南保健所（以

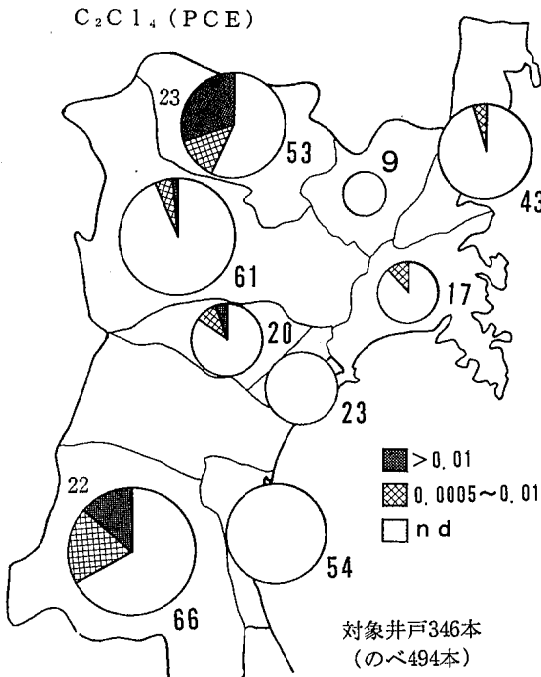


図1-1 県内のPCEによる汚染状況

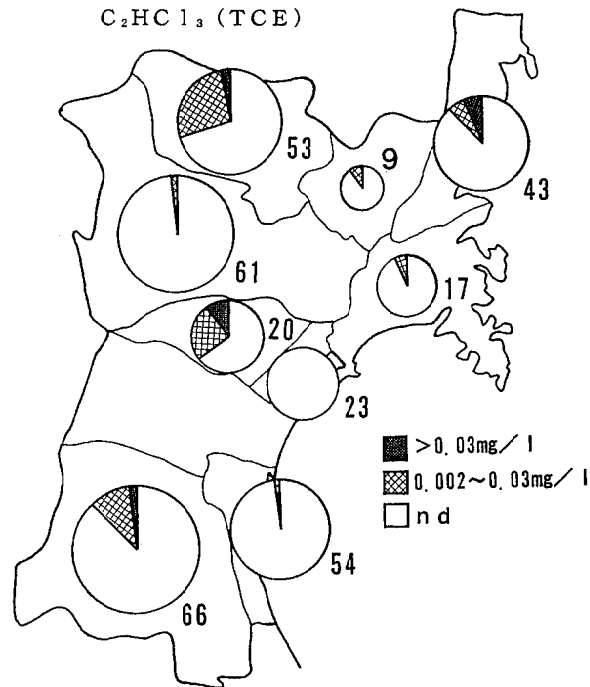


図1-2 県内のTCEによる汚染状況

* 現・宮城県原子力センター

下HC)管内, 岩沼HC管内, 塩釜HC管内, 黒川HC管内, 大崎HC管内, 栗原HC管内, 登米HC管内, 石巻HC管内及び気仙沼HC管内の9地域にわけてまとめ, 図1-1~1-3に示した。

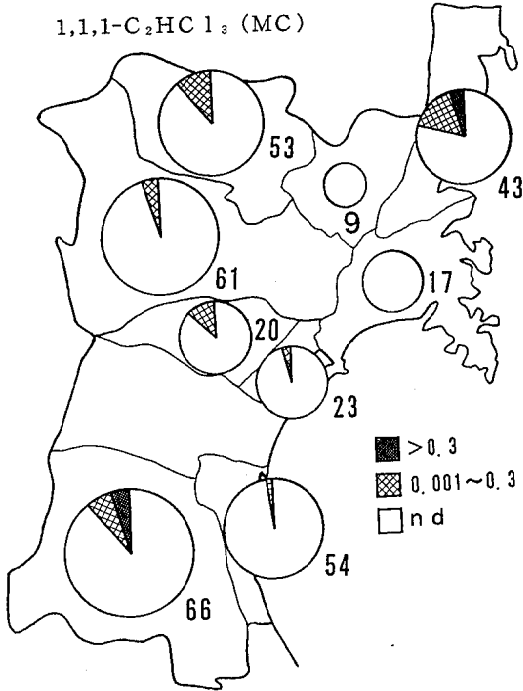


図1-3 県内のMCによる汚染状況

モニタリング調査で重複する井戸については, 最新の調査結果を使用した。検出下限値は, TCEが0.002mg/l, PCEが0.0005mg/l, MCが0.001mg/lとした。

金属機械部品の脱脂洗浄剤として用いられているTCEは, 塩釜HC管内を除く8地域で検出されており, 全体の11.7%の井戸で検出されている。このうち, 評価基準を超過した井戸は, 全体の2.9%であった。

主に衣料の脱脂やドライクリーニング剤として使用されているPCEは, 登米HC, 塩釜HC, 岩沼HC管内を除く6地域で, 全体の16.4%の井戸で検出されており, このうち, 評価基準を超過した井戸は, 全体の8.2%であった。特に, 栗原HC管内では, 53本の調査井戸のうち, 23本の井戸が汚染されており, 評価基準を超過した井戸は16本であった。これは, 築館町のK工場が汚染源であったもので, この事例については, 後述する。また, 仙南HC管内でも, 64本の調査井戸のうち22本で検出されており, 10本の井戸で評価基準を超過していた。

電気機械部品の洗浄に使用されているMCは, 登米HC, 石巻HC, 宮黒HC管内を除く7地域, 全体の7.9%の井戸で検出されており, このうち管理目標値を超過した井戸は, 全体の1.5%であった。

3.2 高濃度汚染井戸の事例

評価基準超過件数の多かったPCE, TCE汚染を中心に2地域の事例について述べる。

A. 栗原HC管内築館町の事例

調査地区は, K工場(綿製品製造業, 原料を脱脂するためPCEを使用している)が立地する周辺地区で, 地形的には東~南側方向に徐々に低くなっている。昭和61年度の調査結果をもとにPCE及びTCEの濃度分布を図2-1, 2-2に示した。工場に近接する2本の井戸で

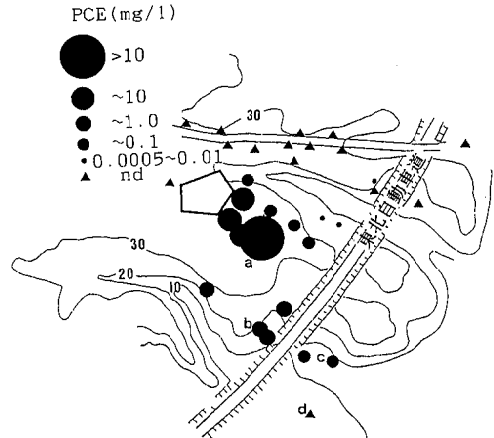


図2-1 築館町でのPCEによる汚染状況

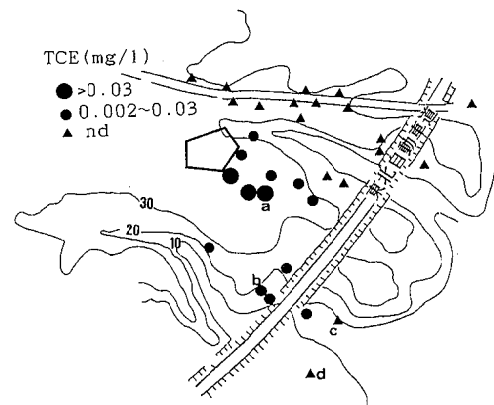


図2-2 築館町でのTCEによる汚染状況

は, 3.9mg/l, 5.2mg/l, 工場から東南方向に約120m離れた井戸aでは最高値27mg/lの濃度が検出されており, この延長線上約500mの井戸cでも, 基準を超過する0.043mg/lの濃度が検出された。K工場と標高がほぼ同じである北側の地点では検出されていないため, PCEは概ね, 地形的勾配に沿って拡散し, 井戸a付近で汚染質が滞留しているものと推定された。しかし, この地区の帯水層がどのように走っているのかボーリング調査によらなければ詳細は不明である。この事例では, K工場の61年度

の排水が管理目標値を超過 (3.15mg/l) していること、及び工場立入時に、PCE廃液貯蔵タンクのコンクリート壁に亀裂がはいっていることが明らかになったことから、汚染源をK工場と特定することができた。

また、TCEによる汚染については、PCEが高濃度で汚染された井戸で検出されているため、PCEに不純物として入っていたTCEによる汚染と考えられた。しかし、近年、微生物によるPCE、TCEの分解が報告^{4),5),6)}されており、この調査においては分解物であるジクロロエチレン等の分析を行っていないため、TCE汚染がPCEの分解による二次汚染であるか否かは不明である。

