

10. SO₂自動測定におけるマイナス振れの要因について

佐藤 信俊 加賀谷秀樹 百川 和子*1
吉田 德行 宮崎栄一郎*2

キーワード：二酸化いおう自動測定, マイナス振れ, 温度補正, 夾雑イオン

環境大気中のSO₂自動測定において、しばしば原因不明のマイナス振れが観測された。発現の状況から、これまでに知られているNH₃による影響とは異なり、吸収液中に混入した夾雑イオンと検出器の温度補正機構による新たな要因であることが考えられた。

1. はじめに

環境大気中の二酸化いおう (SO₂) 自動測定において、しばしば原因不明の異常値が観測された。付属の記録計チャートからマイナス振れによるエラー (指示値異常) であることが判明した (図1)。

現在、環境大気中SO₂の公式な測定法としては、間欠型溶液導電率方式による自動測定装置¹⁾、いわゆる湿式法が採用されている。本装置の測定原理は、試料空気中のSO₂を過酸化水素溶液 (吸収液) によって酸化し、生成する硫酸の濃度を導電率の変化として測定する方法である。

本装置のマイナス振れの要因としては、生成した硫酸を中和するアンモニア (NH₃) による影響等が知られており、一般には試料空気中の導入系にイオン交換樹脂を充填したNH₃スクラバーを装着することによって影響を除去できる²⁾。

しかし今回出現したマイナス振れは、いずれもNH₃スクラバーによる改善が認められないこと、機器更新時に一斉に発生していること等から、装置等に由来する新たな要因による現象と考えられた。

以下、発生の原因、対策等について、若干の知見を得たので報告する。

2. 装置及び調査方法等

2.1 装置及び試薬

- ① SO₂自動測定装置：DDK製 GRH-72M-1、測定器の概要は図2の通りである。
- ② NH₃スクラバー：DKK製 NAS-1型
- ③ 吸収液：環境大気常時監視マニュアルに従い、0.1 N硫酸 2 ml, 30%過酸化水素水 4 mlに純水 (イオン交換水) を加えて20 ℓとした。

* 1 現宮城県消費生活センター

* 2 宮城県環境生活部原子力安全対策室

④ 模擬吸収液：試薬特級NaCl 0.0388 gに純水を加え20 ℓとし (1.94 mg/ℓ, 導電率約4 μS/cm),

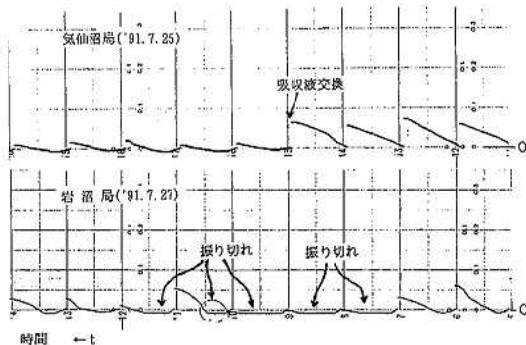


図1 SO₂自動測定の典型的なマイナス振れ

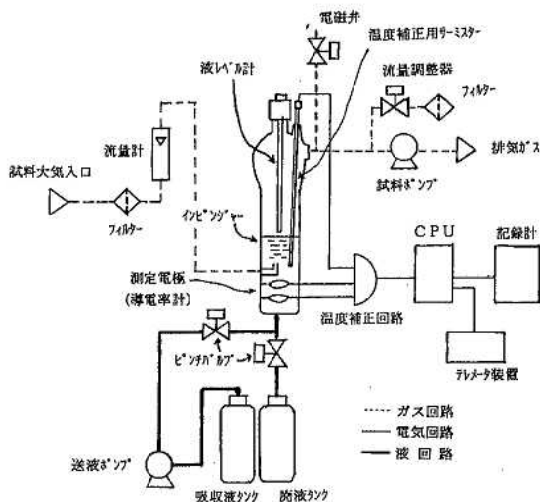
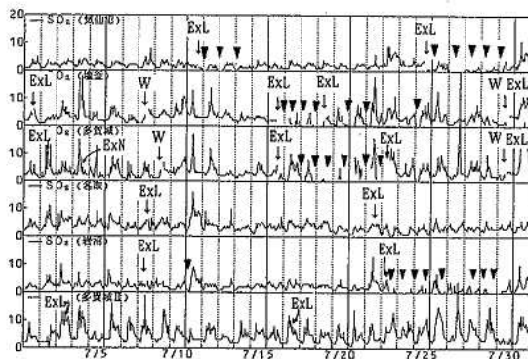


図2 SO₂自動測定装置の概要

必要に応じて恒温槽中で一定温度に調整した。

2.2 調査方法

- ① NH₃スクラバーに吸着されたNH₃の測定：NH₃スクラバーの充填材に1N塩酸を加えて抽出したアンモニウムイオンをイオン選択電極で測定した。
- ② ガス吸収部（以下「インピンジャー」と言う。）の洗浄：メーカーが示したマニュアルに従い、装置から取り外したインピンジャー内に純水及びセラミックスビーズを適量入れ左右に静かに振り、器壁等の汚れを落とす。純水を交換し、濁りがなくなるまでこれを繰り返す。
- ③ インピンジャー中の藻発生量の評価：②によって得た洗浄液中の藻の数を顕微鏡下で計数し比較する。また、標準寒天培地に洗浄液一定量を塗抹し、48時間培養後にコロニー数をカウントした。
- ④ 導電率の温度補正機能の確定試験：模擬吸収液を用いて夾雑イオンが混入した場合の温度補正の状況を確認した。模擬吸収液の温度調整は、吸収液ポリタンクを直接ウォーターバス内で加温することによって行った。
- ⑤ 計算による導電率の温度補正：種々の条件下での温度補正を計算によって再現し、実例と比較した。水溶液の導電率温度係数は濃度によって異なるが、ここで用いた10⁻⁵規定程度の低濃度域での硫酸溶液及びNaCl溶液の導電率の温度係数は、メーカーの実験データに基づきそれぞれ以下の通りとした。
 硫酸溶液：0.017 (°C⁻¹)
 NaCl溶液：0.022 (°C⁻¹)



マイナス振れ：▼，吸収液交換：ExL
 インピンジャー洗浄：W，NH₃スクラバー交換：ExN

図3 SO₂自動測定の保守とマイナス振れ

表1 マイナス振れ時に使用した吸収液の成分分析結果

局名	塩釜局	多賀城局
使用期間	7.16~19	7.16~23
EC(μS/cm)	4.745	3.990
pH	5.16	5.39
H ₂ O ₂ (ml/20ℓ)	4.1	3.5
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	0.5	0.4
NH ₃ -N(mg/ℓ)	0.09	0.08
Na ⁺ (mg/ℓ)	<0.1	<0.1
K ⁺ (mg/ℓ)	<0.1	<0.1
Ca ²⁺ (mg/ℓ)	<0.1	<0.1
Mg ²⁺ (mg/ℓ)	<0.01	<0.01

表2 主な無機イオンの極限当量導電率⁴⁾

イオン種	S·cm ² /eq	イオン種	S·cm ² /eq
H ⁺	349.8	Ca ²⁺	59.50
SO ₄ ²⁻	80.02	Mg ²⁺	53.05
NO ₃ ⁻	71.46	K ⁺	73.50
Cl ⁻	76.35	Na ⁺	50.10
NH ₄ ⁺	73.55		

3. 結果及び考察

3.1 マイナス振れの発現状況

図3にマイナス振れがあった期間の大気中SO₂濃度の時系列図を示したが、マイナス振れ発現に関与する主な条件は、以下の様にまとめることができる。

- ① SO₂濃度が低いとき
- ② 吸収液を交換したとき
- ③ インピンジャーの洗浄
- ④ NH₃スクラバーの交換

ただし、③④の2つの処理は一時的にマイナス振れの発現を抑制している様に見えるが、短期間で再び発現するケースが多い。

以上のことから、吸収液が何らかの原因と考えられた。そこで、マイナス振れ発現の頻度が高かった期間に使用した吸収液の成分分析を実施した。結果は表1に示したが、マイナス振れが認められた塩釜局のECと硫酸イオンが幾分高めであったが、その他には特に異常は認められなかった。

3.2 NH₃による影響

表2に主な無機イオンの極限当量導電率を示したが、水素イオンだけが、350 S·cm²/eqと、他の陰イオン陽イオン(50~80 S·cm²/eq)の4~7倍となっている。

NH₃によるマイナス振れの発生機構は、SO₂の酸化によって生成する硫酸をNH₃が中和し、結果として極限当量導電率が大きい水素イオン濃度が低下することに起因する。水素イオン濃度が低下すれば、導電率は減少しマイナス振れが発現するとされている。

しかし、マイナス振れが発現した自動測定装置は何れも①NH₃スクラバーを装着済みであったこと、②NH₃スクラバーの交換後は一時的に解消するが再び発現すること、③NH₃スクラバーに吸着されたNH₃が限界容量以下であったことから(表3)、今回発生したマイナス振れはNH₃に直接起因しないものと考えられた。

3.3 藻発生による影響

インピンジャー内部に藻や殺菌が繁殖することは、日常的に見られる現象であるが、これらの発生がマイナス

表3 使用済みNH₃スクラバー中のNH₃吸着量

局名	使用期間	NH ₃ 吸着量(mg)	マイナス振
気仙沼	'91.3.28~'92.3.18	1.02	有
塩釜	'91.6.21~'92.4.07	nd	有
多賀城	'91.7.04~'92.4.07	0.74	有
名取	'91.3.25~'92.3.17	1.22	無
岩沼	'91.3.26~'92.3.17	1.46	有

振れの原因となっていることが危惧されたので、インピンジャーの洗浄液中の藻及び殺菌数を測定し比較した。

マイナス振れが頻発した塩釜局と発生しなかった多賀城II局の洗浄液に含まれる藻の数、及び一般細菌数を測定し表4に示した。藻の発生量は肉眼的にも測定結果からも、マイナス振れが発現した塩釜局の方が少なく、また一般細菌数でもほぼ同レベルであった。このことから藻の発生がマイナス振れの直接的な原因とは考えられない。

表4 インピンジャー洗浄液中の藻及び殺菌数

局名	藻数	一般細菌数	マイナス
塩釜	0~1	1.5×10 ⁶ /ml	有
多賀城II	9	2.3×10 ⁶ /ml	無

藻数：計測盤上の同一視野に見られる藻の数

3.4 導電率計の温度補正に伴うマイナス振れ

3.4.1 模擬吸収液による再現

夾雑イオンの影響をより明確にするため、硫酸や過酸化水素を添加しないNaClのみの模擬吸収液を用いた。結果は、図4に示したが、吸収液の温度の変化に応じて実際のマイナス振れ(図1)と酷似する状況を再現できた。また、吸収液の温度変化は実際のマイナス振れが発現した時期の状況にほぼ合わせた条件となっている。

3.1の結果では、マイナス振れの発生局と非発生局の吸収液には著しい違いは認められなかった。しかし、この実験では、吸収液中に夾雑イオンが存在し、ある程度の温度変

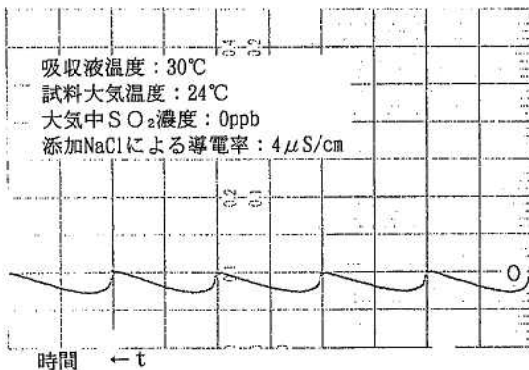


図4 実験によるマイナス振れの再現

化が存在すれば、マイナス振れが発現することが分かった。

3.4.2 計算による導電率の温度補正

溶液の導電率は温度によって変動するため、一般にはサーミスタ抵抗体を用いた温度補正回路によって自動的に温度補正されるようになっている。本機においてもインピンジャー内の吸収液中に取り付けられたサーミスタ抵抗体によって自動補正が行われている。

一方、導電率の温度係数はイオン種によって異なることが知られており、測定対象となる10⁻⁵Nレベルの希硫酸の温度係数は0.017(°C⁻¹)であり、それ以外の例えばNaCl溶液の温度係数0.022(°C⁻¹)と比べその差が大きいことが分かる。本装置では硫酸の温度係数を基に設計しているため、硫酸イオン以外の夾雑イオンについては、原理的に誤差を生じてしまうことになる。

そこで、温度補正式を理論的に求めて、吸収液中のイオンを硫酸によるものと、その他夾雑イオンによるものとに分け、温度補正の様子を計算した。

一般に、T°Cでの導電率測定値は(1)式で与えられる。

$$E_T = E_{25} \{1 + \alpha_s (T - 25)\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、E_T: 温度T°Cでの導電率

E₂₅: 25°Cでの導電率

α_s: 硫酸溶液の温度係数

夾雑イオンの導電率(25°C)をE_{c25}とすると、温度T°Cでの導電率E_{CT}は、夾雑イオンの温度係数α_cを用いた(2)式となる。

$$E_{CT} = E_{c25} \{1 + \alpha_c (T - 25)\} \dots\dots\dots(2)$$

今、仮に温度補正回路の補正值が25°Cでの値に補正されているとすると、指示値E_{c25}'は、E_{CT}を再び25°Cに補正することになる。ところで本装置は硫酸のみを対象に設計されているため硫酸用の温度係数であるα_sで補正されることになり(3)式、誤った補正となる。

$$E_{c25}' = E_{CT} / \{1 + \alpha_s (T - 25)\} \dots\dots\dots(3)$$

また、吸収液中の硫酸の濃度をC_{LS}(単位: μN)、硫酸の極限当量電導率(25°Cにおける値)をλ_sとすると、硫酸による導電率E_{s25}は、(4)式となる。

$$E_{c25}' = C_{LS} \cdot \lambda_s \dots\dots\dots(4)$$

なお、λ_s=349.8(S·cm²/eq)とする³⁾。

従って、実際に記録計に出力される導電率(実測値: E₂₅)は、(3)+(4)とすることができる(5)式。

$$E_{25} = E_{s25} + E_{c25}' \dots\dots\dots(5)$$

さらに、吸収液中の硫酸の濃度C_{LS}は試料空気の流量v(ℓ/min)、SO₂から硫酸への変換率fを用いて(6)式で与えられる。

$$C_{LS} = f \cdot C_{gs} \cdot (v \cdot t \cdot 2 / 22.4 / V) + C_{L0} \dots\dots\dots(6)$$

ただし、C_{LS}: 試料空気中のSO₂濃度(ppm)

C_{L0}: 吸収液中の初期硫酸濃度(μN)

t: 時間(min)

V: 吸収液量(ℓ)

一方、吸収液は試料空気の導入とともに蒸発等でロスする。この補正については、JIS¹⁾で詳述しているが、ほぼ直線的に減少することから、ここでは単純に一定割

11. 宮城県大気汚染常時監視システムの更新概要

加賀谷秀樹 吉田 徳行 佐藤 信俊
百川 和子*¹ 宮崎栄一郎*²

キーワード：大気汚染常時監視システム，デジタル回線，テレメータシステム

大気汚染常時監視システムの更新に当たり，通信回線の検討を行い，デジタル回線を採用した。コンピュータシステムとしてはワークステーションやパソコンをLANで結んだ分散処理方式とし，操作性の向上とグラフィックな表示機能の充実を図った。

1. はじめに

宮城県大気汚染常時監視システム（以後「システム」という。）は，昭和58，59年度に中央局のコンピュータ及びテレメータの更新を行った。しかし，①操作卓，地図及び数値表示盤は20年以上を経過しリレー等の部品の製造中止により保守が困難になってきたこと，②有線回線と無線回線のシステムが混在状態となっており緊急時の迅速な対応が難しくなっていたこと，③更新した中央局のコンピュータがさらに10年以上経過し老朽化による大きな障害が想定されること，などから平成5年度に通信回線を無線回線から有線回線に切り替え，新しいコンピュータシステムを導入するなどの全面的な更新を行った。

本報告は，このシステムの更新にあたって，その経緯，背景，主な特徴等について取りまとめたものである。

2. システムの変遷

2.1 システムの歩み

本システムは表1に示すように，仙塩地区4局（塩釜，七ヶ浜，多賀城，利府）を無線回線により接続し，昭和46年10月から稼働した。同年12月に仙台市大気テレメータシステムとデータ交換を開始し，翌47年4月には，新設された宮城県公害技術センターに中央局全体を移転した。

その後，大気汚染測定局の整備・拡充を図り，昭和50年4月からは，公害防止協定締結工場8社と硫酸化物に関する発生源監視サブシステム（発生源系という。一方，大気測定データの処理系は環境系と呼んでいる。）も組み入れた。さらに，翌51年4月から発生源系に公害防止覚書工場9社を加えるなど計18局とテレメータ化するようになった。

昭和57年度には，中央局のコンピュータシステムを更

新し，翌58年度には，中央局テレメータの設備更新を行った。昭和63年度から国設局（仙台，筥岳）に，第二次酸性雨対策調査の一環として酸性雨自動測定機が設置され，酸性雨のデータ処理（酸性雨系という。）を業務として組み込んだ。

平成3年度から適正配置に基づく測定局の整理・統合を進め，古川自排局，丸森局の新設，発生源系7社及び環境系6局の廃止を行った。また，平成5年9月には，発生源系窒素酸化物濃度のテレメータ化を開始し，今日に至っている。

2.2 有線化への背景

昭和60年の電気通信改革三法の実施に伴い，加入電話回線の通信が自由化され，パソコン通信が行われるようになった。これに伴い，パソコンによる小規模テレメータシステム¹⁾が開発され，本県では環境庁のモデル県として，昭和61年度から未テレメータ局を対象に実用化試験を行ってきた。これを踏まえ，本格的導入のために昭和63年度から平成2年度までの3カ年の「ローコストテレメータシステムの信頼性と安全性に関する調査」を実施し，①測定局のデータ収録装置の性能，②加入電話回線によるデータ伝送上の問題点，③中央局のハードウェア，ソフトウェアの構成等についても検討してきた。

その後も検討を重ね，更新システムの通信回線については若干の技術的課題はあるものの有線回線を用いること，ハードウェア等についてはオープンな環境の製品で構築するという方向性を打ち出した。

