

愛媛県公害技術センター所報

第 6 号

昭和60年 3 月

Report of Ehime Prefectural Research
Center for Environmental Protection

No. 6 Mar. 1985



愛媛県公害技術センター



9

はじめに

高度経済の成長期は私共の生活向上に寄与した反面、環境の悪化を助長し、一時期としては危機感をいただいた時代もありましたが、廃棄物など一部に問題を残しているものの、厳しい規制、景気低迷による操業率の低下などによって、環境は大巾に改善されました。

特に本県におきましては十年間継続していた東予地域の公害防止計画も、所期の目的を達成されたことは御承知のとおりであります。

しかしながら現在、産業型の公害からは改善されたものの、都市化の進展や生活様式の多様化などによる都市生活型の公害へと変貌している現状にあります。

このことから、当センターとしては、環境の監視や調査を中心にした業務を日常行っておりましたが、今後は更に、県民がより快適な生活環境を求める傾向にある中で、これらの要請にこたえられる試験研究機関を目ざして、努力を重ねて参りたいと考えております。

そのためには、過去の調査研究結果の整理、解析とその有効な活用方法の開発、情報化社会に対応したデータ処理機能の充実、更には基礎研究に基づいた公害防止技術の応用など数多くの課題が残されております。

この所報は、職員が日常業務を行う中で見出された諸問題を解決するために、テーマを選んで調査研究を進め、まとめたものでございます。研究報告書としては未熟とは存じますが、御一読いただきまして、御意見、御助言を賜われれば幸甚に存じます。

今後とも環境保全のために職員一同努力する所存でございますので、一層の御指導、御支援を賜りますようお願い申し上げます。

昭和60年3月

愛媛県公害技術センター

所長 塩 梅 豊

目 次

はじめに

1. 雨水成分調査について (第2報)	1
2. 雨水中の Na, K, Ca および Mg の測定	7
3. 愛媛県の湖沼の水質	12
4. 小野川水系の水質汚濁調査	19
5. 尻無川の水質調査	25
6. 広見川水系におけるステロールの分析	31
7. 廃魚処理施設の土壌脱臭について	35
8. 環境放射線及び大気浮遊じんの放射能の自然変動	37
9. 大気浮遊じん中の放射性核種	44
10. 環境におけるストロンチウムの挙動	48
11. ガンマ線スペクトロメータ相対計数効率算出方法と測定結果について	51

雨水成分調査について (第2報)

三 谷 美 嶺 雄 ・ 楠 憲 一 ・ 影 浦 久 * ・ 岡 本 信 二 **

1. はじめに

酸性雨により北欧や北米では、湖沼や河川の酸性化による水生生物の減少、森林被害など生態系への影響が発生し^{1)~3)}、また、わが国においてもかなり酸性度の高い雨水が観測されており^{1),3),4)}、最近酸性雨への関心が高まっている。

本県には、現在まで酸性雨による被害の報告はないが、第1報では昭和56年9月から10月までの2ヶ月間、県内3ヶ所で雨水調査を実施し、平均pHは3地点とも5前後であり、また、最低pHは3.6と酸性側にかたよっていることを報告した⁵⁾。そこで、今回は松山地域における雨水成分の詳細な実態を把握するため、雨水の成分濃度が高いと言われている降り始めの雨水と降り始めを含む1日単位の雨水調査を1年間にわたり実施し、雨水成分の季節変動や成分相互の関係等についてまとめたので報告する。

2. 調査方法

2. 1. 調査期間及び調査地点

昭和57年9月~58年8月

松山市三番町愛媛県公害技術センター屋上
(地上19m)

2. 2. 雨水の採取方法

2. 2. 1. 1mm分取試料

小笠原計器製R-100型雨水採水器で、降り始めから降雨5mm目まで、1mmごとにそれぞれ100ml採取した。

2. 2. 2. 日 降 雨

1mm分取試料の雨水採取と並行して、降り始めあるいは午前9時から翌日の午前9時までには降った雨水を1日単位で、直径約30cmのロートを用い5ℓのガラスびんに採取した。

2. 3. 測定項目及び測定方法

pH : pH計
導電率 (EC) : 導電率計
硫酸イオン (SO₄²⁻) : 比濁法⁶⁾
硝酸イオン (NO₃⁻) : サリチル酸ナトリウム法⁷⁾

塩素イオン (Cl⁻)

: チオシアン酸第二水銀法⁷⁾

アンモニウムイオン (NH₄⁺)

: インドフェノール法⁷⁾

ナトリウムイオン (Na⁺) : 原子吸光光度法

カルシウムイオン (Ca²⁺) : 原子吸光光度法

3. 調査結果及び考察

3. 1. 雨水成分測定結果

1mm分取試料と日降雨の雨水成分測定結果を表1に示す。

1mm分取試料全体(試料数196)のpHは、3.6~6.1の範囲で平均4.5であり、また、SO₄²⁻はND~20μg/ml、平均3.8μg/ml、NO₃⁻はND~13μg/ml、平均1.5μg/mlであった。

これまでわが国各地で雨水成分の測定が行われているが^{2),3)}、今回のこれらの結果は、全国各都市で測定されている濃度レベルの範囲内であり、広島市⁸⁾、福井市¹⁰⁾、岐阜市¹¹⁾等の都市とほぼ同程度であった。

1mm目から5mm目までの雨水成分の変化についてみると、pHは1mm目が4.4で、その後やや上昇傾向にあったが大きな変化はなかった。

pHを除く他の成分については、1mmの各成分の平均値を1として2mm目以降の平均値の比を示したものが図1である。

各成分とも1mm目が最も高く、その後減少する傾向にあった。なお、各成分とも、1mm目から2mm目の減少度合が大きかったが、2mm目から5mm目までは、途中で濃度が増加する成分もあり、その減少度合は小さかった。

次に、日降雨の調査結果についてみると(表1)、pHは3.7~6.1の範囲で平均4.5であり、1mm分取試料の全平均値とかわりなかった。また、他の成分についても、1mm分取試料の全平均値と比較すると、SO₄²⁻とCa²⁺がやや日降雨の方が低くなっているが、その他の項目はあまりかわりなかった。

Mineo MITANI · Kenichi KUSUNOKI · Hisashi KAGEURA · Shinji OKAMOTO

* 愛媛県公害技術センター東予支所

** 愛媛県保健環境部公害課

表1 雨水成分測定結果 (昭和57年9月~58年8月)

降雨区分	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Na^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Ca^{2+} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	試料数	
1mm分取試料	1mm目	4.4 (3.6~6.1)	47 (11~142)	6.9 (ND~20)	3.0 (0.35~13)	2.1 (ND~10)	0.88 (0.21~3.1)	0.88 (ND~6.4)	1.1 (0.22~3.2)	41
	2mm目	4.4 (3.8~6.0)	30 (7~80)	3.3 (ND~9.5)	1.4 (ND~6.9)	0.86 (ND~3.9)	0.38 (0.09~0.97)	0.32 (ND~2.3)	0.27 (0.05~1.1)	41
	3mm目	4.5 (3.9~5.9)	27 (4~105)	3.6 (ND~12)	1.0 (ND~3.3)	1.0 (ND~19)	0.36 (0.08~1.2)	0.50 (ND~11)	0.26 (ND~4.2)	39
	4mm目	4.5 (3.9~5.6)	24 (4~70)	2.3 (ND~9.1)	1.1 (ND~5.0)	0.52 (ND~1.8)	0.40 (0.08~1.8)	0.20 (ND~0.69)	0.14 (ND~0.56)	38
	5mm目	4.6 (3.9~5.5)	22 (3~67)	2.6 (ND~7.9)	0.89 (ND~4.3)	0.48 (ND~2.5)	0.33 (0.05~1.0)	0.17 (ND~0.57)	0.11 (ND~0.73)	37
	1~5mm全試料	4.5 (3.6~6.1)	30 (3~142)	3.8 (ND~20)	1.5 (ND~13)	1.0 (ND~19)	0.48 (0.05~3.1)	0.43 (ND~11)	0.39 (ND~4.2)	196
日降雨	4.5 (3.7~6.1)	27 (4~105)	2.9 (ND~7.7)	1.3 (ND~11)	1.2 (ND~9.3)	0.47 (0.10~1.5)	0.54 (ND~5.3)	0.29 (ND~2.7)	61	
定量限界	—	—	2.0	0.30	0.50	0.04	0.05	0.05	—	