つぎに、昭和61年から平成4年度までのPCE濃度のモニタリング調査結果を図3に示した。井戸aの濃度減

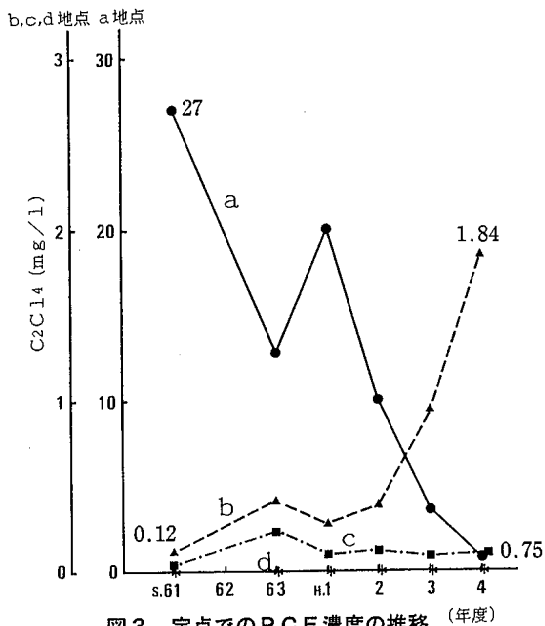


図3 定点でのPCE濃度の推移 (年度)

少とともに等高線で約10m低い井戸bの濃度増加が認められている。これは、井戸a付近で滞留していたPCEが徐々に拡散していると推定され、井戸aより標高の低い地域への汚染の広がりが明らかになっている。

B. 仙南HC管内白石市の事例

調査地区は、白石川と斎川に挟まれた市街地北東部の地区で、地形的には、市街地中心部から白石川と斎川合流点に向い、緩やかな下り勾配になっている。昭和59年度(市街地)および平成元年度(合流点周辺)の調査結果をもとに濃度分布を図4-1, 4-2に示した。白石市については、58年度に汚染井戸が検出されたことを契機に、周辺調査及びモニタリング調査が実施されてきている。PCE濃度の最高値は市街地の0.15mg/lであり、この井戸を中心として北東～南西方向に基準を超過する濃度が検出された。平成元年度の調査結果をあわせると、南西側百数十m以上の地点では検出されず、汚染の広が

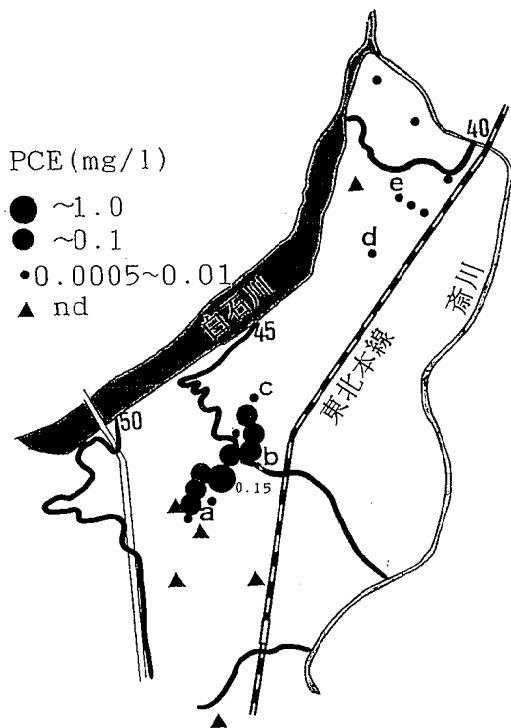


図4-1 白石市でのPCEによる汚染状況

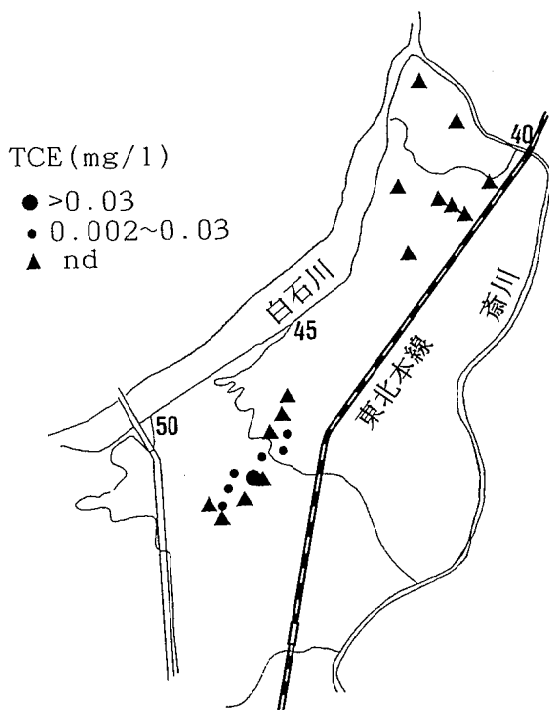


図4-2 白石市でのTCEによる汚染状況

りは北東方向に延びている。合流点周辺のPCE濃度は0.0005mg/l~0.01mg/lで、基準を超過した井戸はなかった。

TCEによる汚染についてみると、PCEが評価基準を超過した市街地北東部で検出されている。TCEは、PCE汚染のある井戸で検出されており、TCE濃度の関係(図5)をみると、相関のよい一次の関係が認められた。しかし、分解物であるジクロロエチレン等の分析を行っていないことから、築館町と同様、TCEが、微生物に

よる二次生成物であるか、PCEの不純物として入っていたのかは不明である。この調査対象地区には、クリーニング店(工場)が数件、繊維製品製造工場、自動車整備工場等が立地しているが、調査時点では既に汚染されていたこともあり、汚染源の特定はできなかった。

平成4年度までのモニタリング調査を図6に示した。井戸aで63年度に若干濃度が高くなったものの、全体のには、a~eの全地点で横這いであった。

4. ま と め

仙台市を除く県内の揮発性有機塩素化合物による地下水汚染は、PCEによる井戸汚染が最も多く、調査対象井戸の16.4%で検出されており、8.2%の井戸で評価基準を超過する濃度が検出された。また、TCEは調査対象井戸の11.7%の井戸で検出され、2.9%の井戸で評価基準を超過する濃度が検出された。

また、モニタリング調査を行っている築館町では、低地の方への汚染質の移行拡散が認められているが、現在は、4地点でのモニタリング調査を行っているだけである。低地での平面的な汚染の広がりを把握するためには、今後、詳細な調査を行っていく必要があると考えられる。

また、平成5年3月にジクロロエチレン等が新たに環境基準項目に追加されたが、これらの物質を含めた調査をすることによって、新たな二次的汚染も明らかになるものと考えられる。しかし、モニタリング調査結果によると、上記2事例だけにかかわらず、いったん地下水が汚染されてしまうと、かなりの年月にわたって汚染が継続することが明らかとなっており、今後も継続した追跡調査と監視が必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 長谷川文伸, 水環境学会誌, 15, 711~718 (1992)
- 2) 言川サナエ他, 水環境学会誌, 15, 762~767 (1992)
- 3) 木戸一博他, “有機汚染の実態とその解析”, 日本地下水学会1989年度秋季講演会要旨集
- 4) 矢口久美子他, 水質汚濁研究, 14, 479~486 (1991)
- 5) 森山登他, 衛生化学, 34, 366~370 (1988)
- 6) 矢木修身他, 微生物, 5, 13~22 (1989)

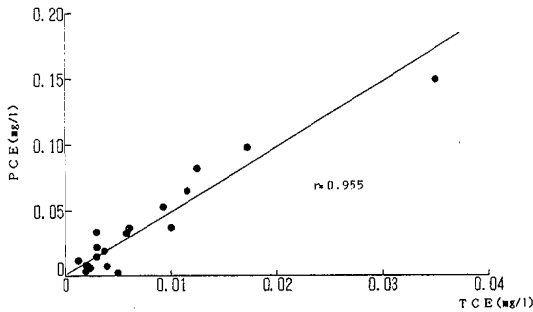


図5 同一井戸でのPCE濃度とTCE濃度の関係

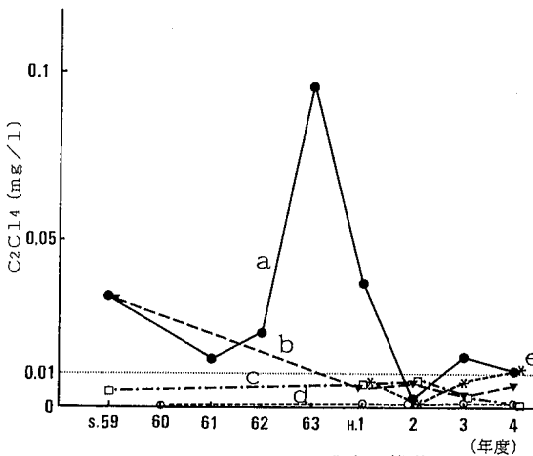


図6 定点でのPCE濃度の推移

15. ふん便性大腸菌群数測定方法（M-F C法）に関する若干の検討

演 名 徹 佐々木 久 雄 菊 池 格*

キーワード：ふん便性大腸菌，M-FC法，IMViC試験

水浴場の水質基準のふん便性大腸菌群数測定方法の1つのM-FC法は，大腸菌群MPN法に比べ，ふん便汚染の指標としての特異性が高いと報告されている。

今回，大腸菌純粋保存株7種を使用し，M-FC法により培養試験を実施した結果，1菌種のみ発現した。常法¹⁾により検査した海水浴場からは，ふん便性大腸菌を数種検出・同定した。