3. システムの構成

3.1 システム概要

新システムは図1の「システム概要図」に示すように，中央局，測定局，端末局，及びこれらの局間を接続する通信回線とその付属装置より構成される。

端末局としては，県庁，気象台，4保健所（仙南，岩沼，塩釜，石巻）であるが，これは大気汚染防止法に定める緊急時の措置を的確・迅速に遂行するために，オン

* 1 現宮城県消費生活センター

* 2 現宮城県環境生活部原子力安全対策室

表1 テレメータシステムの歩み

年月日	主 要 事 項
46/ 4. 1	宮城県公害技術センターが設置され、テレメータ部門が発足。
7. 1	県庁東分庁舎に中央局コンピュータ（NEC製ミニコンM4）を設置。
10. 1	仙塩地区4局（塩釜，七ヶ浜，多賀城，利府）を無線回線により接続し、宮城県大気汚染監視テレメータシステムが稼働。
12.23	仙台市大気テレメータシステムとデータ交換を開始。
47/ 4.17	宮城県公害技術センターの新築に伴い、現在の敷地に移転。
7. 1	国設仙台局，石巻HF局設置。
8. 1	矢本HF局設置。
9. 1	鶯沢局設置。
9.15	移動観測車配属。
48/ 5. 1	岩沼，名取，仙台港（逆転層）局設置。
6. 1	石巻，矢本局設置。
49/ 5. 1	七ヶ浜Ⅱ，矢本Ⅱ，古川，柴田局設置。
6. 1	多賀城Ⅱ局設置。
50/ 4. 1	公害防止協定締結工場8社（新仙台火力，東北石油，吾嬭製鋼（現トアスチール），藤沢製鋼（現東北スチール），仙台市ガス局，大昭和製紙，十條製紙（現日本製紙），東洋曹達（現東北東ソー化学）と硫酸酸化物に関する発生源系のテレメータシステム導入。 泉，松島，大和，国設篁岳局設置。
7. 1	白石，気仙沼局設置。
51/ 4. 1	発生源系に公害防止覚書工場9社（大昭和ユニボード，東洋ゴム，サッポロビール，宮城化学，キリンビール，ソニー，東洋刃物，仙台火力，伊藤製鐵所）を加えた。
53/ 4. 1	石巻Ⅱ局設置。
54/ 2. 1	発生源系に東海カーボン局を加え，計18局となる。
57～59年度	大気汚染測定局の適正配置調査検討。
57/ 1.11	柴田Ⅱ局設置。
11. 1	鶴ヶ谷，通町局設置。
58/ 4. 1	中央局コンピュータシステム（NEC製 ミニコンMS120）更新。
59/ 4. 1	中央局テレメータの設備更新。
12. 1	塩釜自排局設置。
60/10.21	石巻HF局廃止。
62/ 4. 1	一部地域で加入電話回線利用によるテレメート化開始。
63/ 1. 1	名取自排局設置。
4. 1	国設局（仙台，篁岳）に酸性雨自動測定機設置。
63～H2年度	テレメータシステムの信頼性と安定性に関する調査検討。
H1/ 3.31	泉局仙台市へ移管。
H1～4年度	テレメータ装置の高機能化及び有線化に係る実証試験。
H3/ 9.30	発生源系7社（東洋ゴム，大昭和ユニボード，サッポロビール，宮城化学，ソニー，東洋刃物，仙台市ガス局）廃止。
H4/ 3.31	鶴ヶ谷，多賀城，矢本，七ヶ浜Ⅱ局廃止。
4. 1	古川自排局設置。
8.31	柴田Ⅱ局廃止。
H5/ 1. 1	丸森局設置。
3.31	通町局廃止。
9. 1	発生源系窒素酸化物濃度のテレメート化開始。
H5年度	デジタル回線を活用した新システムの設計・施工。
H6/ 4. 1	発生源系相馬共同火力，環境系迫局（新設）を加え，以下の局構成にて新システムの運用開始。

新システムの局構成 H6.4.1現在

・環境系	26局	一般環境大気測定局	20局
		自動車排出ガス測定局	3局
・発生源系	12局	移動局	1局
・酸性雨系	2局	特定項目局	2局

大気汚染常時監視システム

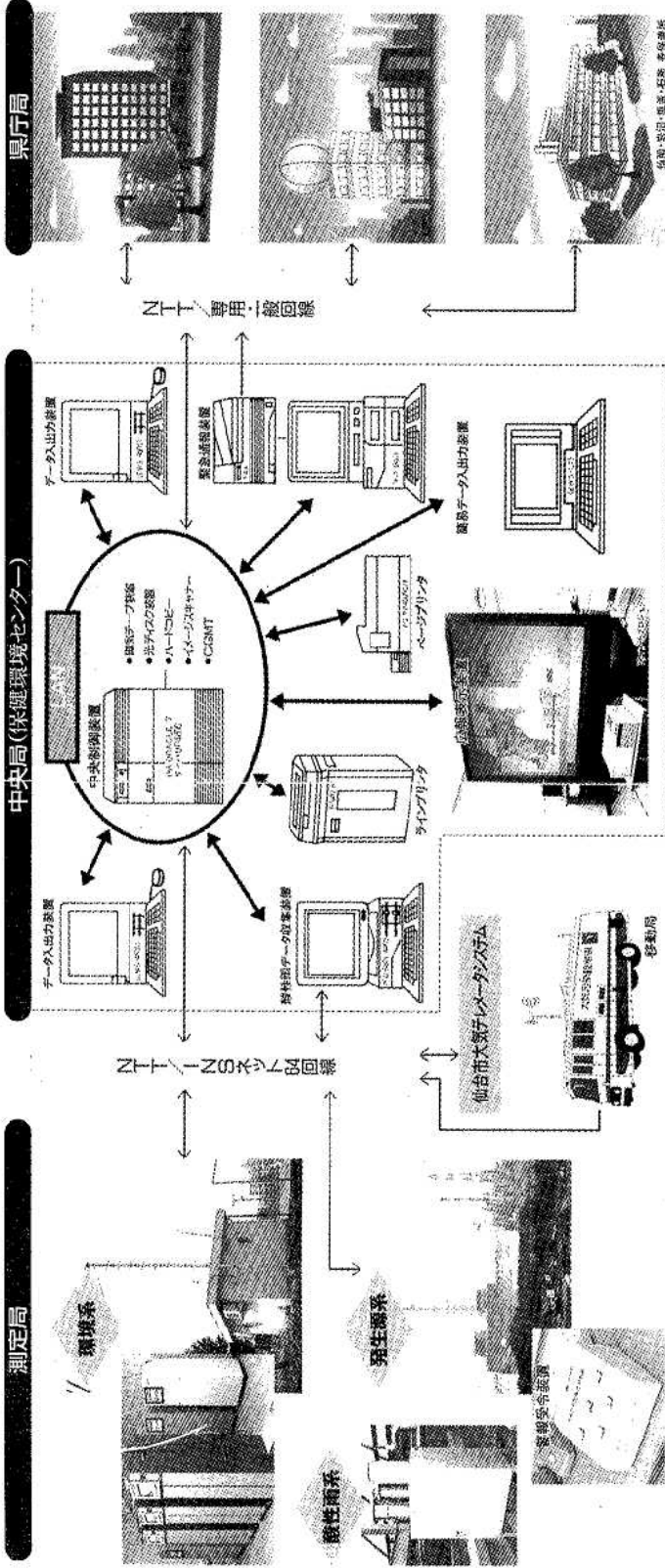


図 1 システム概要図

ラインリアルタイムによる情報の収集・伝達が行えるようにしたものである。

ハードウェアは図2の「ハードウェア仕様概要」に示すようにワークステーションとパソコンによる分散処理システムとしている。ソフトウェアは図3の「ソフトウェア機能概要」に示すように、大別して、データ収集、データベース管理、データ等出力、緊急時処理、酸性雨データ処理、相馬火力データ処理から構成される。

4. システムの主な特徴

4.1 デジタル回線の採用

ネットワークの構築にあたり、NTTの通信回線サービスの中から、機能、品質、経済性等の比較を試み、①専用回線のな使用ができること、②同時に複数の測定局と通信可能なこと、③表2で示すように回線使用料金が安価であることから、パケット交換サービスに注目し導入を決定した。

センター回線には高品質、高トラフィックに対応できるパケット交換サービス(DDX-P)を利用し、測定局回線には、1回線でパケット通信(Dch:環境系データ送受信用)、回線交換利用のデータ通信(Bch:酸性雨系データ送受信用)、保守のための電話連絡(Bch)ができる、などの付加価値を兼ね備えたISDN(総合デジタル通信網)回線を採用した。

その結果、加入電話回線利用に比べて、①同時に全測定局のデータ収集ができ、②収集時間が4分から30秒に短縮できること、③シンプルなネットワーク化が図れる、などの優位性があった。

4.2 汎用なシステム構成

(1) コンピュータ機器等

従来のシステムはミニコン(NEC製 MS120)を中央局の制御装置とし、時報、日報等の出力などを1台のコンピュータで集中的に処理していた。

新システムでは、①ハードウェアやソフトウェアの標準化が進んでいることからメーカーにとらわれないオープンなシステム環境であること、②処理機能及び能力に適したコンピュータを並列的に配置し分散処理させるようにしたこと、③ディスプレイやグラフ出力を伴う処理が多いことからグラフィックな表示機能に優れたものであること、などの条件からハードウェアとしてはエンジニアリングワークステーション(EWS)とパソコンによる機器構成とし、OSとしては通信機能に優れたマルチタスク処理が可能なUNIX(SVR4)を採用した。また、より容易な操作環境を実現するため、グラフィカルユーザインターフェース(GUI)として、XウィンドウとOSF/Motifを導入した。

この結果、データ収集とデータベース処理を行う中央制御装置に高性能なサーバを、データのグラフィック表示を行う入力出力装置にワークステーションを設置した。一方、機能的に個別処理の方が効率のよい酸性雨系や相馬火力データ収集系の中央局としてはパソコンを採用し

表2 回線使用料金比較表

回線種別	INSネット64	加入電話回線
基本料等	3,690円	2,410円
回線接続装置使用料	1,700円	—
Dchパケット使用料	1,000円	—
1ヵ月分データ通信料	864円 ¹⁾	7,200円 ²⁾
合計	7,254円	9,610円

(注) 算出条件

1) 3パケット×0.4円×720時間=864円

2) 10円×720時間=7,200円

た。これらは互いにデータやプリンタが共有できるようにLANで接続した。LANは設置しやすい「10BASE-T」、スター型、通信プロトコルは「TCP/IP」とした。

(2) 汎用データベース

既存のプログラム群がCOBOL、FORTRAN言語で記述されていることから、両言語からのアクセスが可能な汎用データベースとしてリレーショナル型の「Oracle 7」とした。「Oracle 7」の導入により第4世代言語(4GL)を用いて、アプリケーション開発のプログラムコーディングが省力化することが期待される。また、表計算ソフトである「MS-EXCEL」から、マクロ言語によりデータが入出力できるようになり、突発的なデータ提供のニーズにも応えられるようになった。

(3) 既定値ファイル

入力画面上の「日時」、「局・項目」などのパラメータについては、業務内容によって入力すべきデータが明らかかなものが多い。このようなパラメータをその都度入力しなくてもよいように「既定値ファイル」方式を導入した。「既定値ファイル」とは、対象となる局・項目、処理期間などをあらかじめ既定値として選択しておき、当該業務に応じた名称でファイル上に登録しておくものである。

このファイルを選択することにより通常業務の処理のほとんどがパラメータ入力のための「キー操作」が不用になり、マウスでの操作で必要な出力結果が得られるようになった。

(4) 地図表示

従来の仙台周辺の地図表示盤に代わり、ディスプレイに宮城県地図を表示させることにした。測定局が密に配置されている仙台周辺などを表示するには、拡大機能を使うことにより並べて表示も可能である。また、風のながれを視覚的に理解しやすいように、標高のイメージを地図と同じ色彩で表現することにした。