(注) 1. 数値の上段は平均値、下段の()内は最低値~最高値を示す。
 2. 平均値は算術平均である。ただしNDは0として計算した。
 3. ND: 定量限界未満

ここで、日降雨試料のうち2日間連続して測定した試料の1日目と2日目の各成分の平均値を表2に示す。

各成分とも1日目と2日目の平均値は、ほぼ同程度であり、先に述べた1mm目から5mm目までの初期の降雨でみられた成分濃度の減少傾向はなかった。

また、個々の事例でも SO_4^{2-} や NO_3^- は、2日目の濃度が1日目と比べて半数近くが高かった。

以上のことより、各成分の日降雨の平均値と1mm分取試料の全平均値に大きな差がなかったのは、6mm目以降の雨水成分濃度は降雨とともに必ずしも減少せず、降雨途中で増減するためと考えられる。

日降雨試料については、雨が降ったり止んだりする場合など、ロードに附着する降下ばいじんによる成分濃度への影響も多少考慮しなければならないが、今回の調査結果からみると、降り始めの1mm分取試料だけでなく6mm目以降の雨水も、大気中の汚染物質を含んだpHの低い雨水となっていると考えられる。したがって今後、酸性雨による生態系への影響を検討する場合には、初期降雨だけでなく降雨全体についての調査が必要であると思われる。

3. 2. 雨水のpH

1mm分取試料のpH出現状況を図2に示す。試料全体ではpH4.3の出現率が14%で最も高

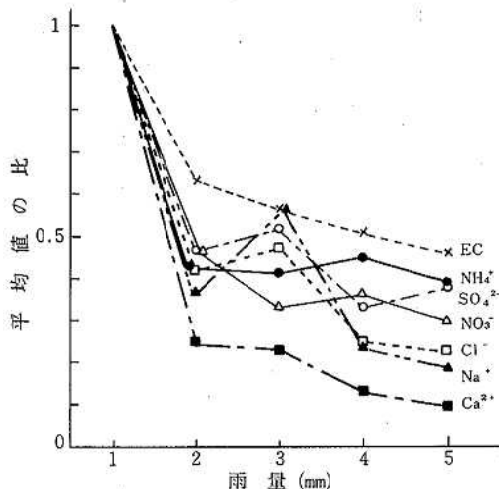


図1 降雨順序別成分変化

表2 連続日降雨の成分平均値

項目	1日目	2日目
PH	4.6	4.4
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}, 25^\circ\text{C}$)	20	26
SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	2.6	2.7
NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	1.0	0.90
Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.69	0.82
NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.44	0.44
Na^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.33	0.42
Ca^{2+} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0.22	0.17

(注) 1. 各項目とも試料数は15である。
 2. 平均値は算術平均である。ただし、定量限界値未満は0として計算した。

く、pH 4.0~4.4の出現率は46%、pH 4.5~4.9の出現率は31%であった。

次に、1~5mm目それぞれのpH出現状況を見ると(図3)、各降雨とも最高出現率はpH 4.0~4.4の範囲であったが、pHの低い3.5~3.9の出現率は1mm目が一番高かった。また、最も低いpH 3.6は調査中に4回観測されたが、いずれも1mm目であったことから、降り始めが酸性度が高くなるようである。

図4に日降雨のpH出現状況を示す。

出現率が最も高かったのは、1mm分取試料よりややpHが高い4.5で、出現率は21%であった。また、pH 4.0~4.4の出現率は43%であり1mm分取試料とほぼ同程度であったが、pH 4.5~4.9の出現率は41%であり、1mm分取試料の31%より多かった。

なお、当調査期間中の57年12月に黄砂を含む雨水で、pH 8前後の高い値が観測されたが、今回の解析からは除外した。

3. 3. 雨水成分の季節別変動

1mm分取試料及び日降雨についての雨水成分の季節別平均値を表3に示す。

1mm分取試料についてみると、各成分とも季節によりあまり変化はみられなかったが、夏期(6~8月)においてpHがやや高く、 Na^+ を除く他の項目は四季の中で一番低い値を示した。

また、日降雨についてもほぼ同じような傾向であり、夏期にpHがやや高く、EC、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 及び NH_4^+ は四季の中で一番低かった。なお、 NO_3^- は夏期に濃度が高いが、これは1試料に特に高い濃度がみられたためであり、これを除いた数値を()で示した。

ここで、日降雨調査の季節ごとの全降雨量を調査回数で除した平均降雨量をみると、秋と冬が各16mm、春が14mmであり、夏は22mmと一番多かった。

降雨量の増加に伴う成分濃度の減少については後述するが、夏期に SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 等の成分濃度が低かったのは、降雨量が多かったことが影響しているものと思われる。

3. 4. 雨水成分相互の関係

雨水のpHを低くしている成分を知る手がかりとして、1mm分取試料全体と1mm目のみの試料について、雨水成分相互の相関関係を求めたのが表4である。なお、相関係数を求めるに当たっては、pHは水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ に換算し、また、定量限界値未満のデータは除外した。

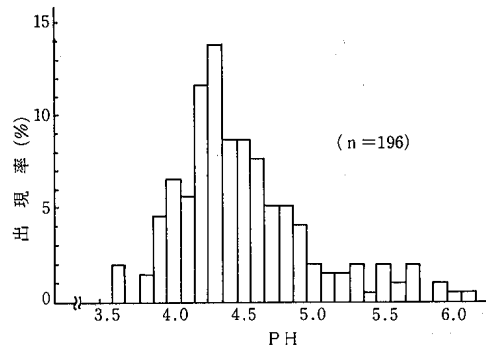


図2 雨水pHの出現状況(1mm分取試料)

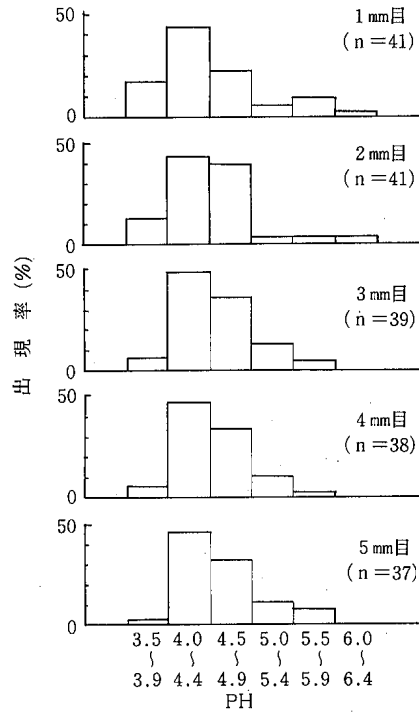


図3 雨水pHの範囲別出現状況(1~5mm目)

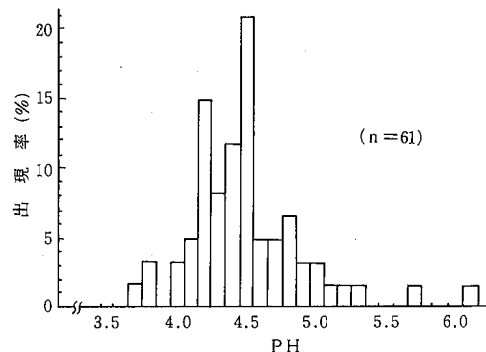


図4 雨水pHの出現状況(日降雨)