1. はじめに

平成4年4月1日に，入場者数1万人以上5万人未満の宮城県内海水浴場の水質調査業務が，環境衛生課から環境管理課へ事務移管されたことに伴い，水質検査業務は市町からの依頼により所轄の保健所試験検査課で実施することになった。従来，入場者数が5万人以上の海水浴場を担当してきた保健環境センターでは，大腸菌群数の検査は，昭和59年4月16日付け環水第74号環境庁水質保全局長通知に基づきM-FC法によるふん便性大腸菌群数をもって評価してきた²⁾経緯から，県下保健所においても同法により実施することとなった。

M-FC法は，IMViCテストによる大腸菌群の同定は必要とせず，M-FC寒天培地に発現するふん便性大腸菌群に特有な青色で光沢をもつコロニーを鑑別し，計測する方法である。本法は，多数の試料を繰り返し分析するルーチン・ワークに適しており，ふん便汚染の指標としての特異性が，大腸菌群MPN法に比べ，はるかに高いことが明らかにされている。しかしながら，本法は実験者の肉眼判定による手段をとっているため，不明瞭な色調のコロニーの鑑別に苦慮することが少なからず起きている。

今回，筆者らは，海水浴場の水質検査においてM-FC寒天培地に発現するコロニーの色調が，大腸菌の菌種別に特徴があれば，ふん便性大腸菌群判定の一助になるものと考え，ルーチン・ワークと併せて若干の実験と検討を行ったので，その結果を報告する。

2. 方 法

pH未調整滅菌食塩水（pH5.8），pH調整滅菌生理食塩水（pH7.0）およびpH未調整滅菌海水（pH7.8）各100mlに，環境水から分離同定した大腸菌純粋保存株の7種（*E.coli* I，*E.coli* II，*E.coli* III，*C.freundii* I，*C.freundii* II，*K.aerogenes* Iおよび*K.aerogenes* II）（表1）をBHI平板培地で37℃，18時間塗抹培養し，出現したコロニーをそれぞれ1白金耳量鈎菌し，懸濁させたものを菌原液とした。この原液を希釈し，各々10倍か

表1 供 試 菌 株

由 来 別	菌 株
ふ ん 便 性	<i>Escherichia coli</i> I
	<i>Escherichia coli</i> II
	<i>Escherichia coli</i> III
中 間 型	<i>Citrobacter freundii</i> I
	<i>Citrobacter freundii</i> II
土 壤 性	<i>Klebsiella aerogenes</i> I
	<i>Klebsiella aerogenes</i> II

ら10⁶倍までの段階希釈菌液を調製した。希釈水として，それぞれ同じ滅菌生理食塩水および滅菌海水を使用した。各希釈段階の菌液1mlに0.1w/v%滅菌ペプトン液を加えて約50mlとしたのち，滅菌メンブランフィルター（直径47mm，孔径0.45μm）でろ過した。このメンブランフィルターをM-FC寒天培地（50×11mmペトリ皿使用）に密着させ，ポリエチレン袋に密封し，44.5±0.2℃に調節した恒温水槽に沈めて24±1時間培養した。

海水浴場水については，常法により実施した。

3. 結果と考察

希釈水別3通りのM-FC法による培養試験結果を表2，表3および表4に示す。各表中の数値は，出現コロニー数である。判定に当たっては，メンブランフィルター上に出現したコロニーを，常法に従って30個まで計測した。

表2 pH未調整滅菌生理食塩水（pH5.8）を希釈水とした培養試験結果

菌 株	検水量	原液	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
<i>E.coli</i> I	>30	>30	>30	24	6	
<i>E.coli</i> II	0	0	0			
<i>E.coli</i> III	0	0	0			
<i>C.freundii</i> I	0					
<i>C.freundii</i> II	0					
<i>K.aerogenes</i> I	0					
<i>K.aerogenes</i> II	0					

* 現・宮城県原子力センター

表3 pH未調整滅菌生理食塩水 (pH7.0) を希釈水とした培養試験結果

菌 株	検水量	原液	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml
<i>E. coli</i> I	>30	>30	>30	>30	>30	>30	22
<i>E. coli</i> II	0	0	0	0	0	0	
<i>E. coli</i> III	0	0	0	0	0	0	
<i>C. freundii</i> I	0	0	0	0	0	0	
<i>K. aerogenes</i> II	0	0	0	0	0	0	

表4 pH未調整滅菌海水 (pH7.8) を希釈水とした培養試験結果

菌 株	検水量	原液	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml
<i>E. coli</i> I	>30	>30	>30	>30	7	2	
<i>E. coli</i> II	0	0	0	0	0	0	
<i>E. coli</i> III	0	0	0	0	0	0	
<i>C. freundii</i> I	0	0	0	0	0	0	
<i>C. freundii</i> II	0	0	0	0	0	0	
<i>K. aerogenes</i> II	0	0	0	0	0	0	

以上の実験から、次の事実が観察された。

- (1) 大腸菌純粋保存株をM-FC法により培養試験を行った場合、*E. coli* Iのみ発現し、その他の菌種は高濃度の菌液でも発現しなかった。
- (2) *E. coli* Iについては、いずれの希釈水を使用しても10⁻⁵から10⁻⁶の希釈段階においてコロニー数が30未満となり、色調、光沢とも典型的なコロニーが確認できた。

今回の実験と並行して、海水浴場水についてM-FC法によるふん便性大腸菌群数の測定を行い、出現した代表的コロニーを釣菌し、IMViC試験及びEC培地による発育試験(表5)を実施し、同定した結果を表6に示す。

海水浴場水からは、純粋培養菌単独使用の実験とは異なり、*E. coli* I以外に*E. coli* II、*K. aerogenes* Iも発現したが、これらのコロニーは、明白に判断できる典型的な色調は観察されなかった。また、はっきりした光沢が見られない青色コロニーの中にも、*E. coli* Iと同定されるものがあった。これは、コロニーを観察する際、常温下、長時間ペトリ皿の蓋を開けていたため、コロニーの光沢が薄れたものと考えられる。さらに、この海水浴場水の培養試験で出現したコロニーは、冷蔵庫(5℃)に1夜保管したところ、ほとんどのコロニーの色調も光沢も薄れてしまった事実を確認している。

したがって、M-FC法による培養試験は、培養時間が終了後、直ちにコロニーの観察を行わないと、色調、光沢とも薄れていくので、注意を要することが判明した。

また、IMViC試験では鑑別できない*E. coli* Iと*E. coli* IIIは、EC培地による発育試験(44.5±0.2℃、24±2

表5 IMViC系による大腸菌群の分類

菌 名	試験名	IMViC試験				EC培地 44.5℃ 発育試験
		Indole	M.R	V.P	Citrate	
<i>E. coli</i> I		+	+	-	-	+
<i>E. coli</i> II		-	+	-	-	-
<i>E. coli</i> III		+	+	-	-	-
<i>C. freundii</i> I		-	+	-	+	-
<i>C. freundii</i> II		+	+	-	+	-
<i>K. aerogenes</i> I		-	-	+	+	-
<i>K. aerogenes</i> II		+	-	+	+	-

表6 M-FC培地に発現したコロニーのIMViC試験同定結果 (92.5.27, 6.1採取 海水浴場水)