この宮城県全域の画面を常時監視用の基本画面とし、測定局の位置に汚染物質濃度レベルを棒グラフ、風の流れ

中央局 回線 測定局、端末局等

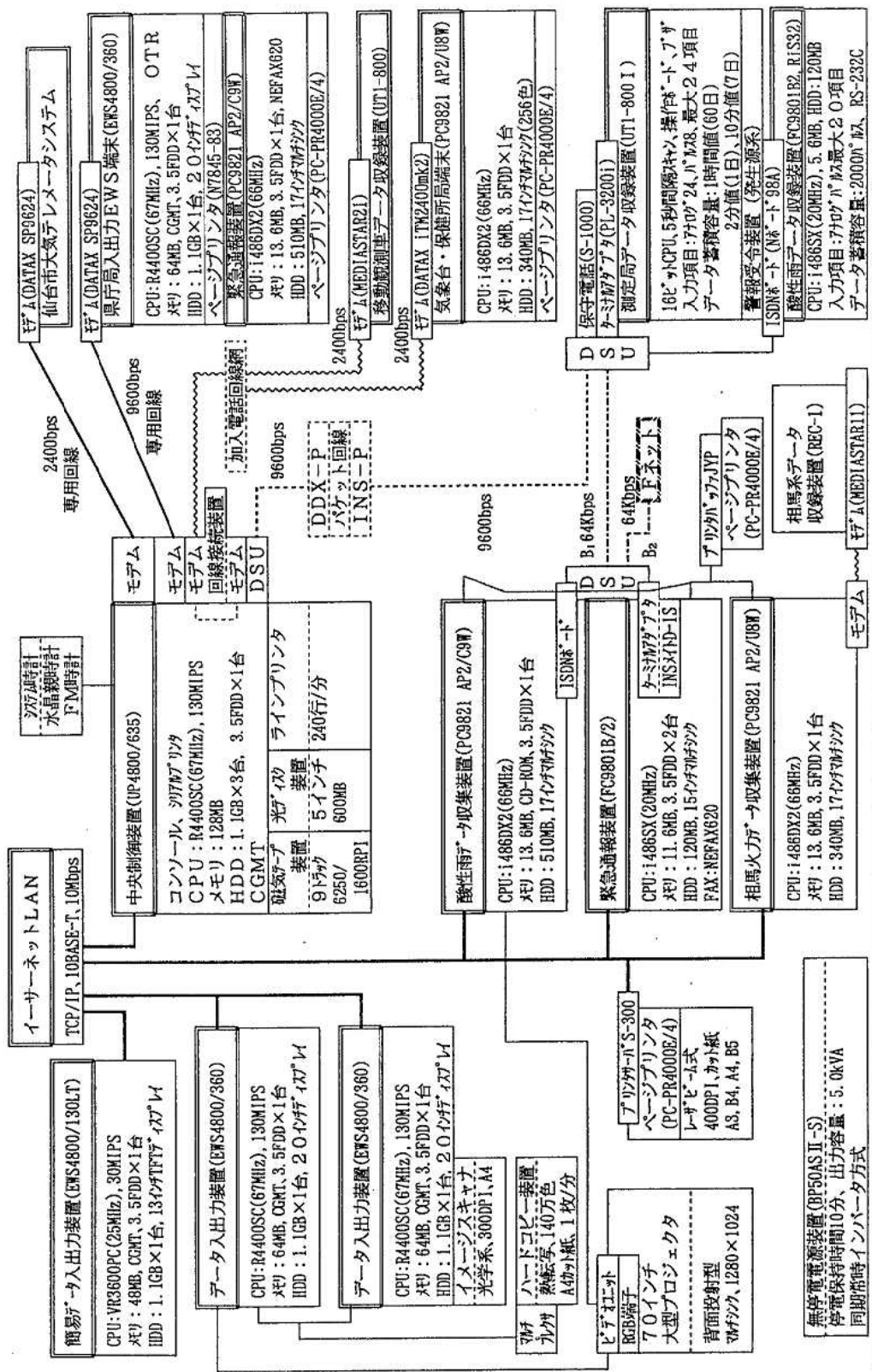


図2 ハードウェア仕様概要

測定局、端末局等

中央局

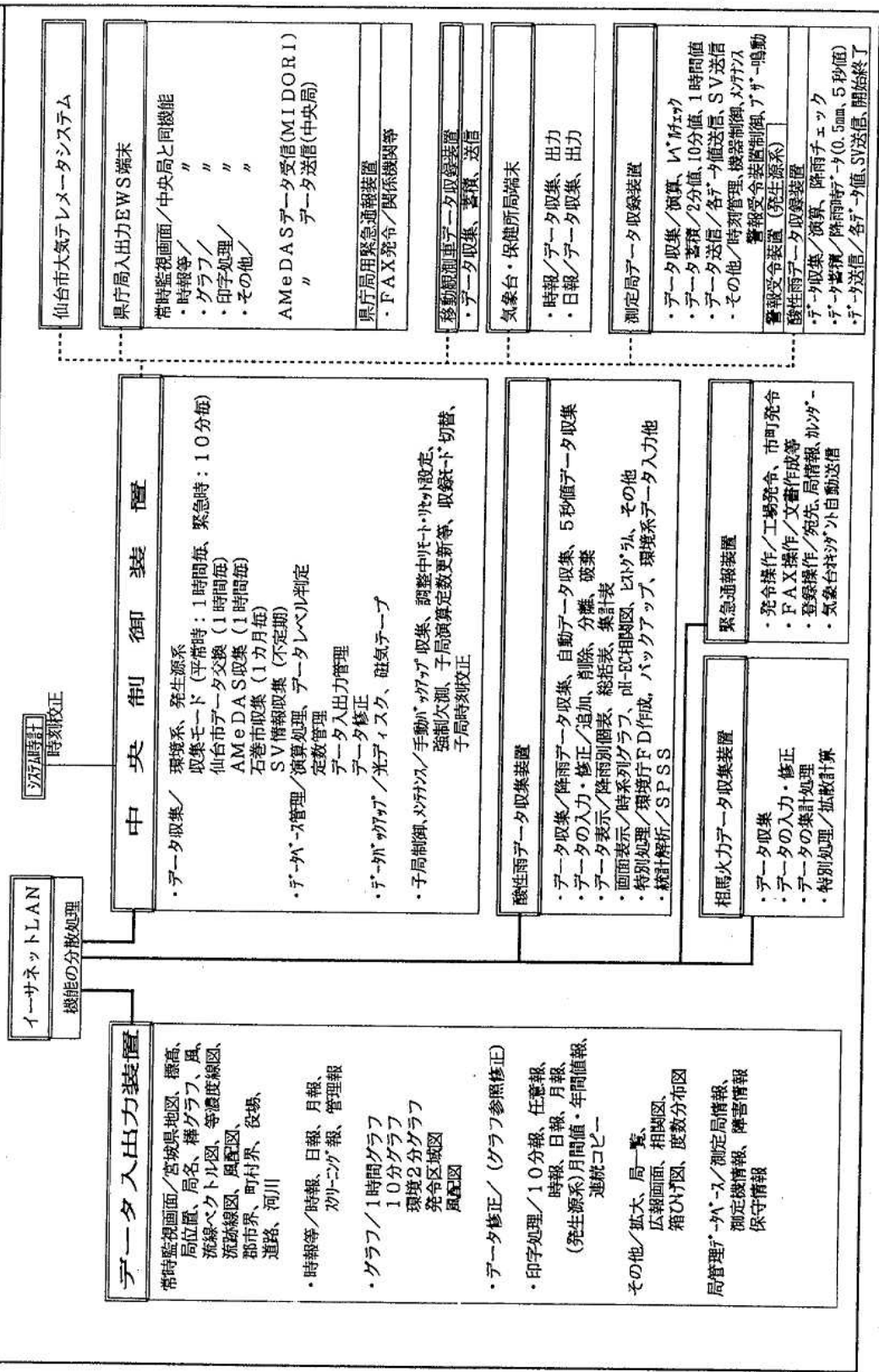


図3 ソフトウェア機能概要

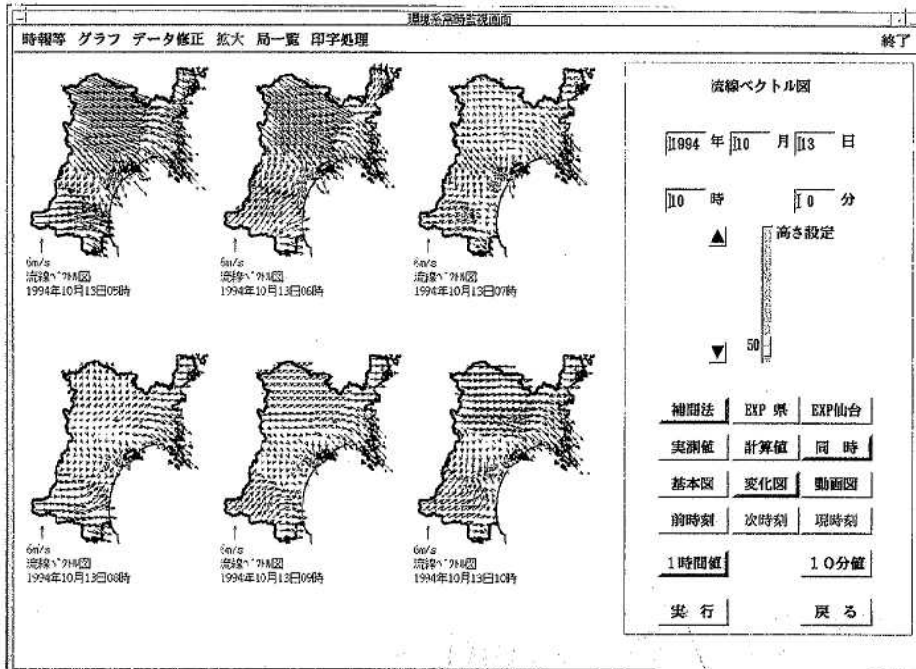


図4 流線ベクトル図

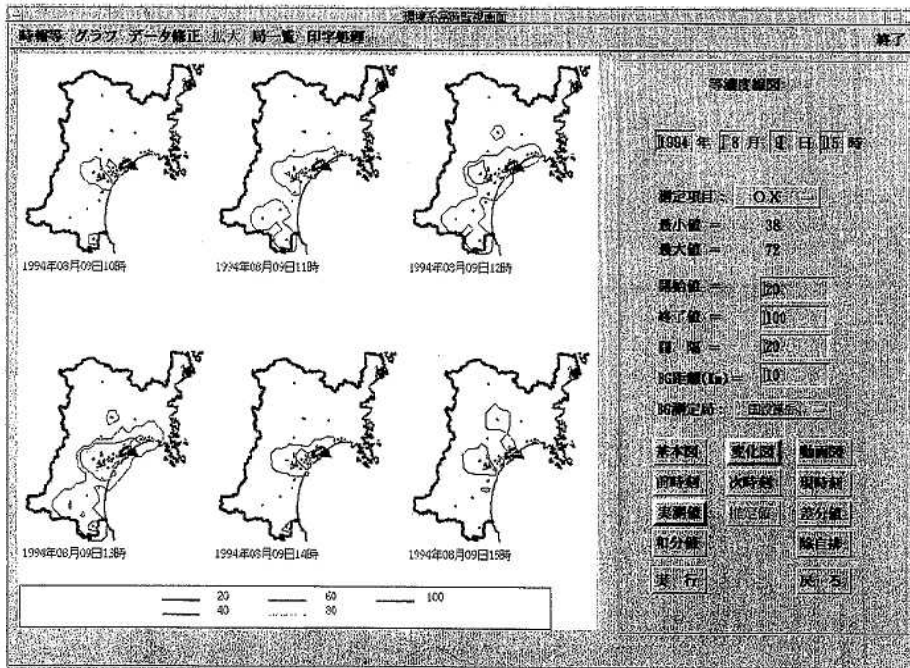


図5 等濃度線図

の様子を矢印で表示した。その他には、局名、道路、河川、市町村の境界、役場位置もボタン選択により表示可能とした。

宮城県地図作成のデータには、以下に示す国土地理院の数値地図を用いた。この数値地図はフロピにより提供される新しい形の地図データであり、一部地域の拡大ができるのもこの数値地図を用いたことによる。

① 数値地図 25,000 (海岸線・行政区)

「仙台」, 「石巻」

② 数値地図250mメッシュ (標高)

「福島」, 「仙台」, 「石巻」, 「一関」, 「新庄」

(5) 解析用グラフ

汚染気塊の流れをあらわすため流線ベクトル図 (図4) 及び流跡線図を導入した。流線ベクトル図は測定局の風のデータを用いて県全体のメッシュを補間法により推定したものである。県全体の「基本図」のほか、過去6時間分の変化状況を1画面で表示できる「変化図」がある。流跡線図は流線ベクトルの結果を活用し、対象地点における過去3時間分の流れの「始点」または「終点」を矢印で追跡したものである。

また、等濃度線図 (図5) には「基本図」のほか、過去6時間分の「変化図」と「動画図」がある。

これらのグラフ機能を用いることにより、高濃度現象がどのような風の流れによってもたらされたか、濃度の推移がどのように変化したか、などがわかりやすく表示される。このことから光化学スモッグ注意報などの緊急時の場合に、発生源の位置関係などから削減対策をとるべき地域の推定にも有用なツールとして期待できる。

また、一般的なグラフである相関図、度数分布図のほ

か、データの分布を直感的にわかりやすくした箱ひげ図がある。風配図については地図上への表示のほか局間の風系の違いをみるために複数局を1画面上に表示できる。

(6) データ処理の高度化

全体的汚染傾向を一目で把握するために、時系列図には複数局及び項目を長時間 (最大40日) 表示できるようにした。この時系列図をみると測定機の障害も一目でわかることから、データ修正の業務を時系列図を参照しながら行えるようにした。

また、測定局における機器の障害の際にその状況を十分把握するため、チャートイメージの環境2分グラフを直近の2時間分を送信するようにした。この結果、チャートデータの動きから障害の原因がかなり推定できるようになった。

(7) 局管理データベース

測定局及び機器の適正な維持管理には、測定局設置の履歴及び周辺状況、機器の保守状況や障害発生状況及び修理履歴等を十分に把握する必要がある。そこで、測定器からの障害情報を基に、測定局・機器管理のためのデータベースを構築した。

5. 謝 辞

新システムの構築にあたり、各自治体の常時監視担当者及び関係機関の皆様にも多大なご協力を賜りました。この場を借りて深謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 環境庁大気保全局：環境大気常時監視マニュアル (改訂版), P228 (1990)

12. 有機質肥料製造施設の悪臭実態調査結果（第2報）

新垣 康秀 嵯峨 京時*1 宮崎栄一郎*2

キーワード：家畜ふん尿，強制発酵施設，臭気測定，臭気センサー，臭気コンター

家畜のふん尿を原料として有機質肥料を製造している強制発酵施設の中から代表的な施設を選定し，悪臭に係る調査を実施した。その結果，施設の中で臭気が一番強かったのは，発酵槽の中間地点付近であったが，原料貯蔵庫でもかなり強い臭気が感じられた。また，距離減衰のみで，敷地境界の規制基準まで臭気を減少させるには，少なくとも数十メートルの距離が必要であった。なお，臭気センサーを活用することにより，施設内外の臭気の濃度分布を示すことができた。

1. はじめに

我々は前報¹⁾で，家畜のふん尿等を原料とする強制発酵施設11施設について，悪臭に係る実態調査を実施し，宮城県公害防止条例及び悪臭防止法の規制基準の適合状況，原料の違いによる臭気発生量の差違等を明らかにしたが，本年度はこれらの施設の中から代表的な施設を選定し，施設内外における臭気の濃度分布，環境へ及ぼす影響範囲等を把握するため調査を実施した。

2. 調査方法

2.1 調査対象事業場

K町家畜排泄物処理センター

2.2 事業場の概要

表1に施設等の概要，図1に処理フローを示す。

当該事業場は町内の畜産農家から搬入された家畜ふん（豚ふん，牛ふん，鶏ふん）を原料貯蔵庫に約2か月間堆積し，含水率を60～70%に調整した後，発酵槽に投入し，約70日間攪拌・送風して発酵させ，含水率35%前後

表1 施設等の概要

施設等	床面積	備 考
発酵処理施設	1,109㎡	RC+木造平屋建 1棟
発 酵 槽	600㎡	(L100m×W3.0m×H1.8m)×2基
原料貯蔵庫	330㎡	RC+木造平屋建 1棟
尿貯溜槽	156㎡	RC 1基
攪 拌 機	—	濱田式HS-2型 2基

*1 現宮城県原子力センター

*2 現宮城県環境生活部原子力安全対策室

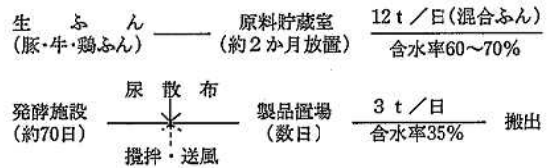


図1 当該施設の処理フロー

の発酵堆肥を製造している。

製造した製品の約7割は町内の耕種農家に直接販売し，残りは市場に出荷している。

なお，当該事業場の周りは全て農地に囲まれ，約700m離れた距離に民家が点在しているだけである。

2.3 調査期間

平成5年5月～平成6年3月

2.4 調査地点及び調査項目等

表2に調査地点及び調査項目等を示すが，人間の嗅覚に代わって臭気を感じ取る臭気センサーから臭気指数及びアンモニア濃度を推定する方法も併せて検討した。

表2 調査地点及び調査項目等

調査地点	調査項目	測定方法
製造工程	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
	品 温(℃)	—
建屋内及び敷地境界等	臭気指数	5点比較式臭袋法
	アンモニア(ppm)	検知管法又は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)	検知管法又は検知管による簡易測定法(平成2年4月環大特第58号)

注1) 製造工程のアンモニア及び硫化水素は汚泥表面近くで，品温は汚泥表面下60cmの深さで測定

3. 結果及び考察

3.1 製造工程における臭気等の測定結果

図2, 3に夏季及び冬季の各工程における臭気等の測定結果を示す。

夏季は外気温が高いこともあり、原料貯蔵庫の汚泥表面近くで、アンモニアが50ppm（硫化水素0.05ppm未満）検出され、また、汚泥の品温も40℃あり、既に好気性発酵が始まっていることが分かった。発酵槽においては、中間地点（投入口から50m地点）の汚泥表面近くで、

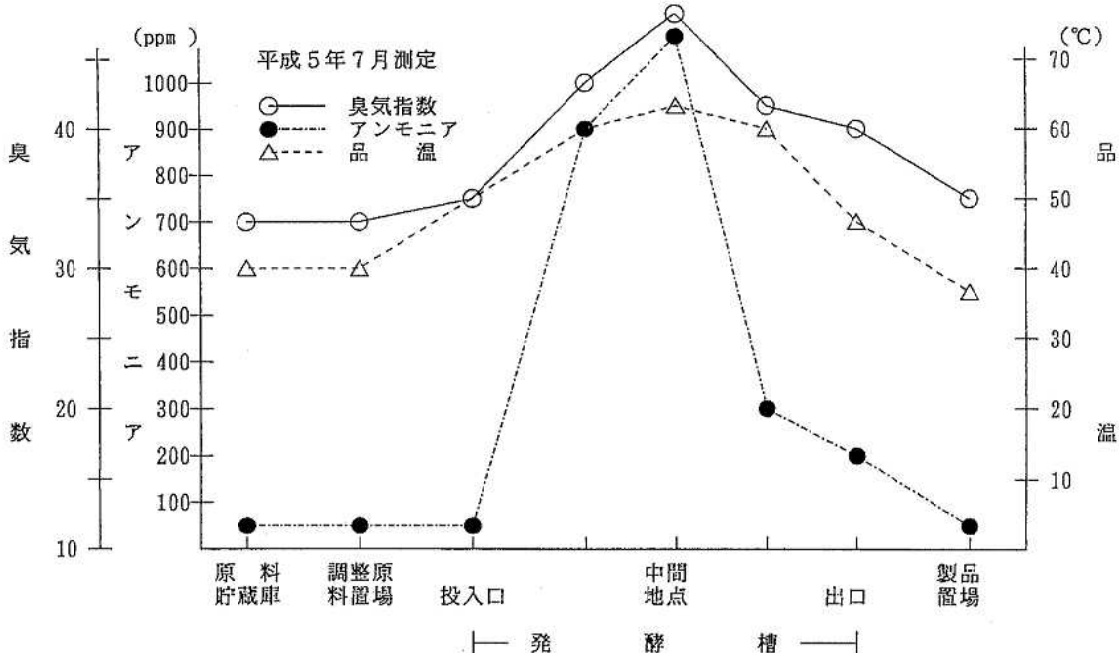


図2 製造工程における臭気等測定結果（夏季）

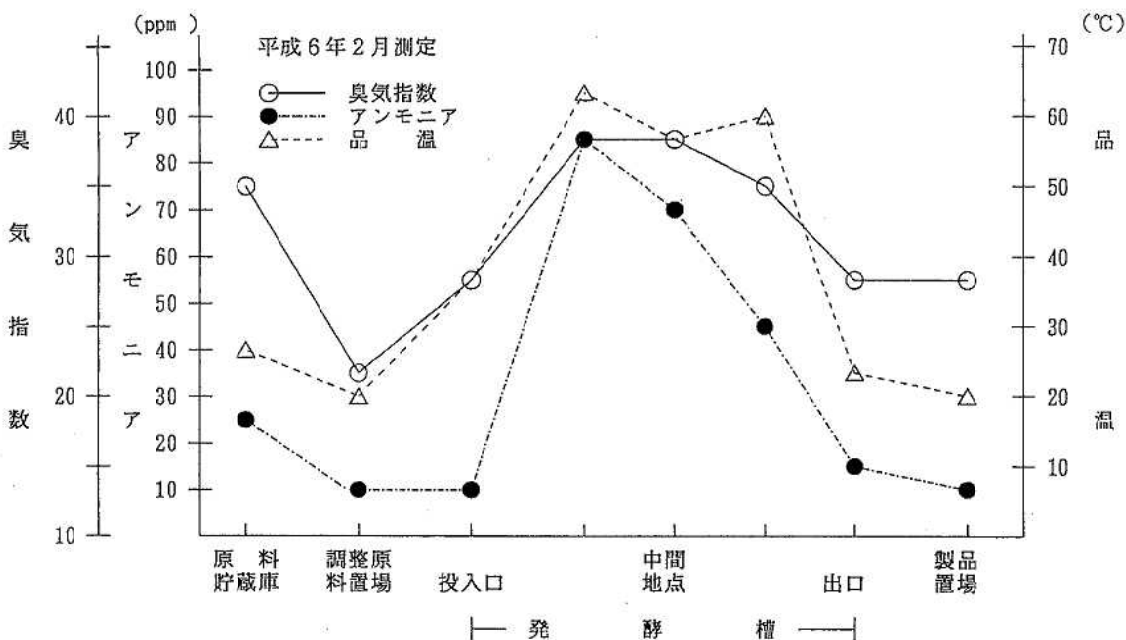


図3 製造工程における臭気等測定結果（冬季）

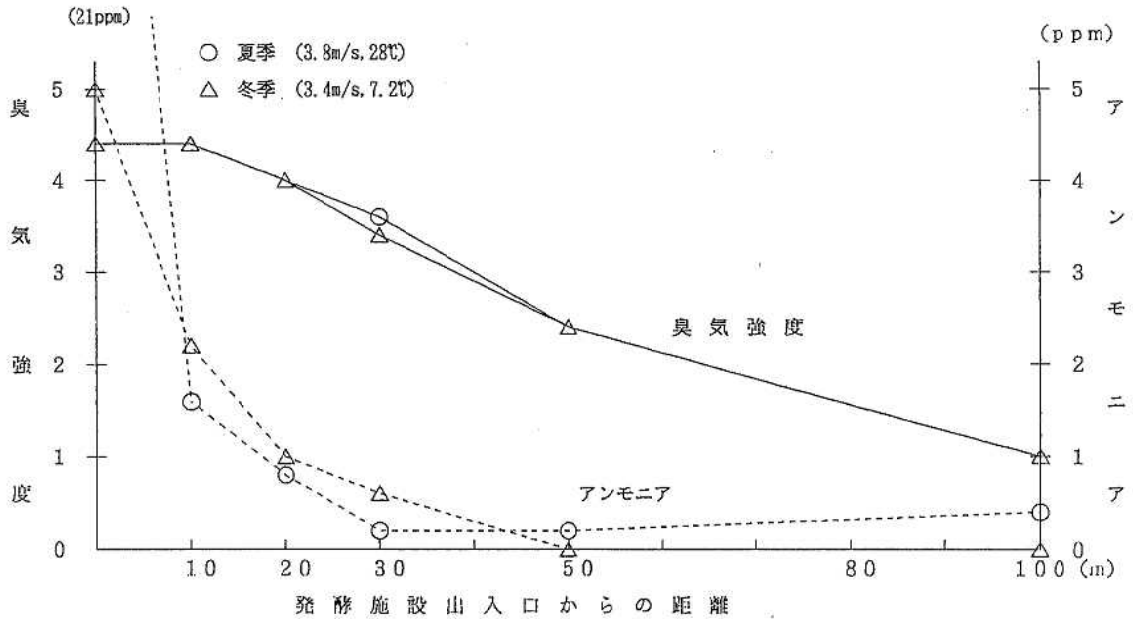


図4 臭気の距離減衰

臭気指数、アンモニア、品温とも最大になり、臭気指数で45、アンモニアで1,000ppmを越えて検出された。

一方、冬季は外気温が低いので、原料貯蔵庫の汚泥の品温は夏季ほど高くはないが、それでもアンモニアが25ppm（硫化水素0.05ppm未満）検出され、夏季と同じく好気性発酵が始まっていることが分かった。