(1mm分取試料)

表3 季節別雨水成分(平均値)

季節(調査月)	PH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Na^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Ca^{2+} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	試料数
秋(9~11)	4.5	32	4.0	1.7	1.3	0.53	0.68	0.49	52
冬(12~2)	4.2	38	4.5	1.6	1.5	0.46	0.41	0.47	25
春(3~5)	4.5	31	4.0	1.4	0.86	0.48	0.25	0.33	77
夏(6~8)	4.7	23	2.8	1.3	0.71	0.40	0.43	0.31	42
年間(9~8)	4.5	30	3.8	1.5	1.0	0.48	0.43	0.39	196

(日降雨)

季節(調査月)	PH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Na^+ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Ca^{2+} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	試料数
秋(9~11)	4.5	30	3.3	1.3	1.4	0.52	0.75	0.41	18
冬(12~2)	4.3	34	3.3	1.5	1.5	0.48	0.55	0.33	5
春(3~5)	4.4	27	3.1	1.2	1.3	0.47	0.40	0.22	24
夏(6~8)	4.7(4.8)	21(14)	<2.0(<2.0)	1.6(0.86)	0.83(0.48)	0.38(0.30)	0.50(0.46)	0.24(0.23)	14(13)
年間(9~8)	4.5	27	2.9	1.3	1.2	0.47	0.54	0.29	61

(全試料)

表4 雨水成分間の単純相関係数

	Ca^{2+}	Na^+	NH_4^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	EC
H^+	0.062 (174)	-0.044 (168)	0.545** (195)	0.020 (139)	0.598** (176)	0.681** (137)	0.868** (196)
EC	0.478** (174)	0.400** (168)	0.729** (195)	0.469** (139)	0.767** (176)	0.843** (137)	
SO_4^{2-}	0.491** (130)	0.330** (122)	0.691** (137)	0.363** (102)	0.553** (134)		
NO_3^-	0.436** (160)	0.354** (153)	0.687** (176)	0.370** (128)			
Cl^-	0.767** (132)	0.969** (129)	0.323** (139)				
NH_4^+	0.495** (174)	0.295** (168)					
Na^+	0.742** (162)						

(1mm目)

	Ca^{2+}	Na^+	NH_4^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	EC
H^+	-0.095 (41)	-0.114 (39)	0.583** (41)	0.017 (38)	0.589** (41)	0.788** (38)	0.898** (41)
EC	0.247 (41)	0.244 (39)	0.767** (41)	0.355* (38)	0.765** (41)	0.879** (38)	
SO_4^{2-}	0.227 (38)	0.127 (36)	0.770** (38)	0.165 (35)	0.479** (38)		
NO_3^-	0.280 (41)	0.401** (39)	0.640** (41)	0.458** (38)			
Cl^-	0.630** (38)	0.947** (37)	0.176 (38)				
NH_4^+	0.345* (41)	0.187 (39)					
Na^+	0.616** (39)						

** 1%有意 * 5%有意 () 試料数

[H⁺] と他の成分との関係は、全試料、1mm目とも、NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻及びECと1%有意で相関が認められたが、Ca²⁺、Na⁺及びCl⁻とは相関が認められなかった。なお、[H⁺]に対するSO₄²⁻とNO₃⁻の相関係数は、全試料、1mm目ともSO₄²⁻の方がやや高かった。

次に、ECと他の成分との関係については、全試料、1mm目ともNH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻及び[H⁺]と強い相関がみられた。

また、NH₄⁺は、SO₄²⁻やNO₃⁻と結合してアンモニウム塩として存在している割合が大きいとの報告があるが^{10,12}、松山地域でもSO₄²⁻やNO₃⁻と1%有意で相関が認められた。

一般に雨水の低pHをもたらすものは、硫酸ミストと硝酸(ガス状)の取り込みによるものと予想されており¹⁾、今回の調査でもSO₄²⁻とNO₃⁻は[H⁺]と相関が認められた。そこで、[H⁺]に対してSO₄²⁻とNO₃⁻のどちらが関連が大きいかを測定するため、1mm分取試料全体(n=134)について[H⁺]を従属変数として、SO₄²⁻、NO₃⁻に対する重回帰分析を行うと共に、各変数を平均0、分散1となるように標準化したデータで重回帰分析を行った^{10,13)}。

まず、[H⁺]のSO₄²⁻、NO₃⁻に対する重回帰式を求めると次の通りであり、偏回帰係数はSO₄²⁻の方がNO₃⁻よりやや高かった。なお、重相関係

数(R)は0.708で、F検定の結果は1%で有意であった。

$$Y = 0.926x_1 + 0.632x_2 + 0.203 \quad (R = 0.708)$$

$$Y : [H^+] \times 10^5 \text{ (mol/l)}$$

$$x_1 : SO_4^{2-} \text{ (}\mu\text{g/ml)}$$

$$x_2 : NO_3^- \text{ (}\mu\text{g/ml)}$$

次に、従属変数[H⁺]と独立変数SO₄²⁻、NO₃⁻を標準化したデータ(それぞれy*, x₁*, x₂*とする)による重回帰式は次のようになった。

$$Y^* = 0.550x_1^* + 0.236x_2^*$$

標準偏回帰係数もSO₄²⁻の方がNO₃⁻に比べて高く、今回調査した1mm分取試料についてみると、[H⁺]に対してSO₄²⁻の方がNO₃⁻より関連が大きいと推定された。なお、SO₄²⁻については中性の形で雨水に取り込まれるものも考えられるため、直接pHを支配するものが、雨水に含まれる希薄な硫酸と考えるのは解釈を誤るおそれがあるかもしれない。

3. 5. 降雨量と雨水成分との関係

午前9時から翌日の9時までに降った全雨量を4グループ(5mm未満、5~10mm未満、10~20mm未満、20mm以上)に区分し¹⁴⁾、各グループの日降雨の雨水成分平均値を示したのが図5である。なお、降雨量は松山地方気象台のデータを使用した。

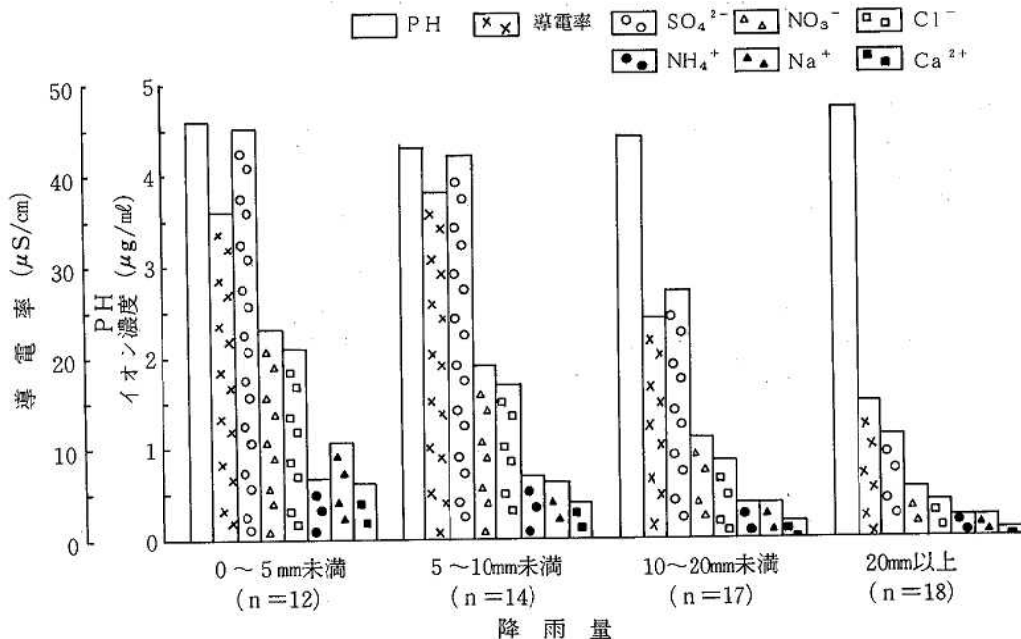


図5 降雨量と雨水成分の関係(日降雨)

pHは、降雨量が20mm以上の時が4.7で一番高かったが、他のグループに比べてあまり差がみられなかった。

一方、他のイオンは降雨量の増加に伴ない濃度が減少した。

降雨量の増加に伴ないイオン濃度の減少は、初期降雨でかなり高濃度であったイオンが、その後の降雨で希釈されるためと考えられる。

4. ま と め

松山地域（公害技術センター屋上）で、降り始め5mm目までの雨水（1mm分取試料）と1日単位の雨水（日降雨）について、1年間成分調査を実施した結果、次のことがわかった。