釣菌コロニー	Ind.	M.R	V.P	Cit.	44.5℃	菌 名
1 ²	-	-	+	+	-	<i>K. aerogenes</i> I
2 ²	-	-	+	+	-	"
3 ²	+	+	-	-	-	<i>E. coli</i> II
4 ²	+	+	-	-	+	<i>E. coli</i> I
5 ¹	+	+	-	-	+	"
6 ¹	+	+	-	-	+	"
7 ¹	+	+	-	-	+	"
8 ¹	+	+	-	-	+	"
9 ¹	+	+	-	-	+	"
10 ¹	+	+	-	-	+	"
11 ¹	+	+	-	-	+	"
12 ¹	+	+	-	-	+	"
13 ¹	+	+	-	-	+	"
14 ¹	+	+	-	-	+	"
15 ¹	+	+	-	-	+	"
16 ¹	+	+	-	-	+	"
17 ³	-	+	+	+	+	同定不能

* 1 : 青色, 光沢あり

* 2 : 青色, 光沢なし

* 3 : 周辺薄青色, 光沢なし

時間)を実施することにより、高温培養下において発育特性を有する*E. coli* Iが同定できることが明らかにされているが、今回の大腸菌純粋保存株のM-FC法培養試験(44.5±0.2℃、24±1時間)の結果、*E. coli* Iのみコロニーが発現したことでその事実が示唆された。

4. ま と め

今回のM-FC法によるふん便性大腸菌群培養試験の

結果、純粋培養菌単独の培養では*E. coli* I 以外の大腸菌は発現しなかったが、海水浴場水の検査では*E. coli* I のほか*E. coli* II および*K. aerogenes* I も出現した。上水試験方法³⁾などによれば、ふん便性大腸菌群は*E. coli* だけとは限らず、*E. coli* 以外の大腸菌群でふん便性大腸菌群に含まれるものとしては*Klebsiella* が最も多いとされている。

所期の目的であった大腸菌群の菌種によるM-FC寒天培地上に発現するコロニーの色調、特に光沢の明白な差異は、確認できなかった。改めて、今後の検討課題としたい。

終わりに、本実験を行うに当たり、大腸菌純粋保存株

の提供、IMViC試験による同定等終始ご協力をいただいた本センター微生物部の諸兄に深謝します。

参 考 文 献

- 1) 環境庁水質保全局長通知：「水浴に供される公共用水域水質等の実態調査について」
(平成4年4月17日付け環水管第43号)
- 2) 清野茂，氏家頭：宮城県保健環境センター年報，9，122～127 (1991)
- 3) 厚生省生活衛生局水道環境部監修：上水試験方法 (1985年版)，日本水道協会，東京 (1985)

16. 保全型給餌池の試みとマコモを利用した水質浄化（第1法）

佐々木久雄 大場 修*1 濱名 徹
 菊池 格*2 江成敬次郎*3 柴崎 徹*4

キーワード：保全型給餌池，マコモ，水質浄化

水鳥の飛来による水質汚濁負荷を削減するため、環境保全型給餌池システムが建設され、その浄化機能調査を実施した。給餌場として沼本体から隔離された主池とマコモを植栽した浄化田で、ある程度の負荷削減、浄化効果が確認されたが、定量的な評価はできなかった。

1. はじめに

伊豆沼は、宮城県北部に位置しハクチョウやガン等水鳥の飛来地として著明な湿地である。1985年にはラムサール条約（特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約）が締結され、わが国で2番目の登録湿地となった。そこで、それらの飛来する水鳥類の生息環境を保全し、維持することが伊豆沼の保全対策の基本的な目標になっている。それと共に伊豆沼は、周辺住民の生活と深い関わりをもっているため、水鳥類などの生息環境としての自然環境と、人間の生活環境との調和を図るための環境創造が保全対策の基本的課題となっている。このような保全対策の一つとして、環境保全型給餌池が建設された。筆者等は、その浄化効果などについて調査し、若干の知見を得たので報告する。

2. 環境保全型給餌池の基本設計

伊豆沼におけるこれまでの水鳥への給餌方法は、湖岸から張り出した棧橋から、直接餌をまいて給餌する、最もシンプルな形態であった。しかしこの方法では伊豆沼に食べ残しの餌や水鳥の糞が直接汚濁負荷として影響し、しかもいったん放出された汚濁負荷は除去が困難であった。そこで、これらの汚濁負荷を削減する目的で、沼と完全に分離された給餌池を建設することが考えられた。これによって餌の残留物や糞の大部分は沼本体には負荷されず、池にストックされることになる。この汚濁水を、白鳥などの食餌植物であるマコモを利用して浄化し、成長したマコモは次のシーズンに飛来する白鳥の餌として積極的に活用し、生態系を重視した浄化システムにしようとするのが、このシステムの基本的な考え方である。このような考え方で建設された給餌池システムを図1に、また季節的な運用方法の概念図を図2に示した。主池には、給餌用の棧橋を設け、沼本体とは隔離した。浄化田

には1㎡当たり1～4本、全体で約6,000本のマコモの苗を植栽した。シーズン中に汚濁した主池の水は6月に浄化田に落とされ、マコモの成長によって浄化される。副池には余剰水が貯留され、夏の間に主池は底質改善のために夏干しされる。11月頃までには、水鳥がふたたび飛来し、浄化田では成熟したマコモの地下茎を採餌し、主池では観光客等によって、人工餌の給餌を受ける。このようにして、餌や糞の拡散の防止、汚濁水の自然浄化さらには生態系のサイクル保持までを考えたシステムである。

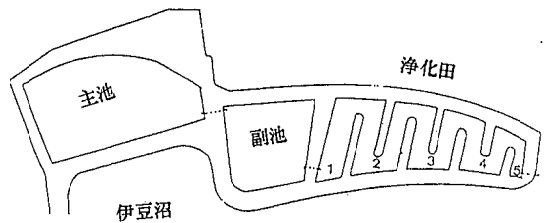


図1 給餌池システムの全体図

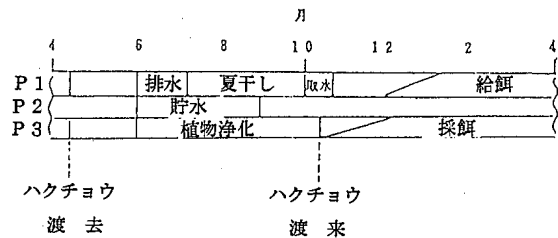


図2 給餌池基本概念図

3. 調査方法

1992年6月22日に主池の水を浄化田に導水し、マコモの成長が終わる11月半ばまでの間、合計12回、浄化田の5地点で水質を測定した。この間、8月上旬に浄化田の水を入れ替えているので、8月4日までを第I期、それ以後を第II期として水質変化を検討した。マコモの生育状況は浄化田内部に定点を設け、草丈、葉数、茎数を記録した。水質の分析は定法によった。

※1 現栗原保健所
 ※2 現原子力センター
 ※3 東北工業大学
 ※4 伊豆沼、内沼保全財団

4. 結果と考察

4-1 浄化田における水質変化

図3に、第I期の溶存態総窒素(D-TN)の推移を示した。浄化田に導水した直後に、流れの方向にしたがって採水したため、第1回目の結果は、流入口に近い浄化田1、2で高い値を示しているもの、その後はほぼ一定の値を示している。これは、後述するマコモの成長速度にも関係していると考えられるが、マコモを植栽してから7週間は伊豆沼の水位が高く、浄化田の水位調整ができず、マコモの成長が阻害された結果と考えられる。リンについても同様の結果を示し、第I期についてはマコモによる浄化は認められなかった。したがって、浄化田における浄化機能、水質の推移については、以下、第II期を中心に述べるものとする。

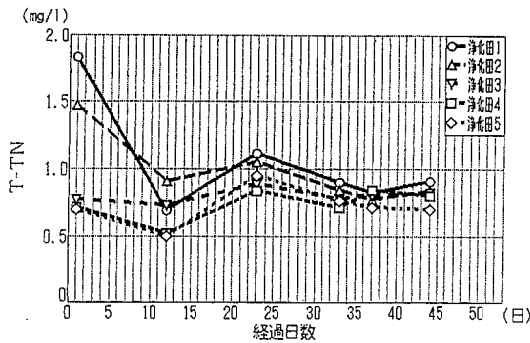


図3 浄化田におけるD-TNの経日変化(第I期)

図4には第II期の総窒素(T-TN)の推移を示した。また、図5には同じく第II期のD-TNの値を示した。いずれも直線的に減少の傾向を示していることがわかる。浄化田1~5の値を平均して直線回帰を行い濃度減少速度を求めるとT-TNで 1.05×10^{-2} 、D-TNでは 0.81×10^{-2} (g/l/日)となる。また、平均水深を20cmとした場合の浄化速度はT-TNで 0.21×10^{-2} (g/m²/日)となる。また、図6には浄化田における各態窒素の推移を示した。無機態の窒素は期間を通じてほぼ一定の値を示しているが、溶存態の有機態窒素の減少が大きく、T-TNの減少の要因になっていることがわかる。図7には経リン(T-TP)、図8には溶存態リン(D-TP)の推移を示した。導水した直後の濁りの影響で、第1回目の採水時のT-TPは異常に大きな値を示しているが、それを除けば、窒素同様ほぼ直線的に減少傾向を示しているのがわかる。このときの濃度減少速度はT-TPで 0.53×10^{-3} 、D-TPで 0.17×10^{-3} であり、浄化速度は 0.11×10^{-3} である。図9に、各態リンの濃度推移を示した。窒素とは異なり、溶存態リンの減少は顕著ではなく、T-TPの減少は濁りに起因する浮遊性のTPの減少によるものが大きな要因と考えられた。