発酵槽においては、中間地点より手前（投入口から25m地点）の汚泥表面近くで臭気指数、アンモニア、品温とも最大になり、臭気指数で38、アンモニアで85ppm検出された。

いずれの場合でも、発酵槽の中間地点付近は臭気が一番強かったが、原料貯蔵庫の汚泥表面近くでも結構強い臭気が検出された。

なお、当該施設においては、他の施設と同様に、急激な発酵で汚泥の品温が高くなり過ぎ、発酵製品の品質が低下するのを防ぐため、発酵槽の中間地点の前後に豚尿（足りない分は沢水）を散布していた。

3.2 臭気の距離減衰

図4に臭気の距離減衰を示す。

アンモニアは、発酵施設出入口で夏季には21ppm、冬季には5ppm（硫化水素0.002ppm未満）検出したが、施設から離れるにつれて急激に減衰し、出入口から20mの距離で夏季・冬季とも悪臭防止法の規制基準（1ppm）以下になった。

一方、臭気強度は、アンモニアほど急激には減衰せず、臭気強度2.5まで減衰するのに約50m、1.8（宮城県悪臭公害防止対策要綱の判定基準）まで減衰するのに約80mの距離が必要であった。

アンモニアの減衰が臭気強度に比べて急激なのは、当

該物質が強制発酵施設における主たる悪臭成分であるものの、分子量が小さく、他の悪臭成分（トリメチルアミン、低級脂肪酸等）より拡散しやすいためと考えられる。

なお、今回の調査では、施設から100m以内で問題のないレベルまで臭気は減衰していたが、過去の調査で、当該施設の臭気排出強度（Total OER）は 10^5 のオーダ（小規模の悪臭公害が起こる可能性を内在）であり、さらに周辺地域の聞き取り調査で、たまに“強くにおう”との苦情もあったので、気象条件によっては、かなり遠くまで臭気が到達しているのが分かった。

3.3 臭気センサーによる臭気の測定

3.3.1 回帰直線の作成

高純度ボンベ空気で校正した臭気センサー（新コスモ電機㈱製 XP-329¹⁾及びXP-329N²⁾）で施設内外の現場臭気を測定し、さらに同一地点の臭気を採取して、現場センサー値と臭気指数及びアンモニア濃度との関係を求めたところ、それぞれ相関（1%有意）があったので、図5、6に示すように回帰直線を作成した。

これより、現場センサー値から臭気指数及びアンモニア濃度が推定できるが、当該臭気センサーは人間の嗅覚に比べるとかなり感度が悪く、また、臭気を感じない風上（ブランク）においても、200近くのセンサー値を示したので、臭気指数18、アンモニア濃度5ppmが今回の測定の検出限界と考えられる。

- 1) 各種臭気成分に対し、高い感度を示す汎用型の臭気センサー
- 2) 特にアンモニアに対し、高い感度を示す臭気センサー

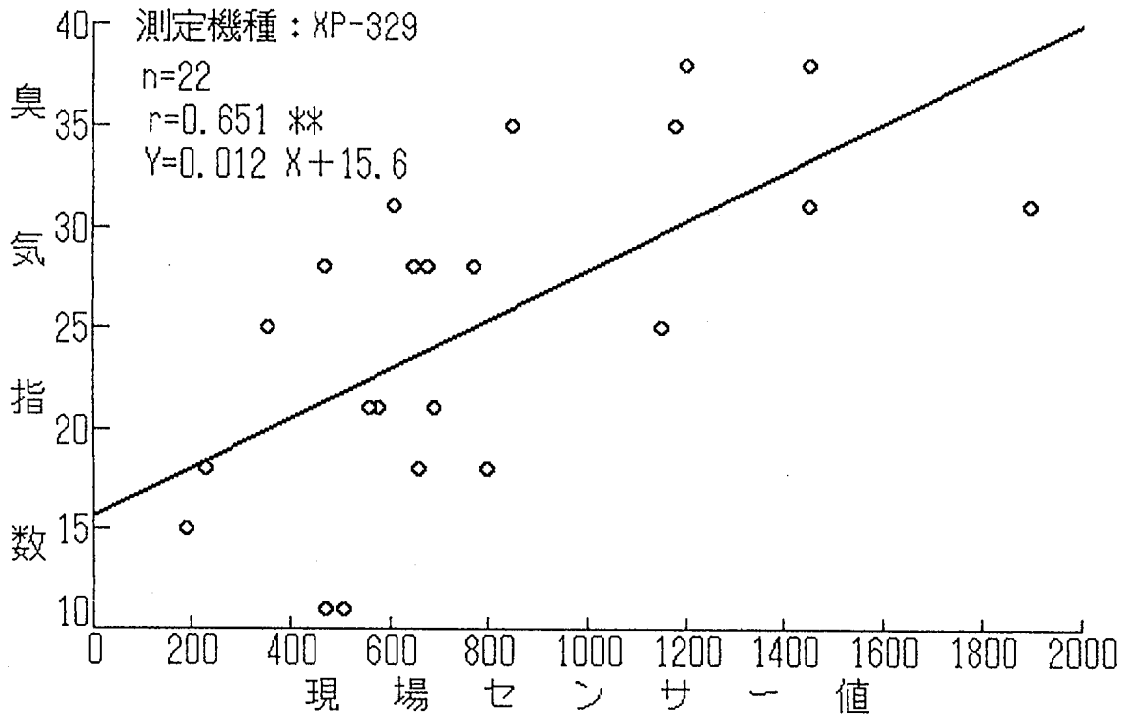


図5 現場センサー値と臭気指数との関係

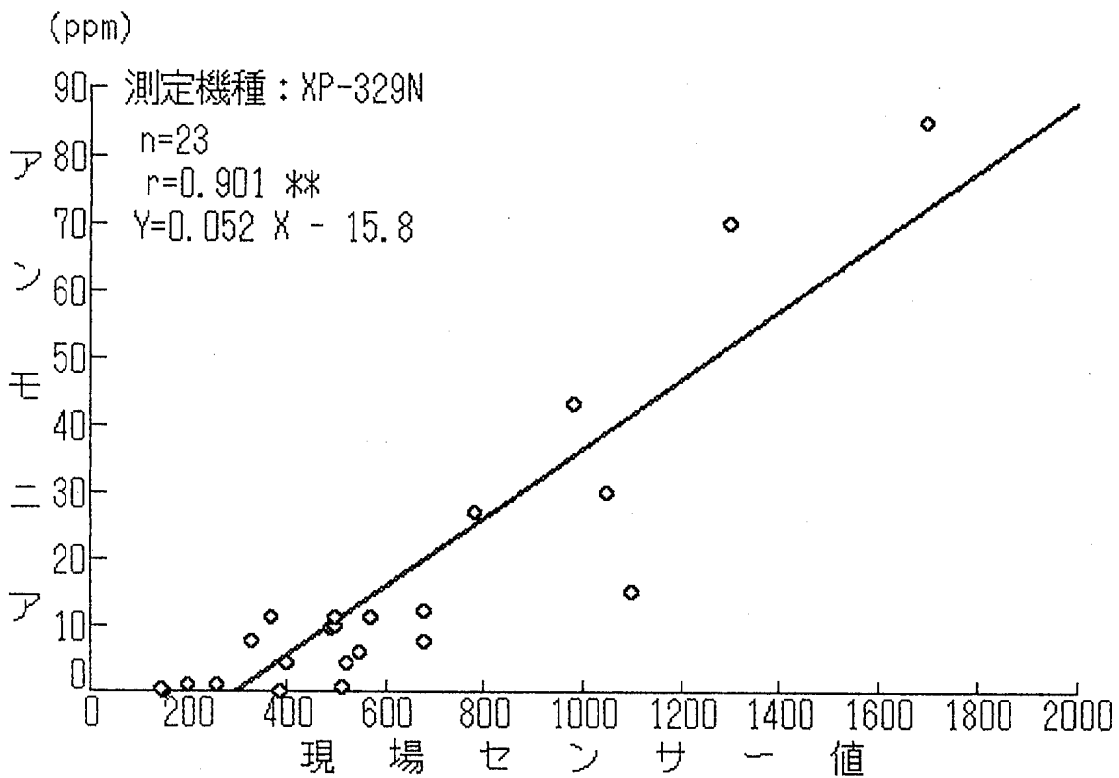
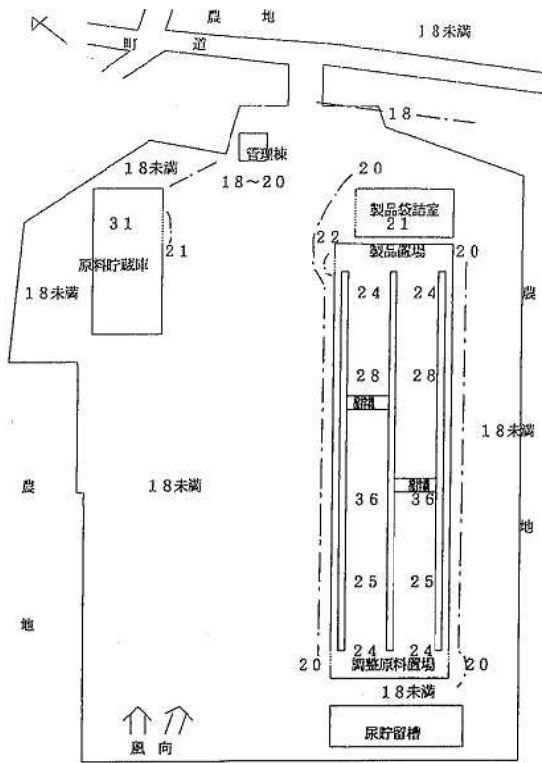
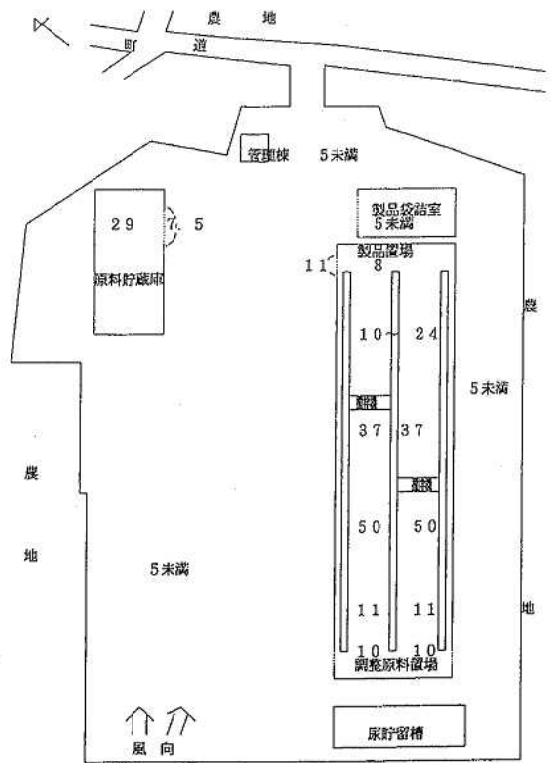


図6 現場センサー値とアンモニア濃度との関係



注) 平成6年2月測定、気温(7.2℃)、風速(3.4m/s)

図7 臭気指数カウンター



注) 平成6年2月測定、気温(7.2℃)、風速(3.4m/s)

図8 アンモニアカウンター

3.3.2 臭気カウンターの作成

臭気指数及びアンモニア濃度を実測してない地点については、3.3.1で作成した回帰直線を用いて、現場センサー値から臭気指数及びアンモニア濃度を推定し、図7、8に示すようにそれぞれ臭気カウンターを作成した。

これから、当該施設内外における臭気の濃度分布をある程度把握できる。

なお、調査当日、西風ないしは南西風が吹いていたこともあり、臭気指数18のカウンターは発酵施設から東側約30m、アンモニア5ppmのカウンターは原材貯蔵庫及び発酵施設の出入口付近であることが測定された。

4. まとめ

- (1) 製造工程では、発酵槽の中間地点付近が臭気は一

番強かったが、原料貯蔵庫でも結構強い臭気が感じられた。

- (2) アンモニア濃度を悪臭防止法の規制基準(敷地境界1ppm)以下まで減衰するには、発酵施設出入口から約20m、臭気強度1.8(宮城県悪臭公害防止対策要綱の判定基準)まで減衰するには、約80mの距離が必要であった。
- (3) 臭気センサー値と臭気指数及びアンモニア濃度との関係を求めることにより、施設内外における臭気の濃度分布を示すことができた。

参考文献

- 1) 新垣康秀他：宮城県保健環境センター年報，11，89～93(1993)

13. 環境臭気調査結果について

嵯峨 京時*1 新垣 康秀 加賀谷秀樹
宮崎栄一郎*2

キーワード：環境臭気，悪臭，環境保全水準

石巻市内の新漁港周辺には、魚腸骨処理場や水産加工排水処理場等の悪臭発生施設が立地しており、これらの施設から排出される悪臭により、周辺住民から毎年苦情が発生している。

このようなことから、環境臭気の実態を把握するため、環境臭気の測定、住民意識調査等の各種調査を行い、悪臭の影響範囲を明らかにするとともに、環境臭気の評価方法を確立し、さらに、保全水準等を算出した。

1. はじめに

石巻市内の新漁港周辺には、魚腸骨処理場、水産加工排出処理場等6事業場が立地操業しており、これらの排出臭気が原因とみられる悪臭苦情が毎年20件程度発生し、また、周辺住民から悪臭防止に関する陳情書が提出されたこともあった。

これらの発生源については、悪臭防止法あるいは宮城県公害防止条例により、排出口、敷地境界等について、悪臭の規制基準が設定され、規制指導されている状況にある。

しかしながら、建屋から漏洩する臭気や排水処理施設からの臭気により、水産加工団地周辺地域においては、複合臭がして、快適環境からは程遠い、深刻な状況にある。

さらに、平成5年10月には、遣欧使節船サン・ファン・パウティスタ号の復元船が水産加工団地背後地に仮係留されることになっており、悪臭防止対策が急務となっている。

このような背景のもと、悪臭防止対策の基本的な資料を得るため、春から梅雨にかけて、関係機関協力のもと住民意識調査をはじめとする各種調査を行い、総合解析し、効果的な悪臭防止対策について検討した。

2. 調査目的

環境臭気の実態を的確に把握し、悪臭公害防止対策に資する。

3. 調査項目

平成4年度に実施した、快適環境算出の予備調査を踏まえ、次の項目について検討した。

*1 現宮城県原子力センター

*2 現宮城県環境生活部原子力安全対策室

- (1) 環境臭気の定量方法……測定方法，測定地点，測定頻度
- (2) 不快感，被害感の地域分布
- (3) 不快感，被害感と対応可能な環境臭気の測定方法
- (4) 環境臭気の保全水準
- (5) 生活環境にかかる住民意識調査

4. 調査内容

4.1 環境臭気の現地調査（メッシュ調査）

30か所，200mメッシュ毎1地点（風下方向）

- (1) 調査当日の臭気強度等のコンターを算出するため、魚腸骨処理場等の悪臭発生源を中心として、1,000m範囲について臭気のサンプリングを実施した。

4.2 環境臭気アンケート調査

148名（200mメッシュ毎1名）

- (1) 住環境での不満，臭気不快度等のコンターを作成するため、面接聞き取り調査を実施した。

環境臭気アンケート調査項目は表1のとおりである。

表1 悪臭に関するアンケート調査項目

- | |
|-----------------------|
| (1) 生活環境での不満 |
| (2) 過去一年間における臭いを感じる頻度 |
| (3) 不快度 |
| (4) 臭いの継続時間 |
| (5) 強く臭う時間帯 |
| (6) 臭いの強さ |
| (7) 居住環境 |
| (8) 臭いの強さの一年前と比べての変化 |
| (9) 悪臭の発生源 |
| (10) 悪臭防止対策 |

4.3 臭気感知状況（留置き）調査

50名（200mメッシュ毎1名）

(1) 臭気感知積算量（臭気強度と感知時間の積）の地域分布と住民への環境度合を対比させ、望ましいレベルを算出するため、住民の協力のもと、留置き調査を実施した。

臭気感知チェック表の様式は表2のとおりである。

表2 臭気感知チェック表

平成5年6月1日から6月20日までの20日間
氏名

時刻 月日	臭気強度												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	～	20	21	22
月日													
月日													
例	— 3 —			— 4 —				— 不在 —					

5. 環境臭気調査結果

5.1 悪臭発生施設等の位置図

図1に悪臭発生施設等の位置図を示す。

①～⑥の悪臭発生施設は水産加工団地の西側に立地し、県道女川・石巻線を挟んで北側は、住居地域等になっているため、南ないし南東風が吹く春から夏にかけて、これらの地域に悪臭の被害を及ぼしている。なお、一番近い悪臭発生施設から、サン・ファン・バウティスタ号の仮係留地まで、約500mの距離である。