- (1) 1mm分取試料全体のpHは、3.6～6.1の範囲で年平均値が4.5であり、pH4.0～4.9の出現率は77%であった。また、 SO_4^{2-} の平均値は $3.8\mu\text{g}/\text{ml}$ 、 NO_3^- は $1.5\mu\text{g}/\text{ml}$ であった。
- (2) 降雨1mm目に低pHが出現しやすかったが、pH平均値では1mm目から5mm目まで大きな変化はなかった。しかしながら、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等他の成分は1mm目が最も高く、その後5mm目まで減少傾向にあり、1mm目から2mm目の減少度合が大きかった。
- (3) 日降雨のpHは平均4.5であり、1mm分取試料全体の平均値とかわりなかった。また、他の成分も1mm分取試料の全平均値と大きな差がみられなかったが、これは降雨途中で雨水成分濃度が増減するためと考えられる。
- (4) 雨水成分の季節による変動は、あまり大きくなかったが、夏期に SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 等の濃度が低く、pHがやや高かった。
- (5) 雨水成分相互の関係では、 $[\text{H}^+]$ と NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 及びECとの相関が認められた。なお、 $[\text{H}^+]$ に対する SO_4^{2-} と NO_3^- の関連では、 SO_4^{2-} の方が大きいと推定された。
- (6) pHは1日当たりの全雨量の多少にかかわらず、あまり差がみられなかったが、他のイオン

は降雨量の増加に伴い濃度が減少した。

終わりに当たり、松山地方气象台に降水量資料の提供をいただいたので深謝致します。

—参 考 文 献—

- 1) 酸性雨対策検討会：酸性雨に係る情報収集整理結果報告書、3～16、1983
- 2) 平石尹彦：環境技術、Vol.12、No.12、828～834、1983
- 3) 玉置元則：PPM、Vol.15、No.3、2～11、1984
- 4) 関口恭一他：大気汚染学会誌、Vol.18、No.1、1～7、1983
- 5) 三谷美嶺雄他：愛媛県公害技術センター所報、4号、1～3、1982
- 6) 押尾敏夫：千葉県公害研究所研究報告、Vol.6、45、1976
- 7) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会、一都三県公害防止協議会：関東地方における“いわゆる酸性雨（湿性大気汚染）”について、49～52、1975
- 8) 光化学二次生成物質検討会（湿性分科会）：湿性大気汚染調査総合報告書（総括編）、71～106、1981
- 9) 昭和57年度環境庁委託業務結果報告書、分析の自動化に関する研究（酸性雨測定方法）、1983
- 10) 正通寛治他：福井県公害センター年報、Vol.7、135～154、1977
- 11) 梅村正雄他：岐阜県公害研究所年報、No.5、25～30、1976
- 12) 埼玉県公害センター大気科他：埼玉県公害センター年報、No.3、20～23、1976
- 13) 河口至商：多変量解析入門I、森北出版(株)
- 14) 谷尾桂子他：京都府衛生公害研究所年報、No.27、110～113、1982

雨水中の Na, K, Ca および Mg の測定

楠 憲 一・三 谷 美嶺雄・渡 辺 和 範

1. はじめに

酸性雨については近年問題となっており、多くの調査がされている。雨水の pH は陽イオンと陰イオンのバランスにより決定されるため、これらのイオンを正確に測定することにより、雨水の pH と各種イオンの関係あるいは酸性雨の原因について、より細かい研究が可能となる。

ナトリウム (Na), カリウム (K), カルシウム (Ca) およびマグネシウム (Mg) は、通常蛍光光度法あるいは原子吸光光度法で測定されている^{1)~3)}。これらの測定法は、河川水あるいは工場排水を対象としたものであり、0.01~1 $\mu\text{g/ml}$ レベルの存在量である雨水の測定に適しているとは限らない。また、0.01~1 $\mu\text{g/ml}$ レベルでは共存物質の影響も無視できないであろう。さらに Ca および Mg は硫酸イオン等の妨害があるといわれている^{4)~6)}。

また、著者が使用している雨水を 1 mm ごとに採取する装置では、1 検体の試料量が 100ml であり、測定に使用できる試料量も限られている。

そこで、Na, K, Ca および Mg を原子吸光光度法により、少量の試料で、正確に測定するため、実際の雨水の含有量程度での測定法について検討したので、その結果を報告する。

2. 実 験

2. 1. 試 薬

ランタン (La) 溶液：酸化ランタン 29g を少量ずつ塩酸 (1 + 1) 500ml に溶かし (1 ml = 50mg La)¹⁾、それを希釈して使用した。

リチウム (Li) 溶液：塩化リチウム 6.11g を純水に溶かし、1,000ml とし (1 ml = 1 mg Li)、それを希釈して使用した。

ストロンチウム (Sr) 溶液：硝酸ストロンチウム 2.45g を 1% 硝酸に溶かし、1,000ml とし (1 ml = 1 mg Sr)、それを希釈して使用した。

セシウム (Cs) 溶液：塩化セシウム 12.67g を純水に溶かし、1,000ml とし (1 ml = 10mg Cs)、

それを希釈して使用した。

以上の La 溶液, Li 溶液, Sr 溶液および Cs 溶液中には、Na, K, Ca および Mg が含まれないことを実験的に確認した。

Cs 添加液：Cs 溶液 (1 ml = 100mg Cs) を純水で 20 倍に希釈 (1 ml = 5 mg Cs) した。

硫酸イオン溶液：硫酸カリウム 1.815g を純水に溶かし、1,000ml とし (1 ml = 1 mg SO_4^{2-})、それを希釈して使用した。

リン酸イオン溶液：リン酸二水素カリウム 0.1433g を純水に溶かし、100ml とし (1 ml = 0.1mg PO_4^{3-})、それを希釈して使用した。

Na, K, Ca および Mg の各標準原液：工場排水試験方法 JIS K 0102 により、500 あるいは 1,000 $\mu\text{g/ml}$ の各標準原液を調製した。

混合標準液：Na, K, Ca および Mg の各標準原液から混合溶液 (Na : 20 $\mu\text{g/ml}$, K : 20 $\mu\text{g/ml}$, Ca : 20 $\mu\text{g/ml}$, Mg : 5 $\mu\text{g/ml}$) を調製した。この混合溶液を段階的に希釈し、それぞれの容量が 10 に対し、Cs 添加液を 1 の割合で加えて、混合標準液を調製した。

2. 2. 装置と器具

プラスチック製共栓試験管：最大容量 12ml の通称スピッツ管。試験管部分がポリスチレン製、栓部分がポリエチレン製。

原子吸光光度計：日立 170-30 型

2. 3. 分析操作

雨水 10ml をホールピペットでスピッツ管にとり、Cs 添加液を 1 ml 加え、よく振とうする。これを原子吸光光度計にかけ、吸光度を測定する。別に混合標準液の吸光度を測定し、作成した検量線から雨水中の濃度を求める。