4-2 マコモの成長と水質浄化

図10, 11, 12に浄化田のマコモの生育状況を示した。

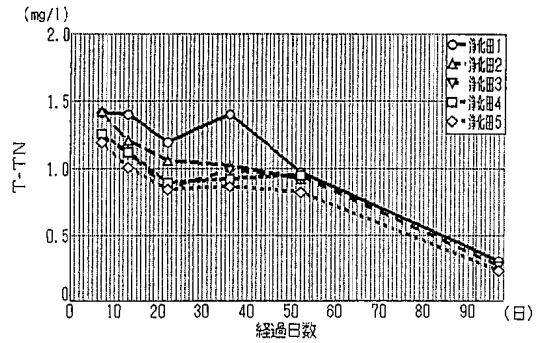


図4 浄化田におけるD-TNの経日変化(第II期)

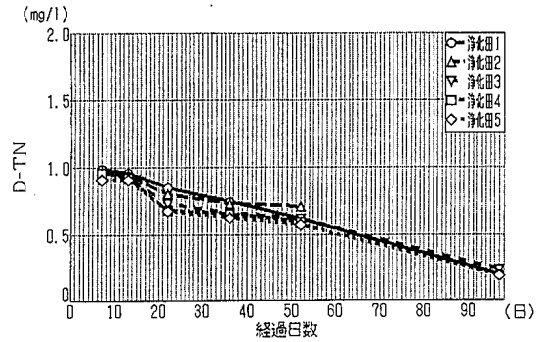


図5 浄化田におけるD-TNの経日変化(第II期)

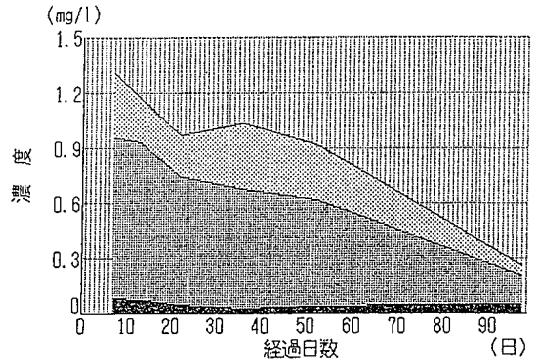


図6 窒素の内訳 (b)

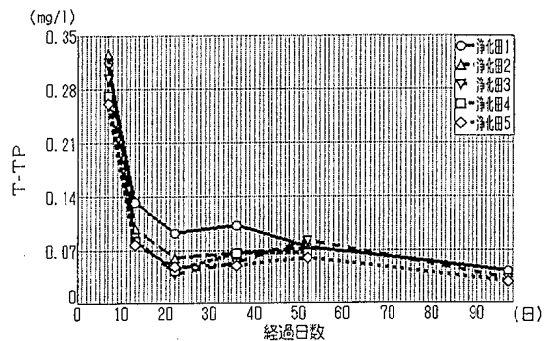


図7 浄化田におけるT-TPの経日変化(第II期)

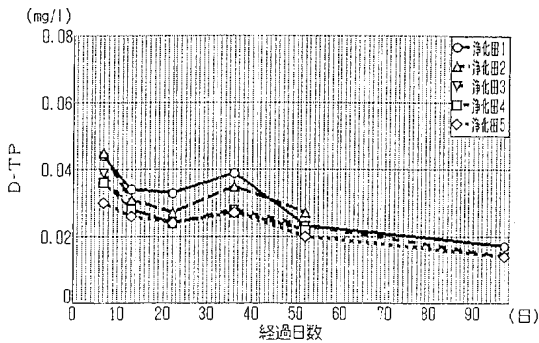


図8 D-TPの経日変化(第Ⅱ期)

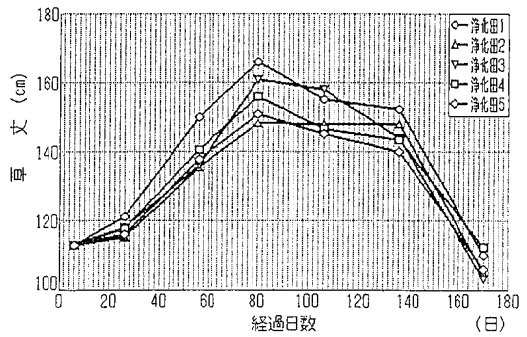


図10 浄化田マコモの草丈の変化

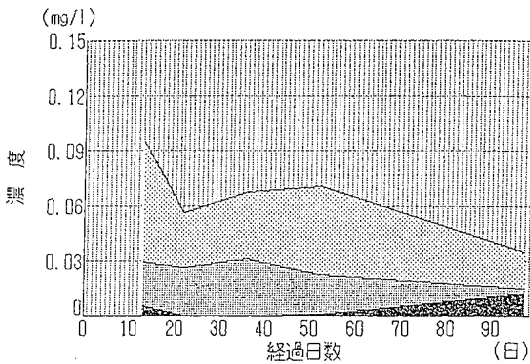


図9 りんの内訳

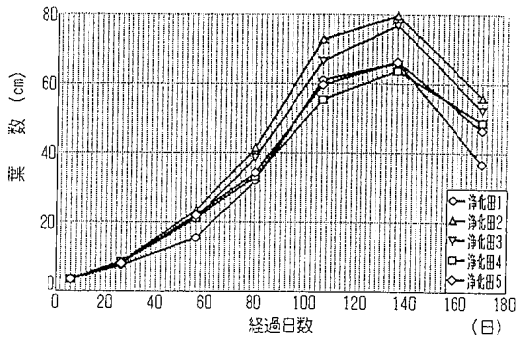


図11 浄化田マコモの草丈の変化

表-1 マコモ増殖田における生育例

	調査日	6月7日	7月13日	8月17日	9月28日	11月16日
草丈(cm)		93.3	116.1	180.4	192.4	191.3
普通	茎数	1.1	3.2	15.2	25.0	23.0
	葉数	5.2	12.7	71.9	130.0	132.0
苗	地下茎数	0~1	1~2	15	24	57
	生重(g)	37.4	120.5	1160.0	4100.0	5100

植栽直後から草丈は順調な伸びを示しているが、葉数、茎数が急増な増加を示すのは50日目(8月中旬)からである。

これは前述した通り浄化田の水位の調整がうまくできなかったためであるが、水位の調整に成功した第Ⅱ期にはいと、分けつが著しくなり、茎数、葉数共に140日目(10月中旬)頃まで増加を続けた。10月中旬以降は地上部の成長は止まり、枯れ葉や折損葉が多くなり、草丈や、葉数が減少し始める。この生育経過は、ほぼ通常の経緯であるとされているが、表1に示す他の場所の正常なマコモの成長と比較すると、草丈、葉数、茎数ともに浄化田のマコモの成長は不十分であったことがわかる。また、今回の浄化田では測定できなかったが、表1に見られるように、地上部の成長が止まった後でも地下茎は

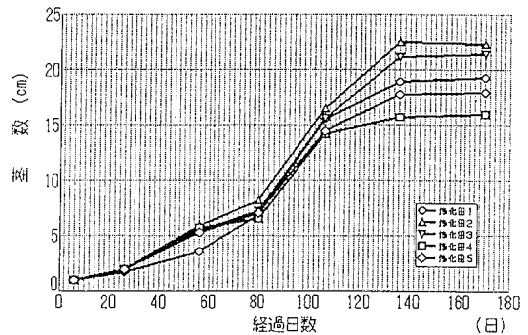


図12 浄化田マコモの草丈の変化

成長を続け、結果的に重量も増加している。これは、10月中旬以降、枯れ始めた葉や茎などの地上部栄養器官からの養分を転流して、地下栄養器官である地下茎を成長させている結果を示すものであり、水質の浄化が、11月に入っても進んでいることの原因の一つであると考えられる。また、正常な生育を示したマコモは、重量比で130倍もの成長量があり、先に示した浄化速度を、さらに増加させる可能性を有していると考えられる。