注1) 臭気強度については、次表の番号を記入願います。

1	やっと感知できるニオイ
2	何の臭いであるかがわかる弱いニオイ
3	らくに感知できるニオイ
4	強いニオイ
5	強烈なニオイ

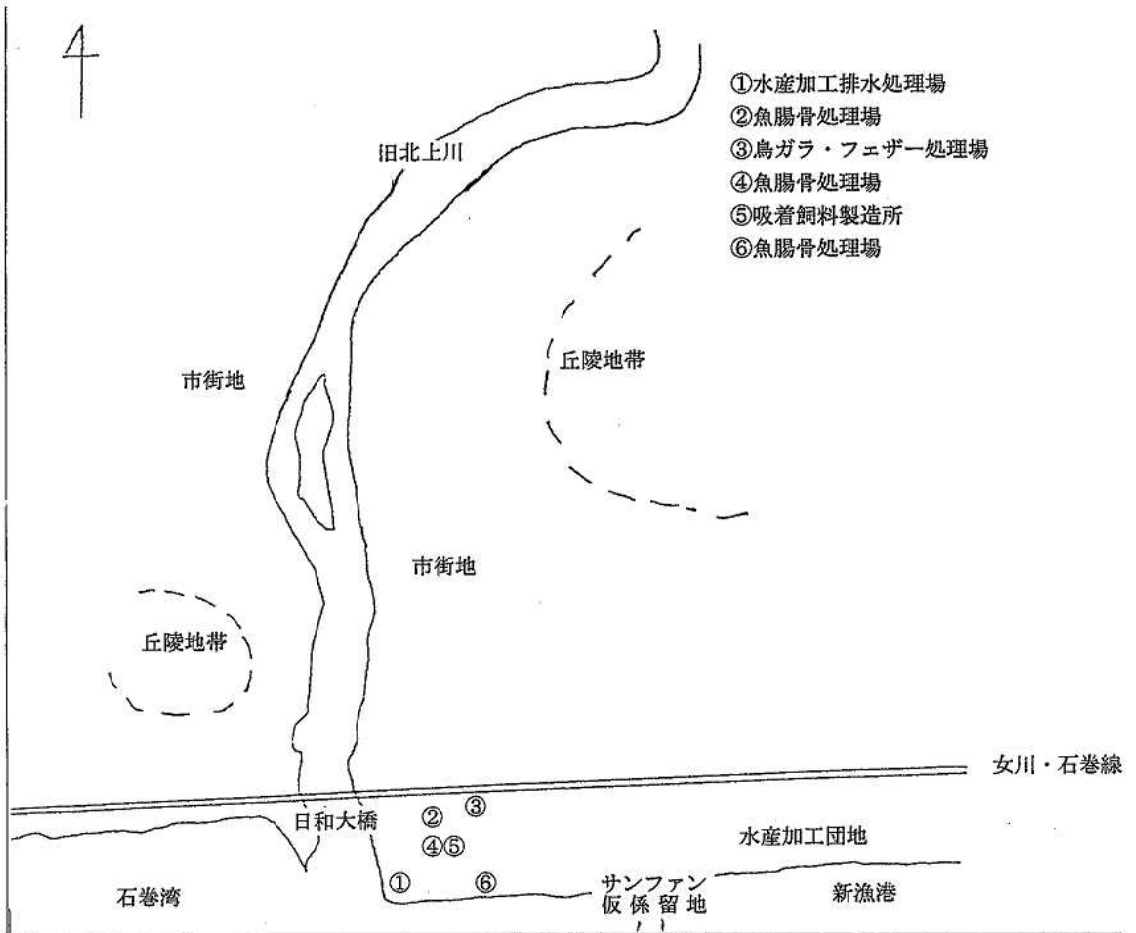


図1 悪臭発生施設等の位置図

5.2 環境臭気の現地採取調査

調査日当日の風向SE（平成2年度から4年度の最多風向はSEである。）を考慮し、50メッシュにおいて現地実態調査を実施し、臭気を感じてきた28メッシュにおいてサンプリングバッグに採取し、官能試験（三点比較式臭気採点法）により臭気強度を測定した。

臭気の採取にあたっては、“ニオイ”がきてから捕集することにしており、臭気強度4以上の地域は3分以内、臭気強度3～4の地域は5分以内、臭気強度2～3の地域は20分程度、臭気強度1～2の地域は30分程度の時間を要した。

臭気強度の地域分布図は図2のとおりであり、臭気強度3～4の地域は、発生源から1.4km程度、臭気強度2～3の地域は、概ね2km程度の広がりを見せると推定できる。

今回の一連の調査は、風向の変動等もあることから、同じ風向等同一条件における面的な評価を行うため、1地点あたり約30分以内にサンプリングしたものであり、時間をかけて強い臭気の到達を待つてサンプリングすれば、影響範囲は更に広がりを見せたものと考えられる。

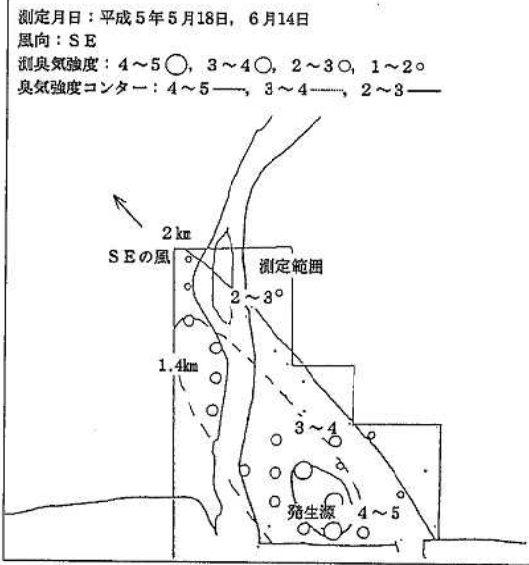


図2 臭気強度の地域分布図

5.3 環境臭気アンケート調査及び臭気感知状況調査

(1) 生活環境での不満、悪臭改善要望

生活環境での不満、悪臭改善要望のアンケート結果は図3のとおりである。

悪臭を不満と回答し、悪臭改善の必要性を選択したメッシュは、発生源を中心としてNW方向への広がりを見せ、概ね2kmにも達し、図2に示した範囲においては、9割程度の人が、悪臭を不満として改善を訴えている。

また、発生源に近い500m範囲の居住者は、悪臭を非常に不満として、すぐに無くしてほしいと訴える方が多かった。

(2) 調査期間中（平成5年6月1日から20日まで）に

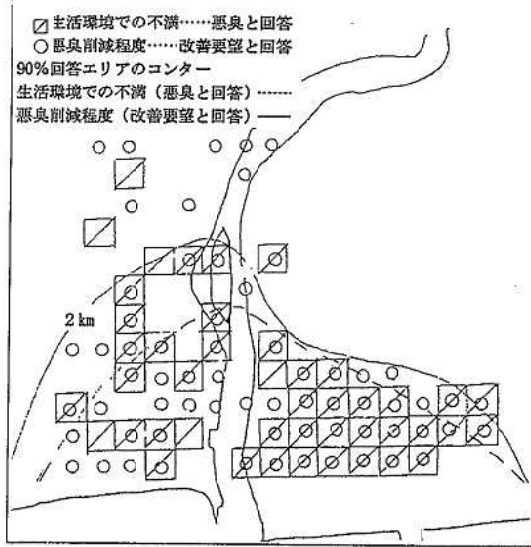


図3 悪臭削減程度等の地域分布図

おける一番臭いの強い日のような環境下での生活と不快感

図4、5のとおりで、発生源を中心としてNW方向への広がりを見せ、“まあ住んでも良い”の先端は2.8kmにもおよび、また、“できれば住みたくない”、“住みたくない”の先端は、それぞれ1.3kmと0.9km程度の広がりを見せている。“できれば住みたくない”と“住みたくない”と回答した地域の人口は3,800人であり、悪臭に暴露され、“まあ住んでも良い”と回答した地域の人口は7,600人となっており、合計すると1万人以上の方々が悪臭の影響を受けている。

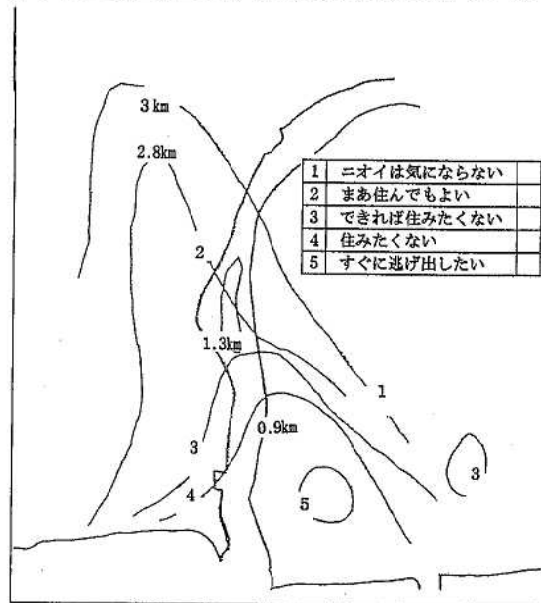


図4 居住環境の地域分布図

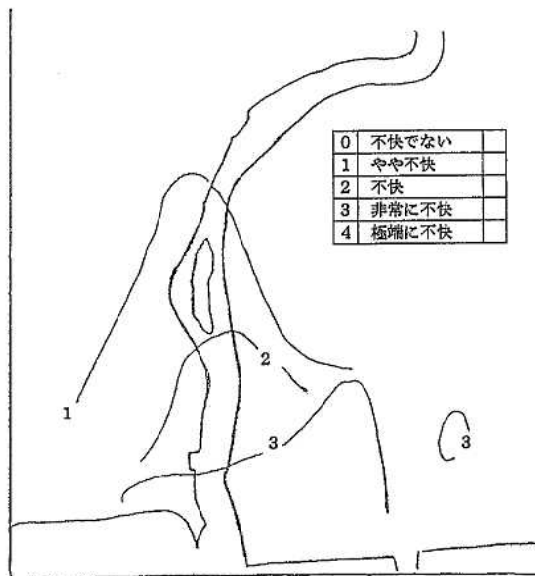


図5 悪臭不快度の地域分布図

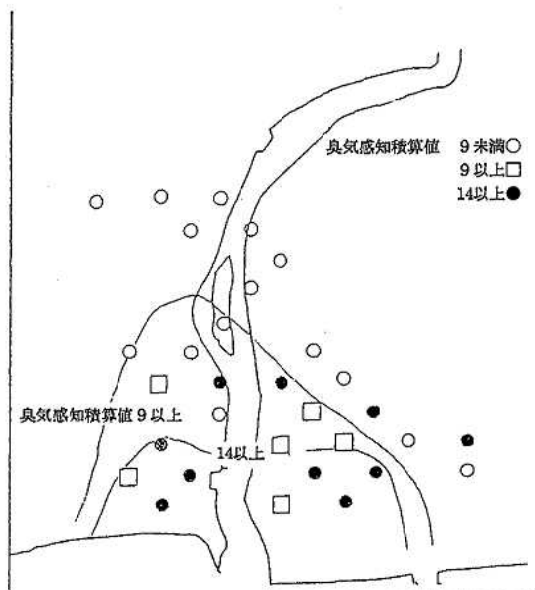


図6 臭気感知積算値の地域分布図

発生源を中心としてNW方向に約3km地点で、やっと“ニオイは気にならない”との回答が多くなってきており、快適環境の観点から評価すると、25,000人程度の人々が悪臭について何らかの影響を受けていると考えられる。

(3) 留め置きによる臭気感知状況調査

臭気感知状況と居住環境の関係を見るに当たり、悪臭により住まいを変えたいと思っても、そこに住んでいるという「生活の実態」があり、臭気感知積算値の平均値と居住環境等の関連をとっても正確にでてこないことが

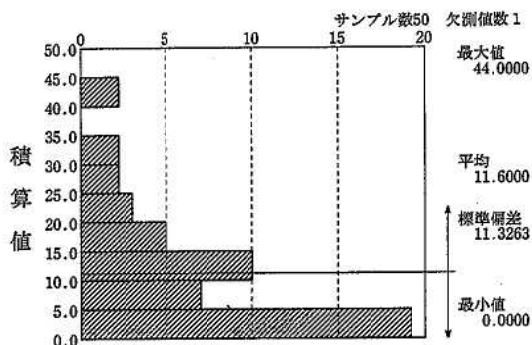


図7 臭気感知積算値のヒストグラム

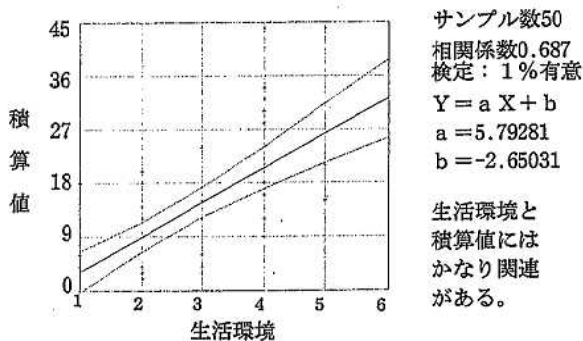


図8 臭気感知積算値と生活(居住)環境との関係

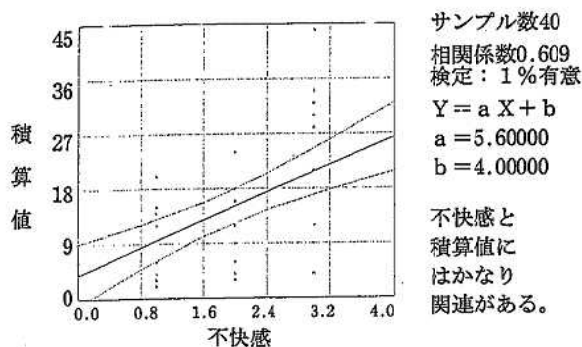


図9 臭気感知積算値と生活不快度との関係

予測されることから、臭気感知積算値の調査期間20日間の最大になる日の値と比較した。

図6のとおり、発生源を中心にしてNW方向への広がりをみせている。

臭気感知積算値のヒストグラムは図7のとおりで、臭気感知積算値の日最大値のみでみると、調査地点50地点における1日当たり平均は11.6、最大値は44となっている。

居住環境、生活環境での不満、悪臭改善要望についての地域分布によると、発生源から1kmを境とし、顕著な差異が見受けられたことから、1kmを境とし2地区に分割し、「積算値の平均」を評価してみると、1km以内の地域では15.9、1kmを超える地域では8.3と半分になっ

ていることがわかる。

この臭気感知積算値と生活環境、不快感等の項目について相関をとったものは図8、9のとおりで、生活環境、不快感、臭気の頻度の項目とかなり関連のあることが判明した。

生活環境と不快感との項目の相関は、図10のとおり、かなり強い関連のあることが明らかになった。

ここで、臭気感知積算値と生活環境、不快感の2項目による重回帰散布図をみると図11のとおり、重相関係数0.73でこの2項目から54%説明できる結果となっている。

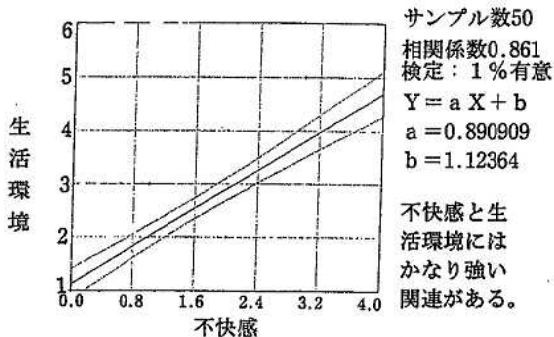
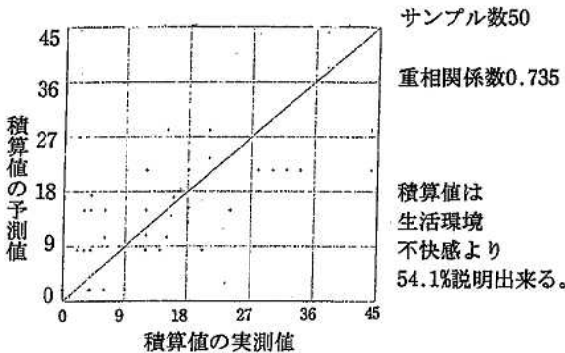


図10 生活（居住）環境と生活不快感との関係



積算値への影響度

No.	項目名	影響度	係数值	項目内条件	係数影響度
1	生活環境	■	2.055E+00		
2	不快感	■	4.496E+00		
3	定数項		-2.004E-01		

図11 臭気感知積算値と生活（居住）環境及び生活不快感との関係

9), 生活環境での不潔及び悪臭の削減程度等の地域的分布から判断すると、悪臭の影響は風下にかけて、2km程度と推定される。

コンターの形状は、風向頻度（SEが過去3年間の最多方向）と障害物がない北上川沿いに臭気が分散されることなく北上することもあり、NW方向への広がりを見せるものと考えられる。

石巻地区の場合、悪臭に係る問題の生じない臭気積算感知量は1日当たり9、快適なる居住環境確保のための環境保全水準は、1日当たり4程度以下にすることが望まれる。

6.2 今後の課題

(1) おわりに

住民意識調査と臭気感知状況調査を組み合わせる評価する方法は、日常生活に基づいた悪臭の被害感を把握する上で有効な手段であり、一応、評価手法の確立がなされている。

今後、個別に発生源に対応するだけでなく、面発生源とした総合的な負荷としてとらえ、総量規制等の考え方も考慮し、効果的な対策を行い、快適環境を創造していくことが重要である。

(2) 課題

悪臭に係る環境への影響評価については、今までほとんど行われておらず、その推移等についても把握されない状況にあった。

今回、一連の総合的調査を行い、石巻地区の環境保全水準等の算出を行い、行うべき方向性をしめすことができたが、時間の関係上解明できなかったことも多々あった。

将来に向けて、できるだけ早い機会に、次の課題について解明していくことが肝要である。

イ 建屋臭気等の正確なる把握及び発生源の特定、寄与率

ロ プラントの維持管理マニュアルの作成、維持管理の徹底及びプラントの寿命診断の確立

ハ 環境臭気、発生源臭気の臭気センサー等簡易測定法の確立

ニ 土地利用計画を踏まえた、環境臭気改善目標値の地域毎の算出、設定

ホ 地域全体の臭気排出負荷の算定と事業場の許容総量の検討

ヘ 臭気に対して、あまり慣れない地域における環境保全水準の算出

参 考 文 献

- 1) 宮城県保健環境センター：気仙沼保健所・保健環境センター共同研究報告書、1986

6. 総合解析結果及び今後の課題

6.1 総合解析結果

(1) 環境保全水準

住民意識調査及び臭気感知状況調査で得られた“まあ住んでもよい”に対応する臭気積算感知量（1日当たり

14. 南川ダムの水質調査について

水 質 部

キーワード：ダム湖，供用開始，水質変遷，躍層，富栄養化，環境基準

ダム湖の富栄養化現象は、本県にとっては、今日の問題でもあり、古くからの課題でもあった。多分にもれず、南川ダムも供用開始間もないダムにもかかわらず、富栄養化（環境庁類型Ⅲ…中栄養）状態であることがわかった。特に、底質の悪化が著しく、無酸素層も発達しており、今後とも水質は危惧される。環境基準類型指定は、A-ロが妥当と思われる。

1. はじめに

南川ダムは、昭和61年10月に試験湛水を開始し、昭和63年4月に供用開始したダムである。昭和54年度から実施している人造湖の水質調査の一環として、七北田ダム調査に引き続き平成2年度から3ヶ年間調査が行われた。

この調査は、ダム流入水や湖内水の水質を調査して湛水後の水質変遷や水質汚濁機構の解明、さらには流域特性と水質形成との関係等を明らかにしようとするものである。併せて、環境基準類型指定のための基礎資料を得ようとするものでもある。