以上の操作を Na, K, Ca および Mg について、順次実施する。なお各元素の測定条件は表 1 のとおりである。

表1 測定条件

分析線

Na : 589.0nm, K : 766.5nm

Ca : 422.7nm, Mg : 285.2nm

ランプ電流 : 6 mA

バーナー高 : 2 cm

ガス圧

空気 : 1.75kg/cm², アセチレン : 0.4kg/cm²

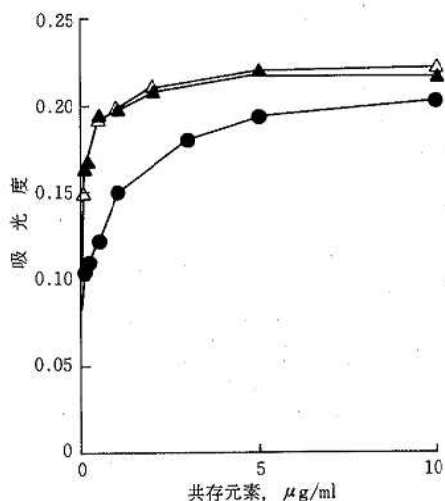


図1 Na (0.2 μg/ml) に対する共存元素の影響

● K, △ Ca, ▲ Mg

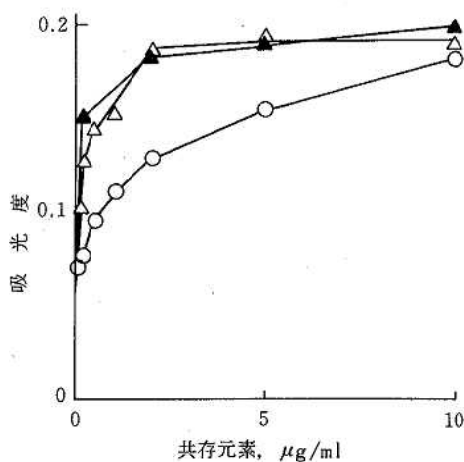


図2 K (0.2 μg/ml) に対する共存元素の影響

○ Na, △ Ca, ▲ Mg

3. 測定方法の検討と考察

3.1. 共存元素の干渉

原子吸光光度計による Na, K, Ca および Mg の測定において、それぞれの元素は共存元素の干渉を受けると言われている^{4)~6)}。雨水の測定では Na, K, Ca および Mg が相互に干渉しているものと考えられる。そこで、雨水の含有量程度である 0.01~1 μg/ml レベルで、それぞれの元素について、共存元素の干渉を調べるため、次の実験をした。

Na と K の混合溶液を調製し、原子吸光光度計にかけ、吸光度を求めた。Na と Ca および Mg についても混合溶液を調製し、同様に吸光度を求めた。

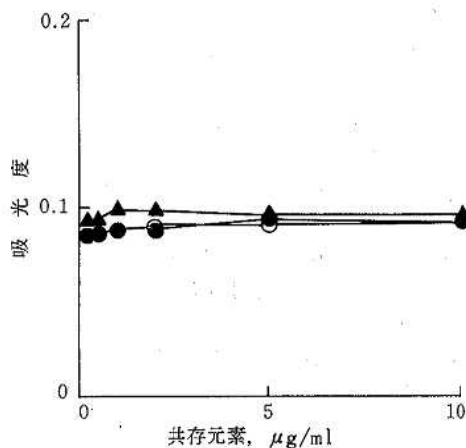


図3 Ca (0.2 μg/ml) に対する共存元素の影響

○ Na, ● K, ▲ Mg

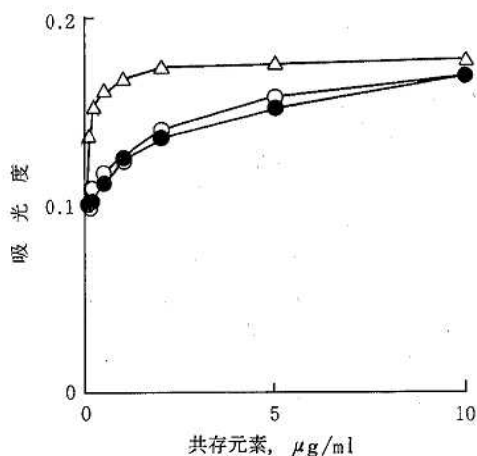


図4 Mg (0.05 μg/ml) に対する共存元素の影響

○ Na, ● K, △ Ca

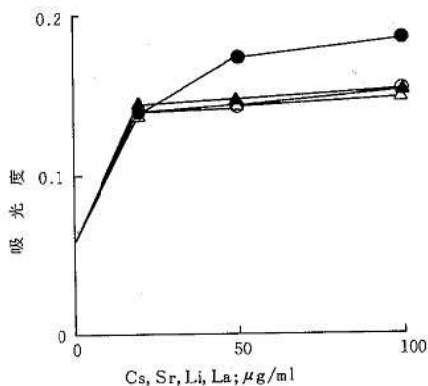


図5 K(0.2 μg/ml)に対するCs, Sr, Li およびLaの添加による吸光度の変化

●-Cs, ○-Sr, ▲-Li, △-La

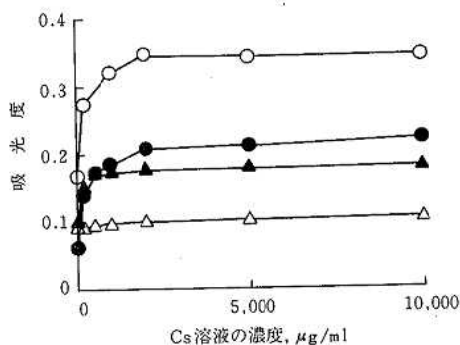


図6 Na(0.2 μg/ml), K(0.2 μg/ml), Ca(0.2 μg/ml) およびMg(0.05 μg/ml)のそれぞれの溶液10mlにCs溶液1mlを添加したときの吸光度の変化

○-Na, ●-K, △-Ca, ▲-Mg

また、K, Ca および Mg のそれぞれについても、共存元素との混合溶液を調製し、原子吸光度計にかけ、吸光度を求めた。

これらの実験結果を図1～図4に示す。全ての元素とも共存元素の干渉を受けており、中でも、Na と K は干渉を大きく受けていた。

この実験から、これら4元素を測定する場合は、共存元素の干渉の相殺など、何らかの対策が必要であることがわかった。

3. 2. 干渉の相殺

原子はフレーム中で、励起、イオン化等の現象が起こる。これらの現象の平衡は、共存元素の種類、量によってずれるため、同一濃度の目的元素を原子吸光度計にかけた場合、共存元素の種類

と量により、得られる吸光度が異なる結果^{4,5)}となる。このため、平衡状態にして干渉を防ぎ、感度をあげる目的で、多量の共存元素、Cs, La, Li あるいは Sr が添加されている^{1),3)-5)}。

このうち共存元素の添加は干渉の相殺には最も確実な利点がある反面、共存元素は他方では測定項目であるので分析操作途中での汚染の問題、および測定項目別の試料調製が必要なため試料量が多くいる欠点がある⁷⁾。

そこで、共存元素の添加にかわるものとして、Cs, La, Li および Sr について検討した。これらの添加元素のうち、雨水の測定に最も適した元素を選択する目的で、Na, K, Ca および Mg のそれぞれと混合溶液を調製し、原子吸光度計にかけた。

この結果、Na, Ca および Mg は Cs, La, Li および Sr の添加による感度の差はほとんどなかったが、図5に示すように、K については Cs の添加により吸光度が最も高くなった。K は雨水中では Mg に次いで低濃度の元素であり、雨水の測定には最も高感度が得られる Cs の添加がすぐれていた。