5. まとめ

ラムサール条約の指定湿地である伊豆沼で、沼本体から隔離された給餌場とマコモによる水質浄化を目的とし

た保全型給餌池を建設し、その浄化機能について検討した。

調査開始当初は、マコモ浄化田の水位管理不能のため、浄化機能は認められなかったが、適正な水位となった8月中旬以降は、マコモの成育も順調になり、浄化田の水質も低下し、マコモによる浄化機能が認められた。しかし、その値は、既往の文献値と比較するとかなり小さい値であり、浄化田のマコモの生育状態が不良であったことによる影響と考えられ、適正な生育管理を行えば、さらに大きな浄化機能が期待できると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 江成他：伊豆沼に設置された給餌池の汚濁削減効果についての調査研究，環境システム研究vol.20, 1992
- 2) 宮城県：伊豆沼，内沼環境保全対策に関する報告書，1992
- 3) 東北地建，東北技術事務所：水質浄化に関する調査研究，1993

17. 松島湾における底泥の巻き上げが水質に及ぼす影響（第1法）

佐々木久雄 富塚 和衛 高橋 正弘 佐藤 勤
大場 修*1 濱名 徹 菊池 格*2 西村 修*3

キーワード：底泥，巻き上げ，栄養塩の回帰メカニズム

底泥の巻き上げが，水質汚濁の原因の大きな要因の1つになっているといわれている松島湾で，巻き上げによる栄養塩の回帰量に関して基礎的な実験，調査を実施した。その結果，巻き上げりが起こりやすい底泥が存在する底泥界面付近では窒素やリンの溶出現象が常に発生していること，それらの窒素やリンが巻き上げによって拡散する可能性のあることが判明し，従来からいわれている。底泥からの栄養塩の回帰メカニズムとは異なった機構で水質に影響を与える可能性が示唆された。

1. はじめに

松島湾は，日本三景の一つとして，年間500万人以上の観光客を迎え，しかもその静穏な水域を利用したノリ，カキなどの養殖業も盛んである。しかし，近年富栄養化の進行が著しく，濁り，赤潮などの目に見える「汚さ」の増大に加え，カキの死滅，ノリの芽落ち病などの被害も発生している。宮城県では，このような状況を踏まえ，松島湾の水質環境改善事業に取り組んでおり，その成果が期待されているところである。しかしながら，松島湾のような，浅く，巻き上げりの起こりやすい水域では汚濁源の大きな要素として，巻き上げり底泥の負荷が考えられているものの，その汚濁機構や定量的な把握が十分でなく，従来の底泥からの溶出量の研究結果を参考に現状の把握や将来予測を実施している。底泥からの栄養塩の溶出に関する研究は，各地で実施されており，特に底DOの下でのリンおよび窒素の溶出に関しては多くの成果が報告されており，現実的なシミュレーションモデルにも利用されている。しかし，現状把握のための従来のDO測定法では，DOメーター法にしる採水法にしる底泥に極近接している部分の測定は不可能だったために，底泥付近の微細なDOの変化や栄養塩の挙動について言及しているものは少なかった。

このような背景から，本研究では，水深が浅く，巻き上げりの起きやすい水域の底泥直上の水質変化を測定することにより，巻き上げりが水質にどのような影響を及ぼすかを検討した。また，室内実験で巻き上げり現象を模擬的に再現し，その評価のための基礎的な資料を得たので併せて報告する。

2. 方法等

調査地点は，流入河川高城川の沖合い（水深2.5m）

- *1 現栗原保健所
- *2 現原子力センター
- *3 東北大学工学部

とし，底泥付近の微細層の水質の挙動を把握するために図1のようなサンプリング装置を設置した。調査地点付近の底泥は，高城川の負荷により底泥が厚く堆積しており，しかも風浪の影響や小型漁船の航行により，巻き上げり現象が激しい。底泥の表面は浮泥と呼ばれる極微細な粒子状の泥に覆われており，潜水目視によってもその底泥との界面は確認できず，かんじき状の金属性の網を支柱に取り付け，底泥に打ちこみ，触感で底泥直上に網が位置していることを確認，それを界面とした。支柱には界面から2.5，5，10，25，および50cmの位置に採水口を設け，船上から注射器でサンプリングした。調査期間は，1992年8月から12月までである。サンプリングはおよそ1ヶ月1回の頻度で実施，pH，全窒素（T-N），溶存態全窒素（DT-N），アンモニア態窒素（NH₄-N），亜硝酸態窒素（NO₂-N），硝酸態窒素（NO₃-N），全リン（T-P），溶存態全リン（DT-P），およびリン酸態リン（PO₄-P）について測定した。室内実験は，同じ地点で投げこみ型コアサンプラーを用いて採泥したサンプルについて実施した。使用したコアサンプラーは，直径

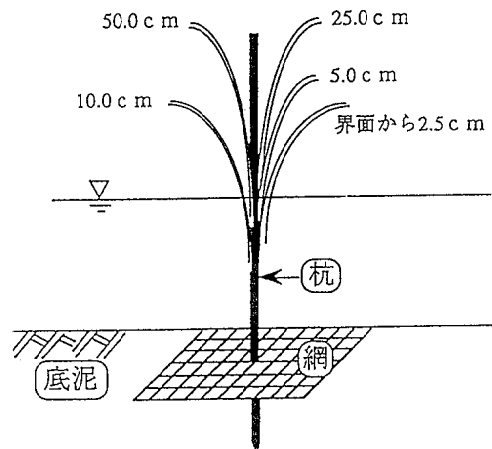


図1 微細層採水器

10.8cmのコアの採取が可能のため、不攪乱サンプルの直上水を直接パドルで攪拌することが可能で、パドルの操作により比較的現場の巻き上げに近い状態を再現できるものと考えられる。採取したコアを20°Cの恒温室に設置し、底泥の厚さ30cmに調整、現場で採水しWhatmanGF/Cでろ過した海水をその上に60cmになるように注入、表面水をばっ気し好気条件で実験した。実験装置の概略を図2に示した。巻き上げを再現するため、上層水をパドル

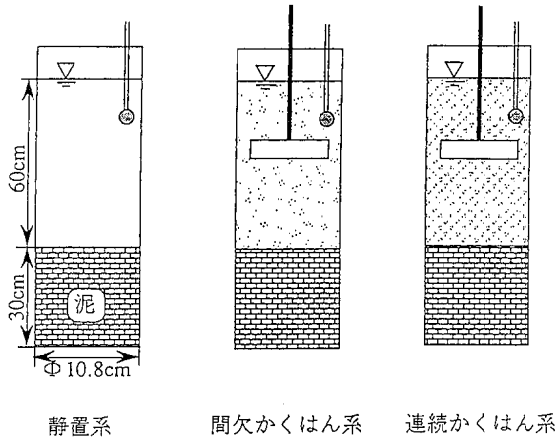


図2 溶出実験装置

で攪拌し、連続攪拌、間欠攪拌（1日1回15分攪拌）、静置系（攪拌なし）の3つの実験系で行った。実験装置からのサンプリングは、1日1回、底泥界面から30cmの位置から行い、間欠攪拌系では毎日のサンプリング後にパドルを動作し攪拌した。また、サンプリング後は同量の初期のろ過海水を補充した。分析項目は、現場調査と同様であるが8月には底泥中の酸化還元電位（ORP）も測定した。さらに、室内実験では、巻き上がりの強度の検討、界面付近の栄養塩の挙動などを検討するため、パドルの回転数を変化させたものや、採水位置を現場同様界面に極近接したところにも設置し、攪拌後の沈降の様子を把握できる実験など、基本的な実験系を少しずつ変化させた実験も実施した。

3. 結果と考察

3.1 現場における栄養塩の挙動

図3にT-Nの底泥界面付近の分布を示した。12月を除いて界面から2.5cmおよび5cm付近で濃度の上昇が認められる。図4にInorg-N、図5にDT-Nの分布を示した。いずれも5cm以下で濃度の上昇が認められるが、10月にT-Nが高い値を示したわりには、Inorg、DT-Nの濃度は高くなっていない。図6にはT-Pの濃度分布、図7、図8にはPO₄-P、DT-Pの濃度分布を示した。窒素と同様な挙動を示していることが分かる。すなわち、泥界面直上での急激な濃度の上昇が認められている。これ