2. 調査方法

2-1 調査流域の概況

流域を図-1に示した。

総貯水容量1千万m³の南川ダムは、鳴瀬川水系吉田川総合開発事業の一環として建設された。集水面積は22.5km²でほとんどが針葉・広葉樹が混在する森林となっている。土壌は、林地土壌の褐色森林土壌と黒ボク土壌が分布している。

ダム上流南川流域の難波地区と支川萩ヶ倉川流域の萩ヶ倉地区、担ノ原地区には、計71戸の住家があり農業が営まれている。

2-2 調査内容等

平成2年度から4年度までの3年間、原則として月1回年7回の定期調査を行った。年度別調査内容を表-1にしめした。

2-3 調査地点

調査地点を図-1に示した。

水質調査は、流入河川調査として萩ヶ倉川（MR-1）と南川（MR-2）を、ダムサイト（表層・M1、中層・M2、下層・M3）とダムの中央部（表層・M4、中層・M5、下層・M6）の2地点で行った。垂直分布

表-1 年度別調査内容

	H2	H3	H4
流入河川水質調査	◎	◎	◎
ダム湖内水質調査	◎	◎	◎
垂直分布調査	◎	◎	◎
プランクトン調査	◎		
底質調査		◎	

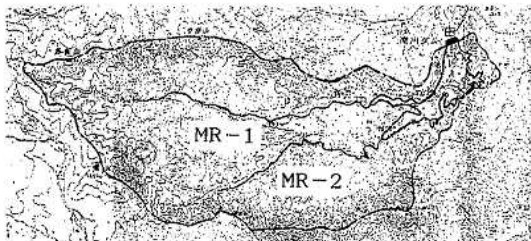


図-1 南川ダム調査地点図

調査、底質、プランクトン調査も同地点で行った。

2-4 分析方法等

(1) 水質分析法

表-2に分析法を示した。

表-2 水質分析法

pH, DO, BOD, COD, SS, NH ₄ -N…JIS K0102
NO ₂ -N…スルファミン・ナフチルエチレンジアミン法 (衛生試験法注解)
NO ₃ -N…Cu-Cdカラム還元法、(海洋観測指針)
T-N, T-P…アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解 (環境庁告示法)
PO ₄ -P…アスコルビン酸還元法 (JIS K0102)
chl-a, フェオフィチン…蛍光光度法、(海洋観測指針)
COND…導電率計

なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-N 、 T-P の吸光度はオートアナライザーによった。

(2) 底質分析法等

ダム湖底の採泥は、エックマンバージュ型採泥器を用いて行った。前処理、分析法は環境庁の「底質調査方法」によった。

(3) プラクトンの同定と数の計測

表層水について、資料を固定せず遠沈濃縮し検鏡した。計数は血球計数盤を用いた。

3. 調査結果と考察

3-1 流入河川の水質

(1) 南川

pHは調査期間を通じて7.2~7.8と変動が少ない。DOは常時飽和状態であった。BODは0.2~1.2mg/ℓ (AVE0.4mg/ℓ) と小さな値であった。CODは1.7~3.6mg/ℓ (AVE2.2mg/ℓ) と安定しているが、1mg/ℓを下回することはなかった。SSは最大でも4mg/ℓと小さな値であった。窒素成分はT-Nが0.21~0.72mg/ℓ (AVE0.38mg/ℓ) でうち $\text{NO}_3\text{-N}$ (AVE0.27mg/ℓ) が約77%を占めており有機態Nは少ない。リン成分も同様 $\text{PO}_4\text{-P}$ がT-P中の約70%を占めており有機態Pは少ない。T-Pが0.005~0.03mg/ℓ (AVE0.017mg/ℓ), $\text{PO}_4\text{-P}$ がAVE0.012mg/ℓであった。

(2) 萩ヶ倉川

pHは7.2~8.0であった。DOは飽和状態であった。BODは0.1~1.7mg/ℓ (AVE0.6mg/ℓ) と南川より高い。CODは0.9~3.5mg/ℓ (AVE1.6mg/ℓ) とBODとは逆に南川より小さくなっているが、1mg/ℓを下回ったのは調査中1回だけであった。

SSは南川のレベルであった。窒素成分は、T-Nが0.29~0.68mg/ℓ (AVE0.48mg/ℓ) で、このうち無機態Nが占める割合は85%で、79%が $\text{NO}_3\text{-N}$ (AVE0.378mg/ℓ) であった。南川と較べると、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とも0.1mg/ℓほど大きい値となっている。リン成分は、T-Pが0.009~0.136mg/ℓ (AVE0.44mg/ℓ), $\text{PO}_4\text{-P}$ がAVE0.031/ℓで、無機態の割合は70%と南川と同レベルであった。濃度は両方とも2.6倍ほど大きい値であった。

3-2 湖内の水温・溶存酸素の垂直分析

H4年度の結果を図-2、図-3に示した。

水温の垂直分析では、第1回目の調査開始時点の4月下旬には弱いながらも既に、躍層が形成されつつあり上下層の温度差は約5℃であった。5月下旬になると、水深4m付近に顕著な躍層が見られるようになる。上下層の温度差も、5月、6月と徐々に開き7月下旬から8月にかけて最大となる。その差は17~20℃であった。この間の躍層形成位置は水深4~5m付近で殆ど動かない。この位置は、ダムの水位変動にも影響されない。9月になると、上下層の温度差は徐々に縮小し始めこれに合

せるように躍層は水深を下げていく。年度最後の調査となる11月には、水深13m付近まで下がり温度差も4℃までに縮小してくる。初冬には表面水温が下層水温と同じになり全層循環が行われて躍層は消滅していくものと思われる。

なお、しっかりした躍層形成後の下層部の水温は6~7℃でほぼ一定している。

溶存酸素の垂直分布では、水温躍層の動きに合わせて変化する。つまり、水温躍層が形成し始める4月には、下層に向けて溶存酸素の減少傾向が見られ始め、5月、6月と水温の上下層間の水温差が開くにつれて、水温躍層以深での溶存酸素の減少割合が大きくなり、7月には、ほとんど0mg/ℓに近い値となる。10月、11月と水温躍層が徐々に下層部に移行するに従い躍層上部は溶存酸素が回復していくが下層部は依然として無酸素の状態が続く。この状態は、全層循環が行われるまで続く。

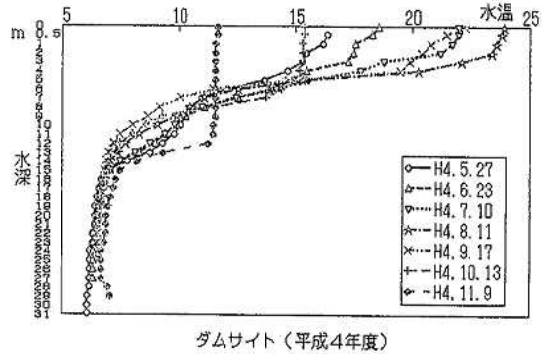


図-2 南川ダム水質調査 (水温の垂直分布)

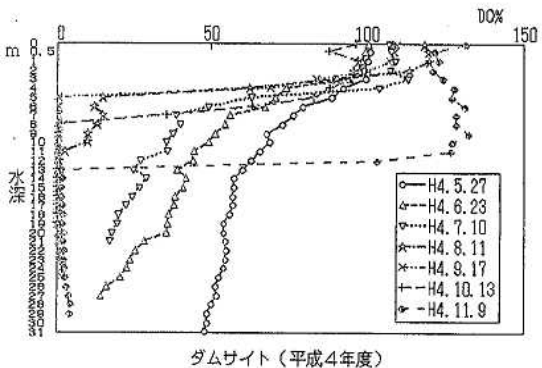


図-3 南川ダムの水質調査 (DO%の垂直分布)

3-3 ダム湖内の水質

pH: 表層では、しばしば8.0を超えることもある。プラクトンの光合成が影響している。下層に行くにしたがってpHは下がる。

BOD: 表・中層は、1.2~1.4mg/ℓ程度。下層は、0.8mg/ℓで経年的変化はない。流入河川が0.5mg/ℓ前

後であることから、湖内での上積みがある。

COD；表・中・下層とも3.2mg/l程度と変わりはない。経年変化も見られない。河川と比較すると2倍弱となっており湖内での増加が著しい。内部生産、無酸素層の間接的影響か。環境基準類型あてはめは、A-ロが妥当と思われる。

SS；下層ほど高くなっている。経年変化では、調査開始当初及び終了直前で高くなっているが、原因は不明。

NH₄-N；下層で9月をピークとする変動パターンが見られた。明瞭な季節変化が認められる。下層の無酸素層形成に伴い有機物が分解・無機化し溶出したためである。下層濃度は、表層の20倍、中層の10倍にもなっている。経年変化は見られない。

NO₂-N；全層とも検出限界に近い値であった。

NO₃-N；中層が一番高い。表層では、生物体への吸収、下層では無酸素状態で消化菌の活性が低下しNH₄-Nへの移行があるためである。河川の方が2~4倍高い値を示しており、明らかに湖内では、生物体への吸収が盛んに行われていることが窺われる。経年変化は変動が激しく掴めない。

T-N；表層(0.31~0.34mg/l)・中層(0.40mg/l)・下層(0.51~0.68mg/l)下層ほど高い値となっている。下層がNH₄-N、中層がNO₃-Nの影響のためである。無機態Nの占める割合をみると、表層で35~40%(NO₃-N29~33%)中層で46~50%(NO₃-N37~40%)下層で66~69%(NH₄-N42~55%)となっている。なお、無機態Nの占める割合は河川の方が高い。

PO₄-P；表・中層は、ほとんどが検出限界以下のレベルで無機態Pはほとんどない。河川が0.012~0.031mg/lであることを考えると、無機態N同様、常時生物体への取り込みが盛んに行われており、殆ど消費され尽くされている可能性もある。Pが制限因子になる可能性が強い。

T-P；下層は表・中層に比べ若干高いものの、差は余りない。表・中層は、ほとんど有機態Pで、下層は50%が有機態Pである。

3-4 植物プランクトン

表-3に調査結果を示す。

表-3 出現プランクトン (H2.4.25)

出現プランクトン	ダムサイト		中央部	
	表層	中層	表層	中層
Nitzschia spp	2,100	2,200	2,600	2,100
Asterionell gracillima	6,000	7,200	6,500	7,800
Chromulina nebiosa	87	75	167	54
Chlamydomonas spp	43	19	44	36
Cyclotella comta	21	19	44	54
Cosmarium	r			
Euglena spp				r

3-5 底質

H3年度1回だけの調査であり経年変化等は把握できていない。

底質は、黒灰色で硫化水素臭がし、湖底は還元状態であった。ダム中央部よりダムサイトの方がT-Nを除き高い値であった。この結果を南川ダムに続き新しい七北田ダムと比較するとCODで3~6倍、T-Nで1.5~2.5倍、T-Pで2~3倍、T-Cで同程度とかなり底質の悪化が進んだダムであることが分かった。

3-6 富栄養化指標

富栄養化指標を算出して富栄養化のレベルをみた。結果を表-4に示す。これによると、環境庁の類型IIIにあてはまり、中栄養湖に分類された。修正カーソル指数

表-4 富栄養化指数

環境庁類型	RSI(M)			RSI(M)	
	TP	TN	chl a	TP	chl a
I	<0.005	<0.1	<1	<25	<31
II	<0.01	<0.2	<3	<37	<40
III	<0.03	<0.4	<20	<57	<54
IV	<0.05	<0.6	<40	<65	<60
V	<0.1	<1.0		>65	>60
ダムサイト	0.018	0.31	5.7	44	47
中央部	0.017	0.34	6.1	44	47

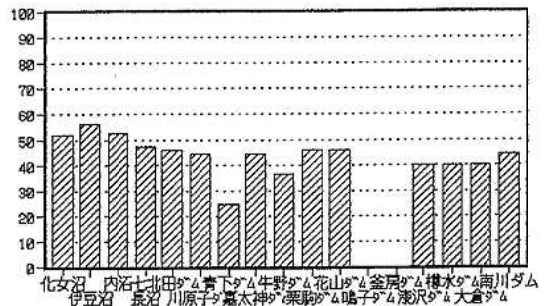


図-4 県内湖沼の富栄養化度 TSI(M) (chl-a)

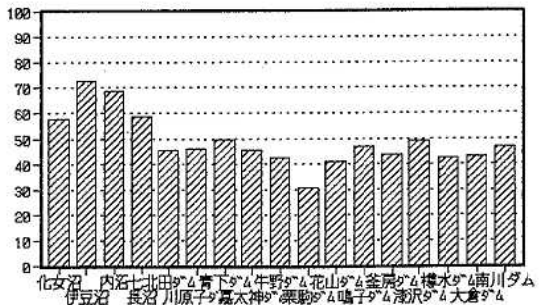


図-5 県内湖沼の富栄養化度 TSI(M) (T-P)

(H3年度データから)を用いて県内の代表的天然湖及びダム湖の富栄養化度を比較してみた。その結果を図-5, 図-6に示す。それによれば, 南川ダムはダム湖では高い方のレベルの富栄養化度の湖であった。

4. ま と め

昭和63年4月に供用開始した南川ダムで, 平成2年度から3ヶ年間調査を実施した。ダム流入水質, 湖内水の水質等を調査して, 湛水後の水質変遷, 汚濁機構の解明等について検討した。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 流入河川の水質は, COD以外の項目は萩ヶ倉川の方が高い。CODは, 1 mg/l を下回することは殆どない。
- (2) 水温・溶存酸素の垂直分布は, このダムでは, 春から夏にかけて温度躍層が形成されるが, 11月頃から躍層は崩れ始め, 初冬には水温が上下同じとなり循環期となる。さらに, 1~3月には, 表層の温度が下がりゆるい逆躍層ができ, 春先にまた循環期に入るパターンになっていると思われる。溶存酸素は, 躍層期に躍層下層部で無酸素層が形成され, 循環期には回復するというサイクルになっているものと思われる。

(3) 湖内水では, 表・中層と下層では別の水質変動を示す。表・中層は, 内部生産の影響でこれに関連する項目(特にCOD, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, chl-a)が変動する。下層は, 有機物の分解, 無酸素層の影響で項目(特に $\text{NH}_4\text{-N}$)が変動する。

(4) 底質は, かなり悪化した状態にある。

(5) 各種の富栄養化指標では中栄養湖に分類される。修正カーソル指数で県内のダム湖と比較してみると, 富栄養度は上位にランクされる。

(6) 環境基準類型指定はA-ロが妥当なところか。

(文責 冨塚 和衛)

参 考 文 献

- 1) 宮城県; 人造湖(七北田ダム)の水質汚濁調査報告書(1991)
- 2) 宮城県; 人造湖(漆沢ダム)の水質汚濁調査報告書(1986)
- 3) 宮城県; 人造湖(漆沢ダム)の水質汚濁調査報告書(1980)
- 4) 宗宮 功; 自然の浄化機構, 技報堂(1933)
- 5) 楠田哲也; 自然の浄化機構の強化と制御, 技報堂(1994)

15. 畑地に散布された除草剤シマジンの環境中における挙動について

高橋 正弘 柳 茂 野村 保
粟野 健 氏家 愛子 小笠原久夫

キーワード：農薬，シマジン，土壌中半減期

排水路がない畑では、散布された農薬の環境への流出量を把握することがむずかしく、流出過程についての知見が少ない。今回、畑にシマジンが散布された後の河川水質、地下水、畑土壌等について経日的にシマジン濃度等を調査した。その結果、シマジンは畑土壌に残留し分解していくが、地下水中には流出してこないこと、また、河川中に微量検出されたが、これは、強風によりシマジンが畑土と共に飛散したことによるものと推定された。

1. はじめに

水質汚濁に係る環境基準の一部が改正され（環境庁告示第16号 平成5年3月8日）、シマジンが環境基準に追加された。本調査は、畑に散布された除草剤シマジンの環境中での残留性及び河川、地下水への流出実態を把握するため、平成5年度に宮城県桃生郡矢本町のトウモロコシ畑作地域を対象として実態調査を行った結果をとりまとめたものである。

2. 調査方法

2-1 調査概要

シマジンは4月17日に散布されたため、サンプリング調査は、散布前（3/26）、散布直後（4/19）、散布後最初の降雨時（4/29）、散布後1ヶ月後（5/14）、2ヶ月後（6/14）3ヶ月後（7/16）、6ヶ月後（10/7）の計7回実施し、畑、井戸、河川の水質、底質、魚を採取し、シマジン等について分析を行った。

2-2 調査地域

1) 概要

調査地域については図1に示す。

調査地域は宮城県桃生郡矢本町の平野部で水田が多く所在し、所々が畑作地帯となっており、付近を赤井堀用水路が流下している。赤井堀用水路は調査地点から約2km下流で定川と合流する。

この畑作地帯にトウモロコシを栽培する6つの農家圃場があり（総畑面積212アール）、本調査は、この中の1圃場（畑面積37アール）で実施した。

2) 農薬使用状況

調査対象地域におけるシマジンの使用状況を下記に示す。

トウモロコシ作付け農家戸数	6戸
トウモロコシ作付け畑延べ面積	212アール

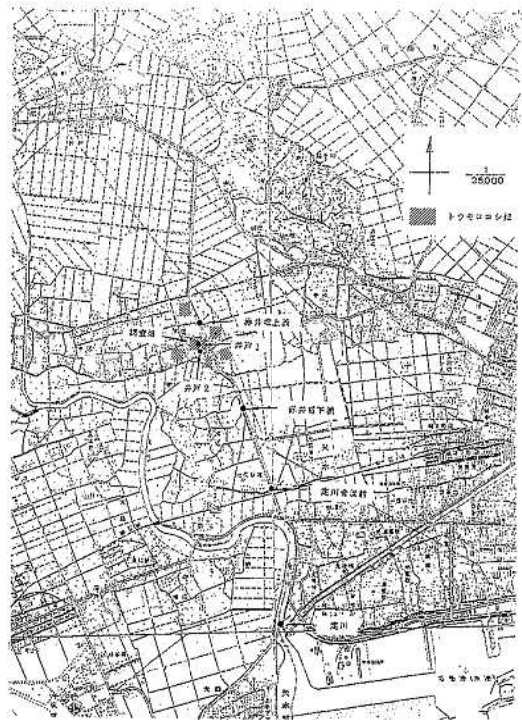


図-1 調査地域

シマジンの使用量	2.1kg
シマジンの剤型	水和剤
シマジンの散布方法	噴霧
シマジンの散布時期	3月末～4月末

2-3 調査対象畑の概要

1) 形状傾斜	長方形、平面
2) 栽培作物	トウモロコシ 4～7月、8月からは白菜を連作している。

- 3) 使用農薬 除草剤としてシマジンを使用している。

(10年以上)