この Cs の最適添加量を決定するため、Na, K および Ca のそれぞれの元素については 0.2 μg/ml, Mg については 0.05 μg/ml の溶液を調製し、これらの溶液 10ml に対し、Cs 濃度が 0～1,000 μg/ml の溶液 1ml を加えて、よく混ぜ、原子吸光度計にかけ、吸光度を求めた。

この結果を図6に示す。Cs の添加は 2,000～10,000 μg/ml で、Na, K, Ca および Mg のそれぞれの吸光度がほぼ一定で、最も高くなった。そこで、試料 10ml に対して、Cs 濃度が 5,000 μg/ml の溶液を 1ml 加えることとした。

Cs の添加による共存元素の相殺の効果と混合標準液が使用できるかどうかを調べるため、以下の実験を行った。

Na, K および Ca については 0.1, 0.2 および 1 μg/ml, Mg については 0.025, 0.05 および 0.25 μg/ml で、共存元素を段階的に加えた(各 0～2 μg/ml) 混合溶液を調製し、これらの溶液 10ml に対し、Cs 添加液 1ml を加えて、よく振りまぜ、原子吸光度計で吸光度を測定した。

そのうち、K および Mg の測定結果をそれぞれ図7および図8に示す。K, Mg 共にいずれの濃度においても共存元素に影響されないことがわかった。Na と Ca についても同様であった。

また以上の実験で、Cs を添加すれば、標準液

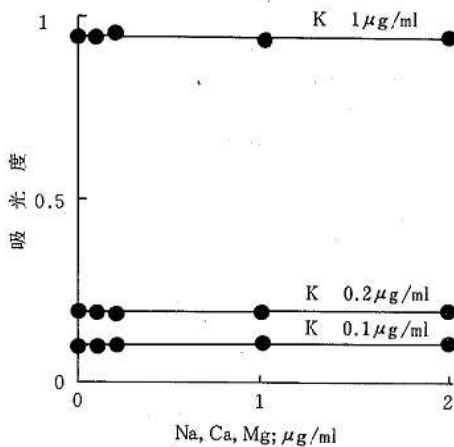


図7 Cs添加によるK(0.1, 0.2, および1 μg/ml)に対する共存元素の干渉の相殺

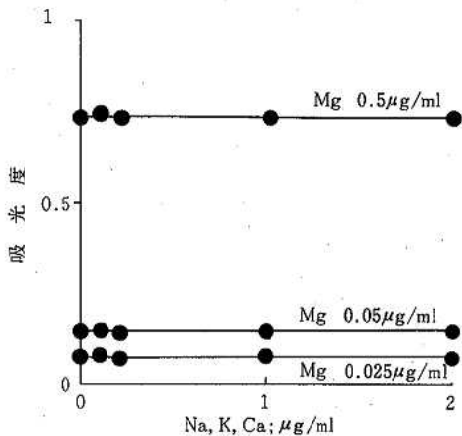


図8 Cs添加によるMg(0.025, 0.05および0.5 μg/ml)に対する共存元素の干渉の相殺

にNa, K, CaおよびMgの混合液を用いてもよいことがわかった。

3. 3. CaおよびMgに対する妨害物質の影響

CaおよびMgの測定には、硫酸イオンとリン酸イオンが妨害するといわれている^{4)~6)}。そこで、雨水の含有量程度での硫酸イオンとリン酸イオンの妨害について調べるため、これらのイオンとCaおよびMgとの混合溶液を調製し、これらの溶液10mlに対し、Cs添加液1mlを加えて、よく振りまぜ、原子吸光度計にかけた。

これらの実験結果のうちCaの場合を図9に示す。Caが0.2および1 μg/mlのとき硫酸イオンは0~50 μg/mlではほとんど妨害しなかった。リン酸イオン(0~50 μg/ml)はCaが0.2 μg/ml

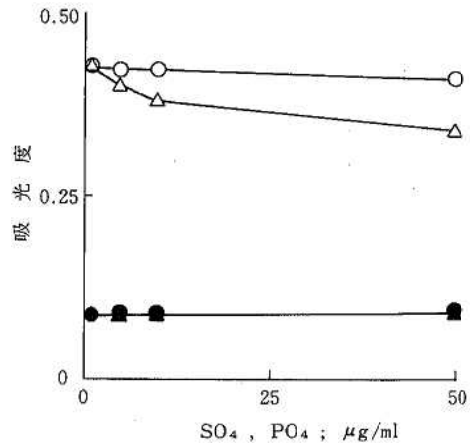


図9 Caに対する硫酸イオンおよびリン酸イオンの影響

○ Ca 1 μg/ml + SO₄²⁻ △ Ca 1 μg/ml + PO₄³⁻
● Ca 0.2 μg/ml + SO₄²⁻ ▲ Ca 0.2 μg/ml + PO₄³⁻

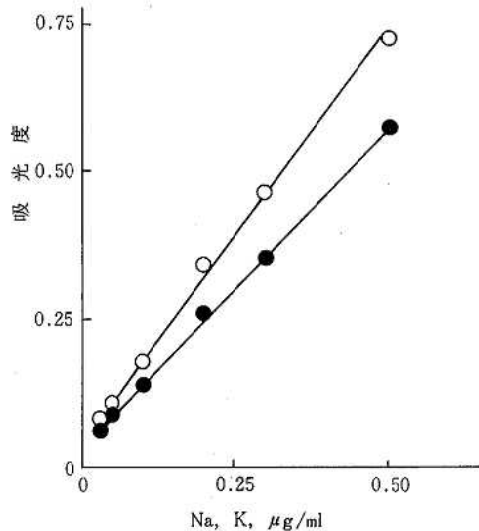


図10 検量線

○ Na, ● K,

では妨害しなかったが、Caが1 μg/mlでは、リン酸イオン濃度が増すにしたがって、吸光度が低下した。しかし、雨水中のリンの濃度は0.014 μg/mlで⁸⁾、リン酸イオンに換算すると0.043 μg/mlであり、この23倍の1 μg/mlでは吸光度は低下していない。

一方、Mgについては、0.05および0.25 μg/mlのとき、硫酸イオンおよびリン酸イオンがいずれも0~50 μg/mlで吸光度の変化はなかった。

3. 4. 検量線

検量線の例を図10に示す。NaとKは0.03~

表2 添加試験

元素	試料	濃度 ($\mu\text{g/ml}$) Av. \pm S.D.***	回収率**** (%)
Na	雨水A*		
	◇ 5 ml + Na (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.139 \pm 0.03	102
	◇ 5 ml + Na (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.171 \pm 0.07	98
	雨水B**		
	◇ 5 ml + Na (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.136 \pm 0.01	102
	◇ 5 ml + Na (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.170 \pm 0.02	102
K	雨水A		
	◇ 5 ml + K (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.117 \pm 0.03	101
	◇ 5 ml + K (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.159 \pm 0.04	97
	雨水B		
	◇ 5 ml + K (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.541 \pm 0.06	97
	◇ 5 ml + K (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.103 \pm 0.01	98
Ca	雨水A		
	◇ 5 ml + Ca (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.149 \pm 0.01	98
	◇ 5 ml + Ca (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.533 \pm 0.03	96
	雨水B		
	◇ 5 ml + Ca (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.520 \pm 0.07	96
	◇ 5 ml + Ca (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.356 \pm 0.13	101
Mg	雨水A		
	◇ 5 ml + Ca (0.2 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.783 \pm 0.11	100
	◇ 5 ml + Ca (1.0 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.491 \pm 0.04	105
	雨水B		
	◇ 5 ml + Mg (0.05 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.021 \pm 0.000	102
	◇ 5 ml + Mg (0.25 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.036 \pm 0.001	102
	◇ 5 ml + Mg (0.05 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.138 \pm 0.002	102
	◇ 5 ml + Mg (0.25 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.037 \pm 0.001	102
	◇ 5 ml + Mg (0.05 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.044 \pm 0.001	102
	◇ 5 ml + Mg (0.25 $\mu\text{g/ml}$) 5 ml	0.147 \pm 0.002	103