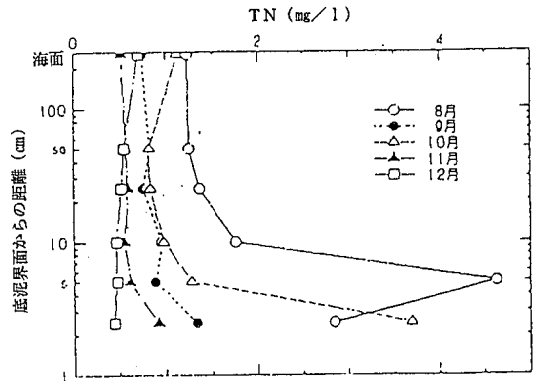


図3 全窒素の鉛直分布

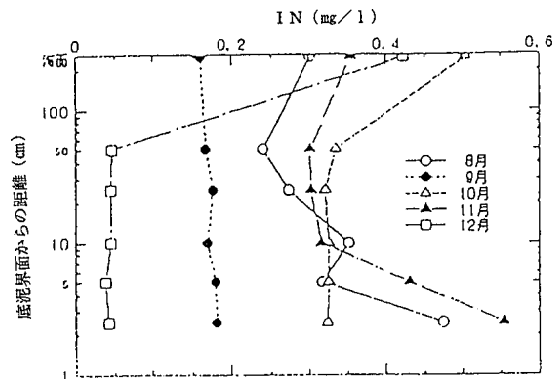


図4 無機態窒素の鉛直分布

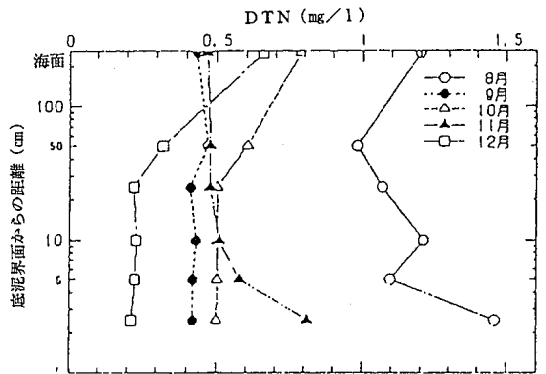


図5 溶存態窒素の鉛直分布

らは、巻き上がりやすい浮泥の影響と考えられるが、巻き上がりの強度や形態の差、巻き上がりからの経過時間の差によるものと考えられる。このときの界面から50cm付近のDOは、いずれも4mg/l以上あり、従来の溶出理論では栄養塩の溶出は考えられない。しかし今回の現場調査の結果から水と底泥の界面付近では、溶出現象が存在

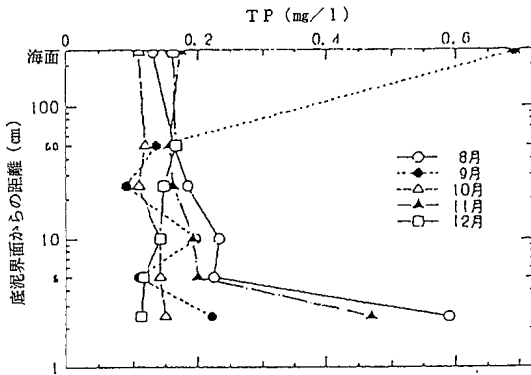


図6 全リンの鉛直分布

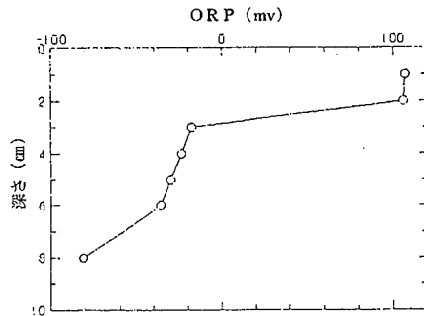


図9 底泥中の酸化還元電位の鉛直分布

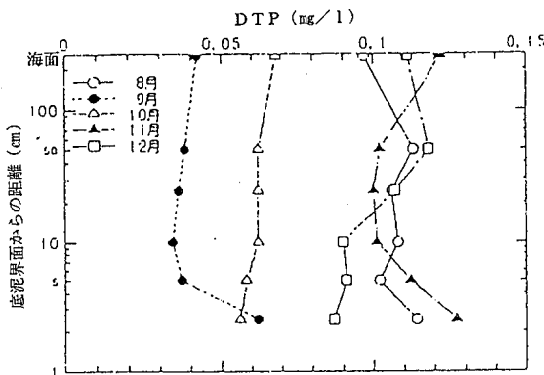


図7 溶解態リンの鉛直分布

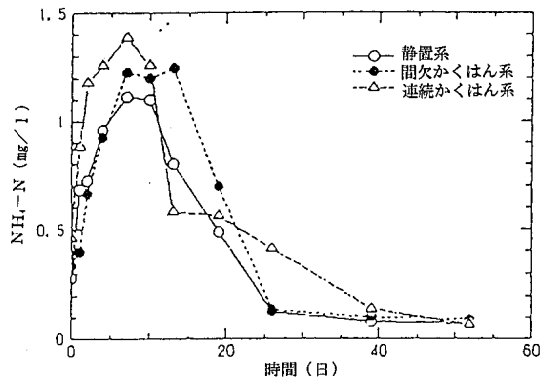


図10 NH₄-Nの経時変化

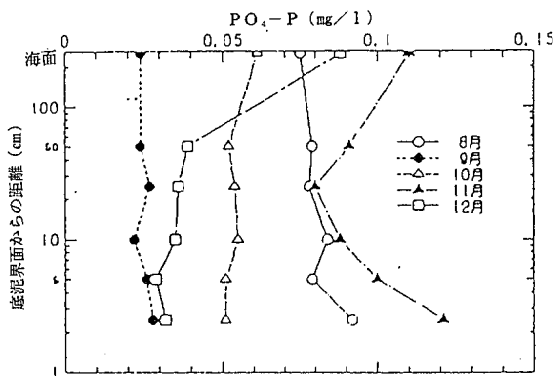


図8 PO₄-Pの鉛直分布

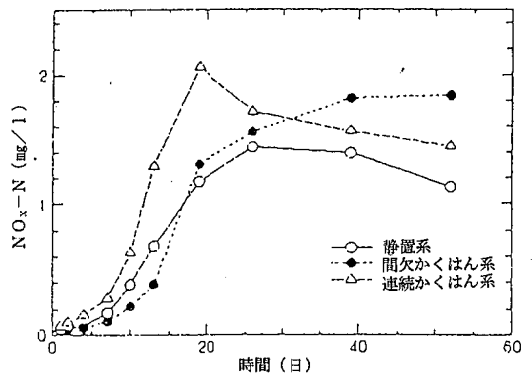


図11 NO_x-Nの経時変化

していることが確認された。図9には現場付近の底泥の表層のORPの測定結果を示しているが、表層からわずか3 cm層でマイナス電位を示し、還元状態にあることが分かる。この結果からも、巻き上がりやすい底泥の表層に近い部分での溶出の可能性が十分考えられ、巻き上がりによって拡散する可能性が示唆される。

3.2 室内実験の結果

現場で採取したコアサンプルを用いた巻き上がり現象の模擬再現実験の結果を示す。図10にはの溶出結果を、また図11にはNO₃-N+NO₂-N (NO_x-N)の溶出結果を示した。今回の実験系では、水深が浅くDOが豊富な水域での巻き上がりによる溶出を想定しているため、す

べて好気的な条件で実験している。その結果、溶出は実験開始直後から $\text{NH}_4\text{-N}$ の形で始まり、10日目ぐらいから硝化による $\text{NO}_x\text{-N}$ の濃度の上昇と、それに伴う $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度の低下が認められる。この現象は連続攪拌、間欠攪拌および静置系のいずれの実験系でも認められ、 Inorg-N の溶出は巻き上げの形態や強度にかかわらず、