- 4) 畑土場の種類及び土性
砂質 中粗粒褐色底地土 飯島統
作土の土性 SL(砂壤土)
土色 10YR3/1
腐植含量 5~10%

- 5) 井戸の諸元
調査畑に深さ3.5mの堀りぬき井戸が2本あり、畑のかんがい用に使用している。地下水面は浅くGL-0~1.5m程度である。

2-4 調査項目

- 1) 水 質 pH, 水温, 色相, 濁り, 臭気, 透視度, シマジン
2) 土壌, 底質 土性, 色相, 泥温, 含水率, シマジン
3) 魚 シマジン

2-5 試料採取方法

- 1) 畑流出水: 採取できるほどの降雨量ではなかったため、人口的に井戸水を畑に散水させ、採水した。
2) 畑土壌: 表土については、4ヶ所以上の地点からそれぞれ1cmの深さでビニール袋に採取し均一に混合した。
また、畑土壌については深さ毎(0~10cm, 20~30cm, 40~50cm)にシマジン濃度をみるために、検土杖(直径1cm)で4ヶ所以上の地点からそれぞれ層状に採取し均一に混合し試料とした。
3) 底質: エックマンバージ採泥器で定川合流前の4ヶ所の地点から採取し均一に混合した。
4) 魚: 定川合流前において、釣により採取し、筋肉部分を分析試料とした。

2-6 分析方法

- 1) 土壌, 底質試料の土性, 土色, 泥温, 含水率については、農耕地土壌の分類(1983 農水省農業技術研究所)及び化学物質調査法(環境庁環境保健部保健調査室)に準拠した。

2) シマジンの分析法

(1) 水 質

固相抽出法 固相カラム(Sep PaK plus PS-2)
溶出溶媒 ジクロロメタン
無水硫酸ナトリウムで脱水
アセトン定溶後GC(NPD)で定量
回収率 STD0.2 μ g 1ml添加回収
DW 97.0%(3)
試料 84.4%(3)

(2) 土壌, 底質, 魚

化学物質分析法開発調査報告書(環境庁環境保健部保健調査室平成2年度)に拠る。

アセトン抽出, ジクロロメタンに転溶

無水硫酸ナトリウムで脱水後, ヘキサンに転溶
(魚試料についてはアセトニトリル分配)

フロリジルカラムでクリーンアップ

GC(NPD)で定量

回収率(土壌)

STD0.2 μ g/ml 2mlを添加回収

76.7%(3)

3. 調査結果及び考察

3-1 河川水質

調査結果を表1に示す。

散布直後の調査で赤井堀上流および下流部で0.17 μ g/l, 定川合流前で0.28 μ g/l, 散布後最初の降雨時に赤井堀下流で0.3 μ g/l, 定川で0.14 μ g/lと底レベルで検出された。これは、散布日(4/17)の翌日(4/18)に畑土が飛散するほどの強風だったため、畑土とともにシマジンも空中に舞上がり、河川に流出したものである。散布後最初の降雨時(4/29)の赤井堀下流のデータを用いて、その時のシマジンの流出量を算定する。

	シマジン濃度	流量
赤井堀下流	0.3 μ g/l	2.9 m^3/s
$0.3mg/m^3 \times 2.9m^3/s = 0.87mg/s$		
時間毎の流出率は0.87 $mg/s \times 3,600 = 3.1g/h$ となった。		

また、降雨時に畑流出水から1.7 μ g/l検出された。これは畑流出水を沈殿後、上澄水を分析したもので、SSも含めて分析するともっと高い値になると思われる。

なお、1ヶ月目以降はすべて検出限界以下であった。

3-2 井戸水

畑中にある井戸1と畑から約50m離れている井戸2の2本の井戸で調査したが、7回の調査を通じて検出限界以下であった。

シマジンは水に難溶性で土壌吸着性が強く、土中での移行性が少ないといわれており、地下水中に流出してこなかったと思われる。

3-6 畑土壌

畑土壌については、畑A(通常散布), 畑B(通常の2倍量散布)の2地点について、深さ毎(表層, 0~10cm, 20~30cm, 40~50cm)に採取した。

調査結果を表2, シマジン濃度の経時変化を図2に示す。

畑A(通常散布)では、散布直後、表層で1.4 μ g/g乾で、その後、経時的に減少し、3ヶ月後で0.18 μ g/g乾, 6ヶ月後で0.01 μ g/g乾と初期状態となった。

また、畑B(2倍量散布)では、散布直後、表層で1.7 μ g/g乾で、降雨時に2.9 μ g/g乾と高くなり、3ヶ月後で0.66 μ g/g乾, 6ヶ月後で0.002 μ g/g乾以下となった。

また、深さ毎の結果では、全体的に深くなるにつれ、

表1 シマジン調査結果(水質)

散布前 調査月日 H5.3.26

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	13:15	13:35	14:00	14:10	10:40	10:55
気温(°C)	16.0	16.5	15.5	15.0	16.0	17.0
水温(°C)	14.5	14.5	13.6	11.0	13.6	12.4
透視度	21	23	27	27	>50	>50
色相	黄褐色	黄褐色	黄褐色	微黄褐色	なし	なし
濁り	少しあり	少しあり	少しあり	少しあり	なし	なし
臭気	泥臭	泥臭	なし	なし	なし	なし
流量(m ³ /s)	0.067	0.081	0.159	-	-	-
pH	7.8	7.7	7.7	7.5	6.4	7.0
シマジン(μg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

散布直後 調査月日 H5.4.19

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	11:05	11:19	11:28	11:35	10:24	10:57
気温(°C)	16.0	18.9	16.5	22.5	17.0	18.6
水温(°C)	18.5	12.0	11.4	10.5	12.8	12.8
透視度	9	14	41	32	>50	>50
色相	黄褐色	黄褐色	微黄褐色	微黄色	なし	微黄色
濁り	なし	なし	なし	少しあり	なし	なし
臭気	なし	なし	なし	なし	なし	なし
流量(m ³ /s)	0	0	0	-	-	-
pH	7.8	8.0	7.9	8.0	6.3	6.9
シマジン(μg/l)	0.17	0.17	0.28	<0.1	0.07	<0.1

散布後の最初の降雨時 調査月日 H5.4.29

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2	畑浦出水
採水時刻	10:55	11:15	11:27	11:42	10:34	10:27	10:37
気温(°C)	7.0	7.0	7.0	7.2	8.3	8.3	8.3
水温(°C)	8.5	8.8	9.8	9.7	12.2	11.4	12.0
透視度	6	5	4	9	>50	>50	-
色相	黄褐色	黄褐色	黄褐色	黄褐色	なし	なし	褐色
濁り	あり	あり	あり	あり	なし	なし	あり
臭気	微泥臭	微泥臭	微泥臭	微泥臭	なし	なし	土壌臭
流量(m ³ /s)	2.3	2.9	2.9	-	-	-	-
pH	6.6	6.6	6.6	6.9	6.5	6.9	6.2
シマジン(μg/l)	<0.1	0.3	<0.1	0.14	<0.1	<0.1	1.7

散布1ヶ月後 調査月日 H5.5.14

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	10:45	10:55	11:05	11:15	10:30	10:40
気温(°C)	12.4	12.5	11.0	11.0	13.0	12.0
水温(°C)	14.3	14.4	14.5	14.3	12.3	12.2
透視度	9	10	11	6	>50	>50
色相	微黄褐色	微黄褐色	微黄褐色	褐色	なし	なし
濁り	あり	あり	あり	あり	なし	なし
臭気	微泥臭	微泥臭	微泥臭	なし	なし	なし
流量(m ³ /s)	0.92	1.0	1.0	-	-	-
pH	6.6	6.9	6.8	6.7	6.7	6.8
シマジン(μg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

散布2ヶ月後 調査月日 H5.6.14

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	11:02	11:12	11:20	11:32	10:30	10:55
気温(°C)	23.0	25.5	27.0	26.0	26.0	26.0
水温(°C)	20.7	21.0	21.0	21.5	15.5	15.3
透視度	15	16	21	19	>50	>50
色相	微褐色	微褐色	微褐色	微褐色	なし	なし
濁り	あり	あり	あり	あり	なし	なし
臭気	微泥臭	微泥臭	微泥臭	微泥臭	なし	なし
流量(m ³ /s)	1.1	1.3	1.5	-	-	-
pH	6.9	6.9	6.9	6.9	6.4	6.8
シマジン(μg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

散布3ヶ月後 調査月日 H5.7.16

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	10:40	10:50	11:00	11:13	10:06	10:30
気温(°C)	20.0	20.2	20.8	21.3	21.5	21.5
水温(°C)	18.0	18.4	18.7	19.4	13.9	15.7
透視度	23.3	22.3	29.8	29.3	>50	>50
色相	微黄色	微黄色	微黄色	微黄色	なし	なし
濁り	少しあり	少しあり	少しあり	少しあり	なし	なし
臭気	なし	なし	なし	なし	なし	なし
流量(m ³ /s)	0.22	0.20	0	-	-	-
pH	6.6	6.6	6.8	6.8	6.4	6.8
シマジン(μg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

散布6ヶ月後 調査月日 H5.10.7

採取地点	赤井堰上流	赤井堰下流	定川合流前	定川	井戸水1	井戸水2
採水時刻	10:55	11:15	11:30	11:37	11:02	10:45
気温(°C)	20.0	18.8	18.4	18.8	22.5	20.2
水温(°C)	17.5	16.5	16.4	17.6	16.4	16.6
透視度	>50	>50	>50	>50	>50	>50
色相	なし	なし	なし	なし	なし	なし
濁り	なし	なし	なし	なし	なし	なし
臭気	なし	なし	なし	なし	なし	なし
流量(m ³ /s)	0.048	0.036	0.14	-	-	-
pH	7.0	7.0	7.0	7.3	6.2	6.8
シマジン(μg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

シマジン濃度が低くなる傾向にあるが、散布直後のデータをみると、深さ40~50cmの濃度は1/2程度しか減少していない。これは、畑の土が乾燥していたため(含水率9%程度)、検土杖でサンプリングする際に表層の土がくずれ落ちて、下層に少し混入したことも考えられる。1ヶ月後からは、深くなるにつれて、シマジン濃度が急激に低くなった。

なお、シマジンは、10アール当たり約100g(有効成分50%)水和剤として散布されており、これから、1平方センチメートル当たりの散布量を計算すると、

$$100 \text{ g} / 10 \text{ a} \rightarrow 50 \text{ mg} / 1 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow 5 \mu \text{ g} / 1 \text{ cm}^2 \text{ となる。}$$

表-2 畑土壌中のシマジン濃度

畑A シマジン通常散布					畑B シマジン2倍量散布						
		単位 $\mu\text{g}/\text{g}$ 乾						単位 $\mu\text{g}/\text{g}$ 乾			
採取部位	表層	0~10cm	20~30cm	40~50cm	採取部位	表層	0~10cm	20~30cm	40~50cm		
散布前	3/26	0.013 (18.0)	0.026	0.016	<0.002	散布前	3/26	0.013 (18.0)	0.026	0.016	<0.002
散布直後	4/19	1.4 (9.5)	1.1	1.1	0.72	散布直後	4/19	1.7 (9.0)	1.5	1.7	0.83
降雨時	4/29	0.76 (25.5)	0.35	0.038	0.013	降雨時	4/29	2.9 (20.7)	2.9	2.3	1.6
1ヶ月後	5/14	0.69 (25.4)	0.38	0.036	0.021	1ヶ月後	5/14	1.6 (26.1)	1.0	0.86	0.072
2ヶ月後	6/14	0.12 (24.9)	0.19	0.042	0.007	2ヶ月後	6/14	1.4 (22.1)	1.0	0.20	0.12
3ヶ月後	7/16	0.18 (27.0)	0.25	0.15	<0.002	3ヶ月後	7/16	0.66 (25.3)	0.18	0.28	<0.002
6ヶ月後	10/7	0.010 (16.9)	0.010	0.010	<0.002	6ヶ月後	10/7	0.02 (18.1)	0.016	0.017	<0.002

()内は含水率 単位：%

()内は含水率 単位：%

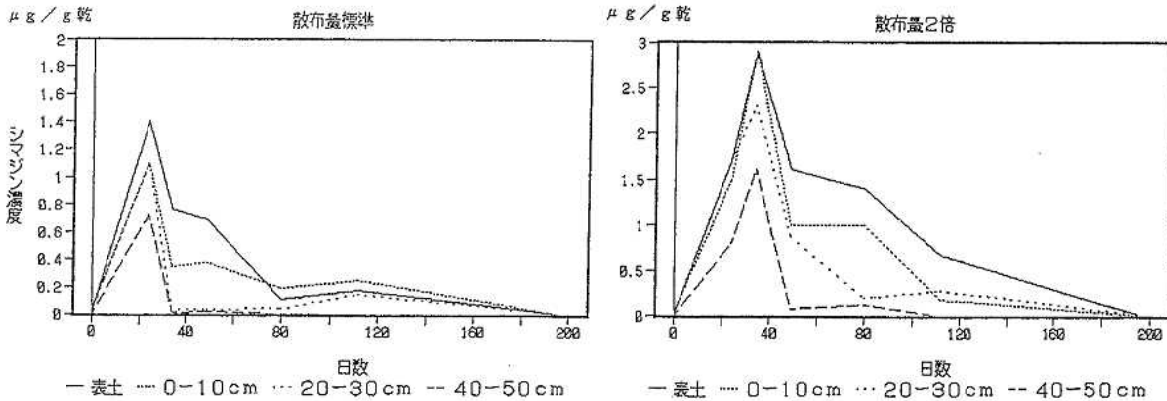


図-2 深さ別畑土壌中のシマジン濃度

また、本調査畑の土壌は腐植含量が5~10%と腐植に富んでおり、農業の土壌吸着性は高いと思われ、地下水からシマジンがほとんど検出されなかったことから考えると、散布されたシマジンは、主に、空気中への飛散や蒸散、植物への吸着、土中での分散等により濃度が減少していったと思われる。

シマジンの土壌中半減期を算定すると、図3に示した表土におけるシマジンの残留量の経時変化のグラフから減衰の傾きは通常散布、2倍量散布ともほぼ同じで、シマジンの土壌中の半減期は約22日と算定される。

3-4 底質, 魚

調査結果を表3に示す。

底質については、赤井堀下流、魚については、定川合流前で散布6ヶ月後に採取したが、いずれも、検出限界以下であった。

4. ま と め

4-1 河川水の調査結果では、散布直後(4/19)、及び散布後最初の降雨時(4/29)にシマジンが0.17~0.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ と低レベルで検出された。畑に排水路がないことから、散布翌日の強風で畑の土が飛散し、河川に流出したと考えられる。また、1ヶ月目以降は、すべて検出されなかった。

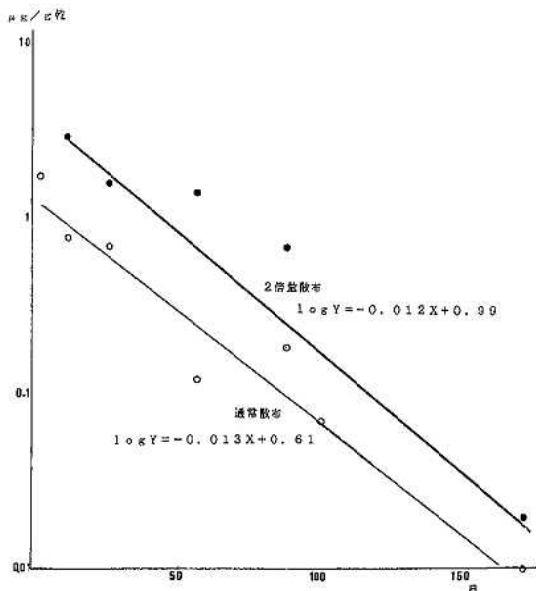


図3 シマジンの土壌中半減期

4-2 2本の井戸水では全期間を通じて検出されなかった。これはシマジンが土壌吸着性が強いため、地下水中に移行しなかったものと思われる。

4-3 畑土壌中の深さ毎の分析結果では、深くなる程シマジン濃度が低くなり、1ヶ月を過ぎると深さ50cmでは急激に低くなり、6ヶ月後の調査では表土でも低レベルとなった。畑表層土壌中でのシマジンの半減期は約22日と算定された。

4-4 魚及び底質は6ヶ月後に採取分析したが、検出されなかった。

終りに、本調査は環境庁委託事業として実施したものである。

なお、本報告内容は、環境庁としてとりまとめたものでなく、執筆者の責任においてとりまとめたものであることを付記する。

参 考 文 献

平成2年度 化学物質分析法開発調査報告書
(環境庁環境保健部保健調査室)
残留農薬分析法 ソフトサイエンス社
農薬ハンドブック 1992年 日本植物防疫協会
農薬の環境科学 金澤純

16. 水平透明度による水環境評価の試み

佐々木久雄* 濱名 徹 佐藤 勤
 冨塚 和衛 小笠原久夫

キーワード：水平透明度，視覚的水質，水環境評価

水域の快適性は、これまで透明度や透視度で評価されてきたが、測定方法の限界や客観性に乏しいなどの欠点があった。視力検査の手法と水中写真を応用した水平透明度を考案し、松島湾に適用したところ、浅い海域での巻き上がり現象などが客観的に表現でき、視覚的水質による水環境の評価が可能であることが判明した。

1. はじめに

近年、水域の快適性がますます重要視されてきているが、快適性を評価する視覚的水質の指標としては、従来から透視度や透明度が利用されている。しかし透視度は透視度管の長さに、また透明度は松島湾のような浅い海域では着底という限界を有している。この限界が快適性を評価するという目的の一つである見た目の「きれいさ」を測定する限界であり、その限界があるゆえに「きたなさ」の指標として使用されてきた側面があった。垂直方向の検査方法ではこのような限界があるため、Thouletはφ15cmの白球を45度に傾けた鏡で確認し、水平方向の透明度を測定する考え方を示した¹⁾。しかしこの方法だと、きれいであればあるほど水平距離が長くなり実用的でなく、データの利用もセッキ円盤法の1/2であるとして、あくまで従来法透明度の代用であった。さらに従来の指標は、観測者の読みが数値として表現されるのとどまるため、感覚的指標といわれながら、一般人たちには実感のつかめない、わかりにくい面も有していた。赤木等²⁾は、水質を実感として捕らえるため、大村湾で水中写真利用の実験を試みたが、分かりやすい数値化(定量化)までにはいたらなかった。また、人工衛星データを利用して底まで見える水域の透明度を推定する方法³⁾も提案されているが、手法を含めて分かり難いという面も克服できていない。本研究は、水中写真と視力検査の手法を応用した水平透明度を、従来の視覚的水質評価のもっていた短所を補い、わかりやすい水質指標の開発を試みたものである。