* 降雨日: 1984. 6. 28 ** 降雨日: 1984. 7. 11 *** n = 5
 **** 回収率 = (濃度 - 雨水の濃度 / 2) \times 100 / (添加液の濃度 / 2)

0.5 $\mu\text{g/ml}$ でそれぞれ直線となった。一方, Ca および Mg についてもそれぞれ 0.05 ~ 1 $\mu\text{g/ml}$ および 0.01 ~ 0.075 $\mu\text{g/ml}$ で直線となった。S/N = 5 としたときの定量下限は Na と K が 0.03 $\mu\text{g/ml}$, Ca は 0.05 $\mu\text{g/ml}$, Mg は 0.01 $\mu\text{g/ml}$ であった。

3. 5. 添加試験

雨水 5 ml に Na, K, Ca および Mg の混合溶液 5 ml を加え, さらに Cs 添加液 1 ml を加えて, よく振り混ぜ, 原子吸光度計で測定した結果を表 2 に示す。回収率はいずれの元素とも 96 ~ 105% の範囲内であった。

4. まとめ

雨水中の Na, K, Ca および Mg を原子吸光度法により測定するため, 実雨水の含有量程度での検討をおこなった。

雨水中の Na, K, Ca および Mg はいずれも相互に干渉し, なんらかの対策が必要であった。

この対策には Cs の添加が優れていた。

Cs の添加は, 検水 10 ml に対し, 5,000 $\mu\text{g/ml}$ を 1 ml 加えれば, 共存元素の干渉を相殺でき, 高感度が得られた。また, 検量線の作成にあたっては混合標準液を使用できることがわかった。

定量下限は S/N = 5 としたとき, Na と K が 0.03 $\mu\text{g/ml}$, Ca が 0.05 $\mu\text{g/ml}$, Mg が 0.01 $\mu\text{g/ml}$ であった。

本法による 4 項目の測定に必要な試料量は 10 ml あれば十分であった。

これらの実験をとおして, 4 項目の測定に最も注意しなければならないのは分析操作途中での汚染であった。そのため, スピッツ管を使用し, ガラス器具は Na 等による汚染を防ぐため十分洗浄した後使用した。

— 参 考 文 献 —

- 1) 日本規格協会: JIS K 0102 工場排水試験方法, 1982
- 2) 日本分析化学北海道支部編: 新版水の分析, 化学同人, 1973
- 3) APHA, AWWA, WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., 1980
- 4) 不破敬一郎, 下村 滋, 戸田照三: 最新原子吸光分析, 廣川書店, 1980
- 5) 武者宗一郎, 下村 滋: 原子吸光分析, 共立出版, 1974
- 6) 石塚紀夫, 砂原広志: 分析化学, Vol. 21, 264 ~ 270, 1972
- 7) 楠 憲一: 第 11 回全国公害研協議会中国四国支部大気部会講演要旨集
- 8) 菅原 健, 半谷高久: 地球化学入門, 丸善書店, 1987

愛媛県の湖沼の水質

中村 洋祐・園田 浩二

1. はじめに

愛媛県では、新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダム、面河ダム及び鹿野川湖の5湖沼(いずれもダム湖)について環境基準の類型指定がなされている。これら5湖沼について、PH、DO、COD、SS(以下一般項目と言う。)に加え、昭和56年度から、りん、クロロフィルaの調査を実施した。さらに、57年度からは、窒素の調査を加えた。

そこで、56年度から58年度のデータを用いて、各湖沼の総合的な水質評価、富栄養化状態等について、主成分分析及び修正カルソン指数を用いて検討を行った結果を報告する。

2. 調査方法及び5湖沼の概要

2.1. 調査方法

県内5湖沼を図1に示す。これら5湖沼について昭和56年度は、一般項目に加えて、りん、クロロフィルaの調査を5、8、11、2月に実施した。57年度と58年度は、さらに窒素の調査を加え、それぞれ、5、8、11、2月と5、7、11、1月に実施した。

測定方法は次のとおりである。

- 一般項目：環境庁告示第59号の方法
- 全りん(TP)：環境庁告示第140号の方法
- 全窒素(TN)：

クロロフィルa：海洋観測指針の方法

57年度はTPはMentzel法、TNは硝酸亜硝酸態窒素とケルダール窒素の総和法で測定

2.2. 5湖沼の概要

県内5湖沼について、表層(水深0.5m層)の水質を表1に示す¹⁾。

新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダム及び面河ダムは流入河川の流域に、生活排水、工場排水等の汚濁源が少なく²⁾、CODの年間平均値も1.2~1.9(mg/l)と低い。また、PHは年間を通じてほぼ中性の値を示す。

一方鹿野川湖は、上流からの生活排水、畜産排水等の流入負荷も大きく²⁾CODの年間平均値は、

3.4~4.2(mg/l)である。またPHはいくぶんアルカリ性側を示し、DOも他の4湖沼より高い。さらにその水質変動は最も大きい。

全窒素、全りん及びクロロフィルaの平均濃度も表2に示すとおり鹿野川湖は他の湖沼よりも高い。

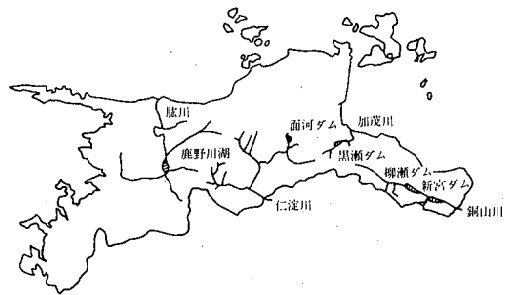


図1 県内5湖沼

表1 県内5湖沼の水質(水深0.5m層)

湖沼名	類型	測定項目	年間平均値			標準偏差		
			56年度	57年度	58年度	56年度	57年度	58年度
新宮ダム	A	PH	7.6	7.8	7.6	0.80	0.83	0.76
		DO	10.4	10.4	9.8	1.02	1.31	1.62
		COD	1.7	1.4	1.7	0.96	0.76	0.88
		SS	1.1	2.2	2.8	0.91	1.70	2.74
柳瀬ダム	A	PH	7.4	7.6	7.6	0.37	0.44	0.68
		DO	10.0	9.9	9.6	1.07	0.78	1.04
		COD	1.2	1.4	1.8	0.36	0.59	0.94
黒瀬ダム	A	SS	1.4	2.2	3.5	2.41	1.63	4.10
		PH	7.6	7.6	7.8	0.42	0.36	0.32
		DO	9.5	9.5	9.3	0.93	0.72	1.24
面河ダム	A	COD	1.9	1.7	1.9	0.51	0.30	0.48
		SS	1.1	1.8	1.0	0.80	1.17	0.50
		PH	7.6	7.7	7.6	0.18	0.26	0.33
		DO	9.4	9.3	9.5	0.95	0.99	1.29
鹿野川湖	B	COD	1.7	1.9	1.8	0.45	0.72	0.67
		SS	0.8	1.0	1.3	0.64	0.50	0.83
		PH	8.6	8.6	8.4	1.15	0.97	1.00
		DO	11.4	11.2	10.7	2.26	2.23	1.81
鹿野川湖	B	COD	4.2	3.8	3.4	2.27	2.53	2.45
		SS	5.4	4.5	4.0	3.09	3.73	1.79

(単位：PH以外はmg/l)