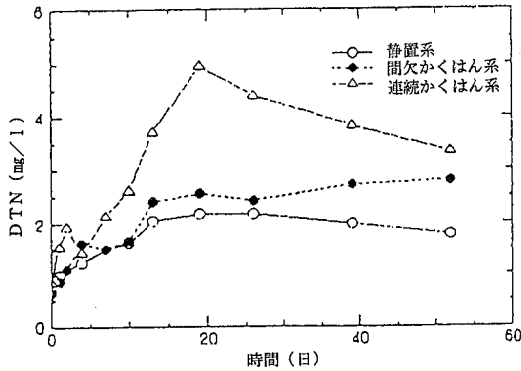


図12 溶存態窒素の経時変化

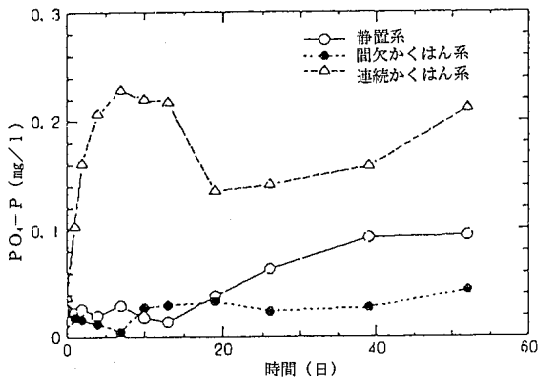


図13 $\text{PO}_4\text{-P}$ の経時変化

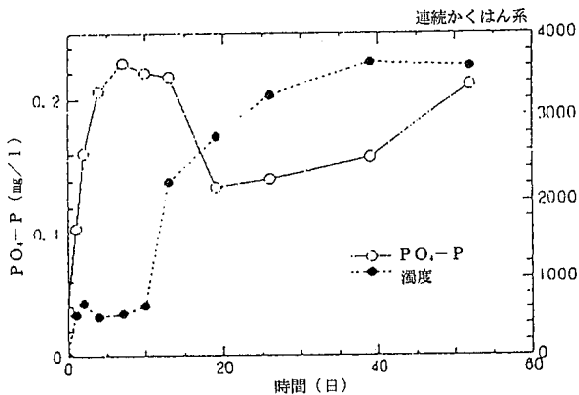


図14 $\text{PO}_4\text{-P}$ 及び濁度の経時変化

恒常的に発生しているものと考えられるが、静置系における濃度が、連続攪拌、間欠攪拌系より小さくその差が巻き上げによる影響であるとされる。図12に示したDT-Nの経日変化を見ると、静置系、間欠攪拌系、連続攪拌系の順に濃度が高くなっており、巻き上げによる影響が顕著に示されている。図13は $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度変化を示したものである。連続攪拌系では、実験開始から5日目ぐらいまでは濃度の上昇が見られ、それ以後はほぼ同程度で推移している。しかし、間欠攪拌系では攪拌直後には濃度の上昇が見られるものの、24時間後のサンプリング時には、攪拌前と同程度の濃度を示し、静置系と同様に結果的には好気的狀態での巻き上げの影響は認められなかった。図14は連続攪拌系で濃度が平衡に達する10日目以降に攪拌を強め濁度をさらに上昇させた過程で $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度変化である。このとき濁度の上昇過程で $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度は一時的に減少し、ふたたび上昇する傾向が認められた。このことは、巻き上げによる影響塩の回帰量は巻き上げ量そのものよりむしろ巻き上げの形態に影響を受けていることを示唆している。また、間欠攪拌系における攪拌後の濁質の沈降に伴う $\text{PO}_4\text{-P}$ の挙動を検討する目的で、底泥界面から2.5, 5, 10, 20および50 cmの $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度の経時変化を測定し、その結果を図15に示した。攪拌前の $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度は、界面付近でやや高めを示しているが、15cm以上では小さい値となっており、影響は界面にきわめて近いところではしか受けていない。15分間攪拌後1時間では50cmのところでも0.2

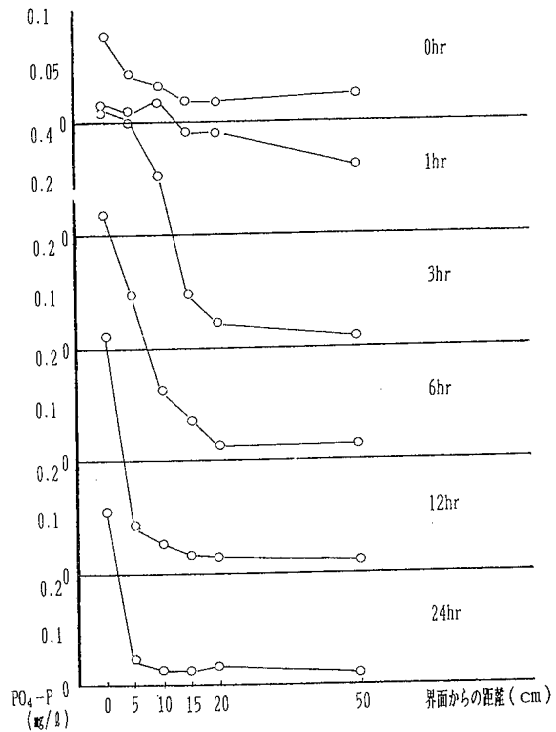


図15 巻き上がり拡散による $\text{PO}_4\text{-P}$ の分布

mg/lを越える高い値を示しているが3時間後には20cmのところまで、12時間後には15cmのところまで、さらに24時間後には5cmのところまで攪拌前の濃度に戻り、時間の経過と濁質の沈降にともない PO_4-P も沈降していく過程が分かる。しかし、界面から2.5cmのところでは24時間経過後でも、攪拌前の濃度の6倍もの値を示し、界面付近での濃度は巻き上げの影響をまだ受けており、この後に仮に巻き上げ減少が再発すれば、すぐに拡散する状態にあると言える。

3.3 巻き上げが水質に与える影響のメカニズム

底泥の栄養塩が水質に回帰するメカニズムは、図16に示すようなものと言われるのが一般的であった。すなわち、底層付近に低酸素層が形成され、 PO_4-P などの栄養塩が溶出、拡散していくというものであった。巻き上げに関しても、底泥界面から50cm程度上の水塊に、DOが存在すればそこからの溶出は小さいといわれてきた。しかし、巻き上げ、沈降の繰り返しのなかで、底泥界面付近では図17に示すようなメカニズムで水質に影響を与えているものと考えられる。巻き上げられた底泥は、巻き上げが治まると栄養塩(特にリン)を吸着、沈降するが、底泥界面付近の粒子の小さい浮泥状の状態で水塊に存在し、再度の巻き上げによって水質に回帰しやすい。回帰した栄養塩は、一時的に水質の栄養塩濃度を高め、一部は拡散、一部は再沈降する。浅く、巻き上げりが恒常的に起こりやすい水域では、巻き上がり、拡散している間に、栄養塩が生物生産に利用される可能性もあり、栄養塩の収支上無視できないものと思われる。

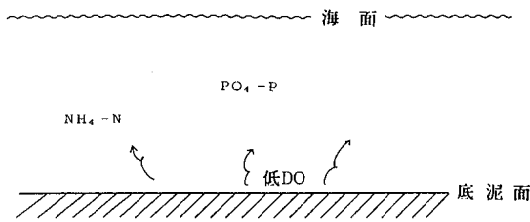


図16 一般的な溶出メカニズムの概念図

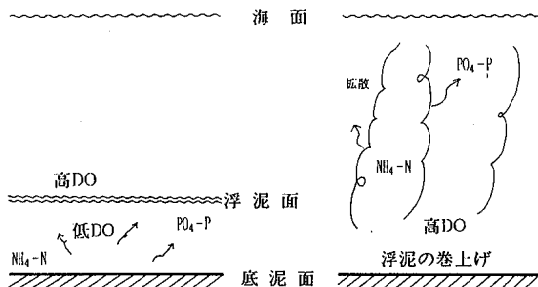


図17 巻き上げによる溶出メカニズムの概念図

4. まとめ

松島湾のような、浅く、巻き上がり現象の起きやすい海域での底泥からの栄養塩の水質への回帰について、実験、調査した結果、次のようなことが分かった。

- 1) きわめて底泥に近い水塊と、底泥の界面付近では、その上層の溶存酸素が比較的高濃度であっても、常に酸化還元電位が低く、栄養塩の溶出現象が起こっている浮泥層が存在する。
- 2) その浮泥層は、巻き上がりによって拡散するが、巻き上がったからの溶出量は小さく、栄養塩の回帰は底層で既に溶出していたものが、拡散するというメカニズムによって行われるものと考えられる。

今後さらに、

- 1) 巻き上がりによって回帰した栄養塩を、植物プランクトンが取りこむ速度
 - 2) 巻き上げによる濁質の成分
- について検討を加え、松島湾の汚濁機構の解明に資する予定である。

参考文献

- 1) 楠田, 梅田: 底泥の巻き上げ, 回帰, 第1回富栄養化問題シンポジウム概要集, 国立環境研究所, 1980
- 2) ジョン, クラーク: 沿岸域の保全と開発, 思考社, 1979
- 3) 河合, 浮田, 中西: 底泥からの栄養塩の溶出, 第26回衛生工学討論会, 1990
- 4) 細川, 三好, 堀江: 再浮上した海域底泥の酸素消費実験, 第27回衛生工学討論会, 1991
- 5) 中西: 富栄養水域における底質評価に関する研究, 第16回衛生工学討論会, 1980
- 6) HOSOKAWA et al.: Oxygen Uptake by Resuspended Sediments 港湾技術研究所報告 Vol19, No.3 1980
- 7) (社)底質浄化協会: 松島港環境改善調査報告書, 1992