2. 装 置

2.1 装置の原理

装置の開発に当たっては、視力検査の手法を取り入れ

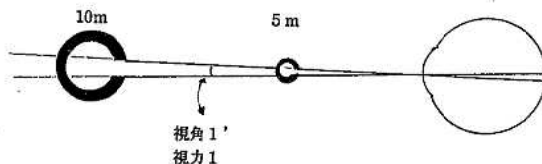


図1 視角および指標の大きさと距離の関係

た。すなわち、現在一般的な視力検査に使用されているランドルト環を水中で判別し、その距離と刺激の大きさ(ランドルト環の大きさ)により水平方向の透明度を表現しようとするものである。図1に示すようにランドルト環による視力の測定は、離れている2点を分離して認める最小視角を測定するもので、その視角が1分のとき視力1.0、2分のとき0.5、30秒のときは2.0であるというように決められている⁴⁾。したがって、感覚の大きさ(視力)は距離と刺激の大きさ(ランドルト環の大きさ)の関数で表現されていると見なすことができる。このことから、水平透明度を感覚の大きさと考え、距離と刺激の大きさとで表現することとした。

2.2 装置の概要および測定方法

図2に装置の概要を示した。調査船の船べりにセットできるように工夫されたステンレス製の指示棒を一端に、ランドルト環を刻印したセッキ板を固定し、他端に可動式の亚克力製の覗き窓と水中カメラをセットし、調査船上からセッキ板を確認、撮影できるようにした。セッキ板は海面下50cmにセットし、カメラのシャッターやフィルムの巻き上げは船上から操作できるように工夫した。ランドルト環は5m視力検査用の0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, および1.5の大きさのものを使用した。水中写真は、30~140cmの任意の距離で撮影できる構造になっている。撮影距離は覗き窓でランドルト環の0.3のものがはっきり確認できる距離から10cm近づけたところから撮影を始め10cmずつ遠ざけながら、3~5枚連続して撮影する。撮影されたフィルムは、一般の写真店でできるだけ条件

*現 宮城県下水道公社吉田処理場

を一定にして、通常の大きさ（いわゆるB判）に現像した。

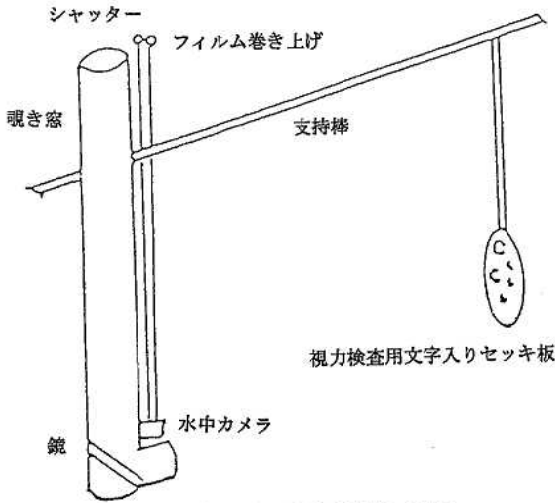


図2 水平透明度測定装置の概略

2.3 水中透明度の判定

一連の写真を撮影距離の短い順に並べ、ランドルト環の大きいほう、すなわち視力の小さいほうから切れ目が判定できるかどうかを判定していき、切れ目が判定できなくなったときの視力数値と撮影距離（cm）を乗じて水平透明度とした。例えば視力1.0のランドルト環が、撮影距離80cmで切れ目が確認できなくなったときの水平透明度は、 $1.0 \times 80 = 80$ とした。

3. 調査および検討方法など

底泥の巻き上がりや赤潮によって、視覚的水質の悪化が懸念されている松島湾⁶⁾において、実際に使用し、その機能を検討した。調査時には、視覚的水質の指標として従来使われてきた透視度、透明度やそれを決定すると思われる濁度、SSのほかCOD、N、P、chl-aなどの一般的な水質項目についても定法にしたがって分析した。さらに、付随する項目として、照度、水温などの気象に関する項目も測定した。これらの項目は、水平透明度との相関などを検討するために使用した。また判定の方法などに関しては、水中写真を複数のモニターに判定させるなどして検討した。

4. 結果および考察

4.1 判定方法に関する検討結果および考察

水平透明度は視覚という感覚の大きさをどれだけ正確に表現できるかが大きな問題になる。それには、判定する人の内部心理的雑音をできるだけ排除する必要がある⁶⁾。視力検査では、ランドルト環を確認できる最小の値（見えるい

き値）を視力としているが、表1に示すように、水平透明度の判定ではランドルト環の切れ目が確認できなくなった最大の値（見えないいき値）を判定するほうが、その判定値のばらつきは小さかった。これはモニターにどこまで見えるかと質問するより、見えなくなるのはどこかと質問するほうが、回答する側の心理的プレッシャーが小さくなるためと考えられる。なお、悪臭の官能試験などもはじめて感じられなくなったところをいき値として判定している⁷⁾。これらの結果から水平透明度の判定はランドルト環の切れ目が確認されなくなったところを判定することとした。また、モニターの性別、年齢および眼鏡の使用などは、判定値のばらつきに無関係であることも確認している。また、調査時の船上での照度は、数千（冬の曇天時）～13万（夏の快晴時）Lux程度であれば判定を阻害する程の差異はなかったが、直射光の当たるサイドでは、海面の反射光のため写真判定の邪魔になることがあり、原則的に透明度と同様日陰のサイドで測定することとした。またフィルムの空間周波数に対するレスポンスは、人の目と同程度であることが知られており⁸⁾、写真によつての判定は、人の目による判定と大きな誤差はないものとして考えた。

表1 判定手法によるばらつき

サンプル	モニターの判定値の平均 ^{*1}			
	見えない 閾値の判定	CV% ^{*2}	見える 閾値の判定	CV% ^{*2}
1	140	2.7	132	10.5
2	110	5.1	102	11.2
3	98	3.9	90	17.6
4	66	7.9	60	23.0
5	47	9.0	45	17.1
6	31	11.2	27	22.7
7	26	8.2	24	11.3
8	9	3.2	8	12.2
9	8	2.8	8	14.4
10	4	1.1	4	8.5

*1 N=9
*2 対数値のCV%

4.2 判定結果に関する検討結果および考察

今回の調査では、松島湾内で延べ70検体の調査結果が得られたが、透明度はそのうちの9%に当たる6検体で全透着底、また透視度では76%に当たる53検体で50以上という結果であったのに対し、水平透明度は70検体全てで、数値としての結果が得られた。過去3年間（1990～1992）における松島湾内の公共用水域の水質測定結果⁹⁾によれば透明度では11%、透視度では79%がそれぞれ全透、50以上という表現であった。また、宮城県内の海水浴場水質調査結果⁹⁾によれば、透明度は100%、透視度も98%が全透、50以上であり、数値評価があいまいであったことは否

めない。水平透明度を利用すれば、このような難点を補う数値化が可能で、ランク分けなどの評価ができるものと考えられる。実際の水平透明度の判定では一人か多くても二人の担当者が判定することになるが、再現性や客観性が問題になる。水平透明度には水中写真が使用されるために、後日でも複数の人間によってチェックが可能である。表2には担当者の判定値とモニター10人による判定の平均値およびその分散係数を示した。感覚の大きさは刺激の強さの

表2 判定値のばらつき

地点	判定値	モニターの平均値*1	分散係数CV%*2
1	140	140	0
2	100	125	4.9
3	70	85	6.1
4	60	66	1.7
5	50	46	10.0
6	42	45	4.3
7	35	30	7.1
8	30	33	5.1
9	21	24	8.1
10	8	8	2.8

*1 N=10
*2 対数値のCV%

増加と対数関係にある¹⁰⁾ことから、分散係数は水平透明度の対数値で示した。この10人の平均値は、きわめて担当者の判定値に近似していることが分かる。分散係数も10%以下とほぼ満足できるものであり、再現性、客観性にも耐えられるものと考えられる。またこのことから、従来の指標である透視度や透明度と同様に、担当者一人の判定でも十分信頼できるものと考えられる。図3には透明度と水平透明度の散布図を示した。相関係数は0.81と強い相関が認めら

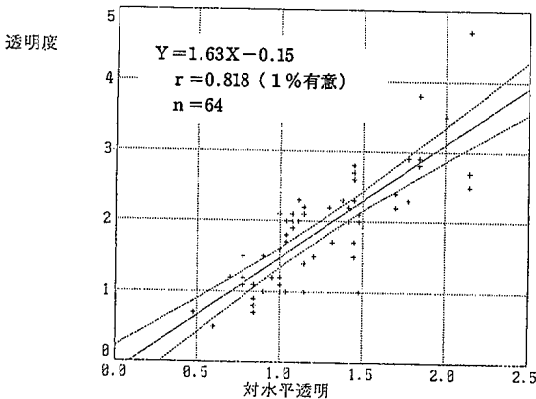


図3 水平透明度（対数値）と透明度の散布図

れた。また、透視度とは0.73、濁度、SSとはそれぞれ0.66、0.63の相関係数が得られ、視覚的指標やそれを決定する

と思われる水質項目¹¹⁾とも比較検討が可能であると考えられる。一方、透視度や透明度の持つきれいさを測定する際の限界を越えられるかどうかを検討した。今回測定した70検体を透視度50以上の53検体と50以下の17検体に分けて検討した。図4には透視度50以上での透明度と水平透明度の散布図を、また図5には50以下の散布図を示した。

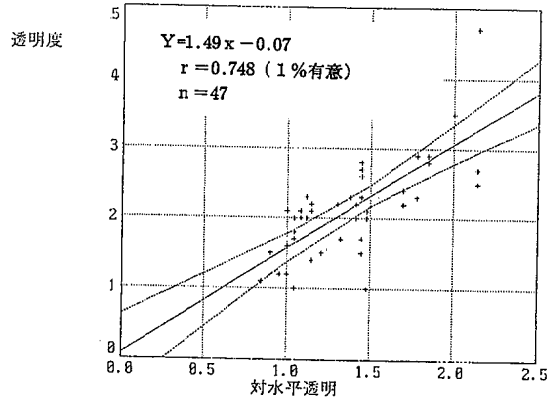


図4 水平透明度（対数値）と透明度の散布図（透視度50以上）

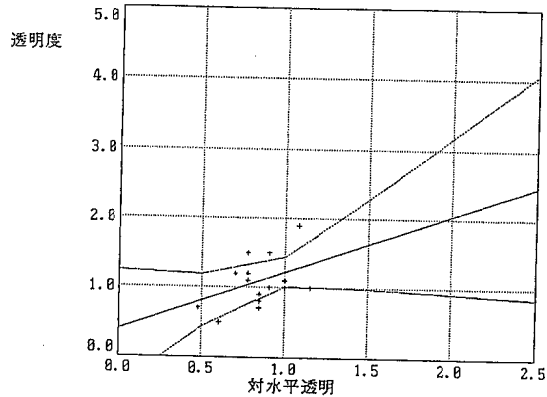


図5 水平透明度（対数値）と透明度の散布図（透視度50以下）

その結果、透視度50以上では0.75の相関係数が得られたが、50以下では相関は認められなかった。このことは、透視度50以下のサンプル数が少なかったことも原因の一つと考えられる。また表3には水平透明度の違いを比較判定するため、きれいと感じた順に並び変えるテストに使用した写真の、撮影時の水質性状を示した。期待されるきれいな順からの並び変えは、2~5~3~4~1であるが、36人のモニター中92%にあたる33人がそのように回答した。写真4と1の水質の差は、透明度で0.2、濁度で1.0、SSで1.2であった。また、写真5と3の差は、透明度で0.9、濁度で1.2、SSで1.0であり、きれいさを支配すると考えられる指標の差を十分識別できていると考えられる。

表3 並び変えテストに使用した水中写真と水質

	写真1	写真2	写真3	写真4	写真5
水平透明度	11	210	70	26	140
透明度	1.8	>2.0	3.8	2.0	4.7
透視度	>50	>50	>50	>50	>50
濁度	3.2	<0.5	2.0	4.2	0.8
SS	3.4	1.1	3.6	2.2	2.6

4.3 水質評価の結果および考察

水平透明度の手法を水深の浅い松島湾に適用し検討した。松島湾の水域面積は約36km²（奥行き約4km，幅約10km），平均水深は3.5mである¹²⁾。日本三景の一つとして古くから多くの観光客が訪れているが，近年富栄養化の進行に伴う赤潮の発生や底泥の巻き上がり現象による見た目の水質の悪化が問題になっている。図6には1993年10月10日の調査結果を，また図7には11月11日の結果を示した。前者は連休の最中で観光船の発着の複雑な日であり，後者は観光客の最も少ない時期の平日である。観光客の多い10月10日では，船の航路にあたりしかも水深の浅い松島海岸付近で極めて水平透明度が悪化しているのが分かる。航行船舶の少ない11月11日には水平透明度は回復し，その値は2～3倍になっている。見た目の水質を悪化させる原因としては，船舶の航行による巻き上げの他，河川からの濁水の流入，潮汐や風浪に寄る巻き上げなどが考えられるが，それらの気象，海況条件は11月11日のほうが巻き上げを発生させやすい条件であった¹³⁾ことから，10月10日の水平透明度の悪化は，観光船などの航行による影響と考えられる。一方水深が松島海岸付近と同じ程度浅い宮戸島

付近では，両調査日共に水平透明度は良好である。この水域はアマモの群落が発達した典型的な藻場¹⁴⁾であり，それが巻き上がりの影響を抑制していることを示唆している。また，海水の交換のよい水道部分は水深が深いこともあって，水平透明度は高い値を示していることが分かる。この結果は，付近の漁民や釣り人等の日常感覚と一致しており，見た目の水質を良く表現しているものと考えられる。

5. おわりに

水域のきれいさ，見た目水質を定量化する目的で，水中写真を視力検査の手法で評価し，以下に述べるようなよい結果が得られた。

- 1) 透明度や透視度はその水深，透視度管の長さ以上のきれいさの測定はできなかったが，水平透明度では従来定量化できなかった浅い水域や見た目の水質がきれいな水域でも適用が可能であった。
- 2) 水平透明度は水中写真で判定するため，一般の人にも分かりやすい指標として利用が期待できる。
- 3) 水平透明度は客観性，再現性も良く，見た目の水質指標として十分利用できる。
- 4) 従来の透明度や透視度，それらを支配する濁度などとの相関も高い。
- 5) 浅い海域での調査の結果，漁民や釣り人等の感覚と一致した見た目水質を良く表現できた。

今後さらにデータを収集すると共に，見た目の水質を決定する要因の一つであると思われる色相についても検討する必要があるが，海水浴場，水深の浅い海域，河川および池沼などの見た目の水質の基準の設定や港湾工事などの影響調査などに利用されることが期待される。

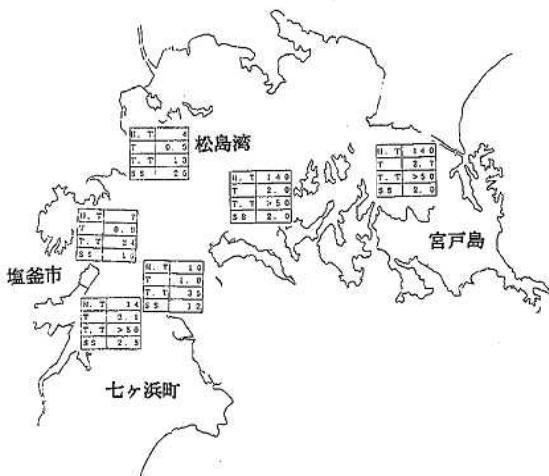


図6 松島湾における視角的水質の分布 (航行船舶の多い日 H 5.10.10)

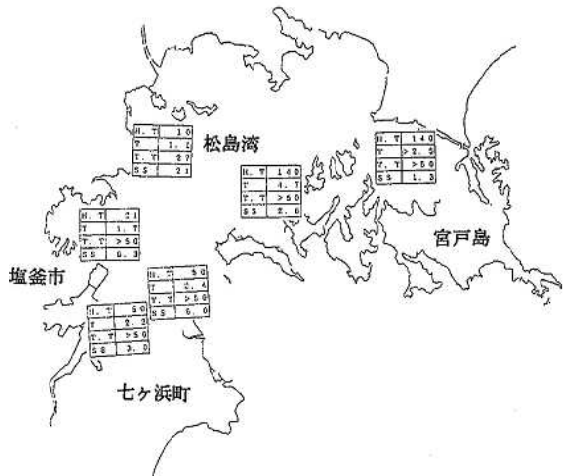


図7 松島湾における視角的水質の分布 (航行船舶の少ない日 H 5.11.11)

謝 辞

本文をまとめるにあたり多大なる御指導をいただいた東北大学工学部教授須藤隆一博士ならびに国立環境研究所西村修博士に厚く感謝申し上げます。また、水平透明度測定装置の開発にあたりご尽力いただいた、株式会社星理科学器械猪股憲男氏に厚く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 吉村信吉 湖沼学(増補版) 昭和54年 生産技術センター
- 2) 長崎県衛生公害研究所編 1992年 水中写真が捕らえた大村湾の水質
- 3) 建設省国土地理院編 昭和56年3月 樹木の活力度および水域の透明度による地域環境指標の研究報告書
- 4) 池田一三 眼機能, 光感および夜盲 1957年 日本眼科全書8 金原出版
- 5) (社)底質浄化協会編 平成4年3月 松島湾環境改善調査報告書
- 6) 横瀬善正 1953年 視覚の心理学 現代心理学体系共立出版
- 7) 宮城県保健環境部 平成元年4月 宮城県悪臭公害防止対策要綱 宮城県公害等関連例規集
- 8) 宮城県 1990~1992 宮城県公共用水域水質測定結果
- 9) 宮城県 1990~1992 県内海水浴上の水質測定結果
- 10) 日科技連官能検査委員会編 1973 新版官能試験ハンドブック
- 11) 三好廉彦ら 排水の着色の測定方法と問題点 公害と対策 27, 716 (1991)
- 12) 宮城県 1992.3 宮城県リフレッシュ計画調査資料
- 13) 日本気象協会宮城県支部編 1993 宮城県気象月報
- 14) 宮城県 1994.3 宮城県リフレッシュ計画