表2 県内5湖沼の全窒素,全りん及びクロロフィルa

湖沼名	項目	56年度平均値	57年度平均値	58年度平均値
新宮ダム	全窒素	—	522	365
	全りん	8.8	9.0	<8
	クロロフィルa	2.4	2.4	4.1
柳瀬ダム	全窒素	—	428	350
	全りん	9.5	<8	<8
	クロロフィルa	1.3	1.6	3.3
黒瀬ダム	全窒素	—	498	560
	全りん	<8	8.5	10.2
	クロロフィルa	1.7	1.6	3.7
面河ダム	全窒素	—	230	315
	全りん	<8	<8	9.5
	クロロフィルa	2.0	2.5	2.8
鹿野川湖	全窒素	—	660	780
	全りん	37.2	29.2	31.0
	クロロフィルa	14.6	10.7	18.1

(単位: $\mu\text{g/l}$)

3. 主成分分析結果

県内5湖沼の特色を知るために、昭和57、58年度の水質測定結果²⁾を用いて主成分分析を行った^{3),4)}。

データは、5湖沼の年4回の測定結果のうち、水深0.5m層のものを用いた。57年度と58年度は一部分分析方法に変更があったので、別々に主成分分析を行った。

3. 1. 昭和57年度の主成分分析結果

相関マトリクスから求めた、固有値、固有ベクトル等を表3に示す。第3主成分までで全変動の88.4%を説明し得ることより、第3主成分までで各湖沼の特色等の検討を行った。

第1主成分は、全りん、PH、COD及びクロロフィルaの因子負荷量が大いことから、植物活性に伴う有機汚濁の状態を示す成分と考えた。また、第2主成分は、全窒素の因子負荷量が大いことから、窒素濃度を示す成分と考えた。第3主成分は、DOの因子負荷量が大いことから、溶存酸素濃度を示す成分と考えた(表3)。

表3の結果から求めたスコアを図2-1、図2-2に示す。この図から鹿野川湖は他の4湖沼と比較して、水質変動が非常に大きいことがわかる。特に鹿野川湖の場合は、第1主成分のスコアが必ずしも夏期に最大値を示していない。これは、クロロフィルa、COD、PH等が通常、夏期に高い値を示すが^{5),6)}、今回は、これらの項目が夏期に最大値を示さなかったためである。第2主成分は、鹿野川湖の変動が最も大きく、逆に面河ダムが最も小さくスコアも小さい。このことは図3の全窒素濃度の変化からも明らかである。次に第3主

成分の変化は鹿野川湖が最も大きく、他の4湖沼は、ほぼ同じ大きさである。また、その変化のパターンは図4のDOの変化と同じである。すなわち、溶存酸素量は、8、11月に低く、5、2月に高い。

これら年4回の測定値から求めたスコアの平均値を、図5-1、図5-2にプロットした。図2-1、図2-2、図5-1、図5-2から57年度の5湖沼を分類すると、次のようになる。

- 植物活性に伴う有機汚濁が高く、窒素濃度の高い湖沼: 鹿野川湖
- 植物活性に伴う有機汚濁は低いが、窒素濃度の高い湖沼: 新宮ダム, 柳瀬ダム, 黒瀬ダム
- 植物活性に伴う有機汚濁が低く、窒素濃度の低い湖沼: 面河ダム

表3 57年度主成分分析結果

主成分項目	第1主成分		第2主成分		第3主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
PH	0.446	0.925	-0.252	-0.270	-0.002	-0.002
DO	0.330	0.684	-0.032	-0.391	0.751	0.647
COD	0.408	0.847	-0.366	-0.392	-0.305	-0.263
SS	0.365	0.757	0.162	0.173	-0.436	-0.376
全りん	0.448	0.930	-0.011	-0.012	-0.181	-0.156
全窒素	0.158	0.328	0.856	0.913	-0.101	-0.087
クロロフィルa	0.408	0.847	0.204	0.218	0.330	0.284
固有値	4.30		1.15		0.74	
累積寄与率	61.4		77.8		88.4	

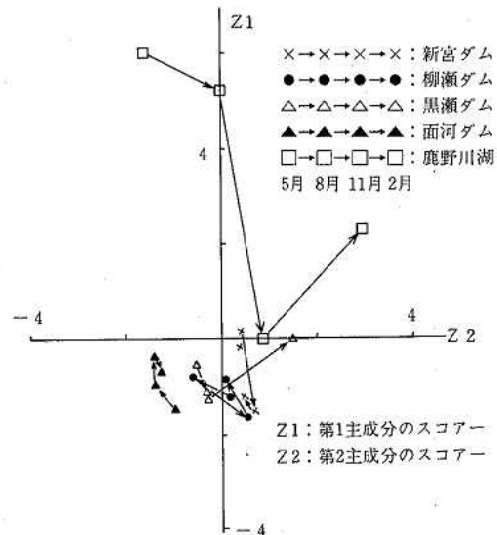


図2-1 57年度スコア散布図

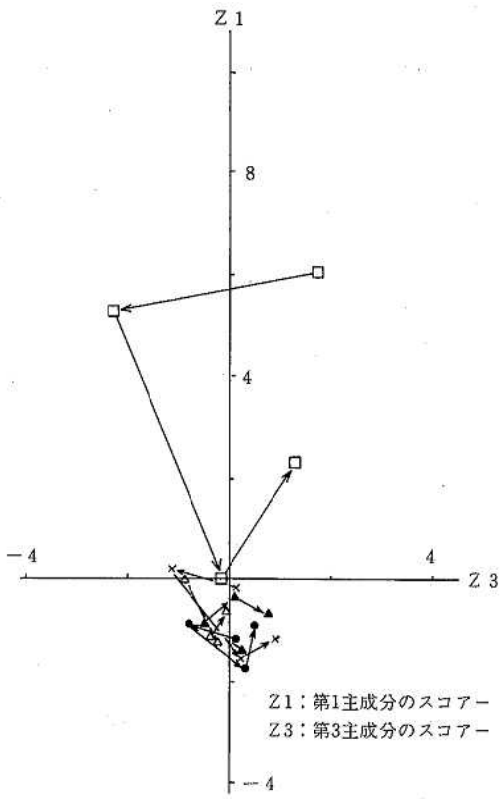


図 2-2 57年度スコア散布図

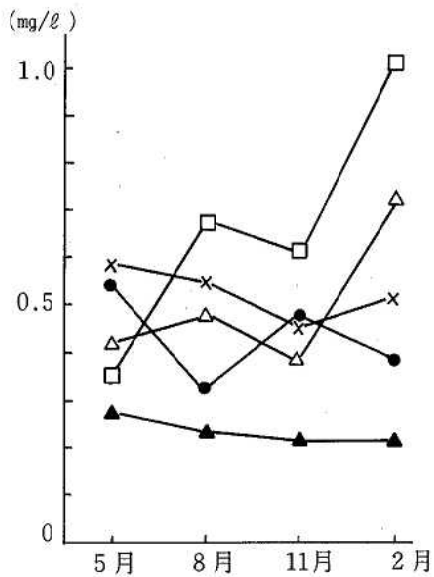


図 3 57年度全窒素濃度の変化

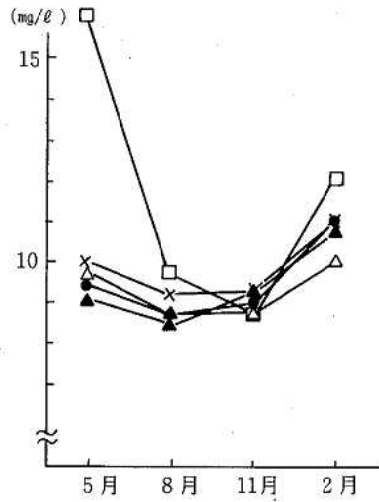


図 4 57年度DOの変化

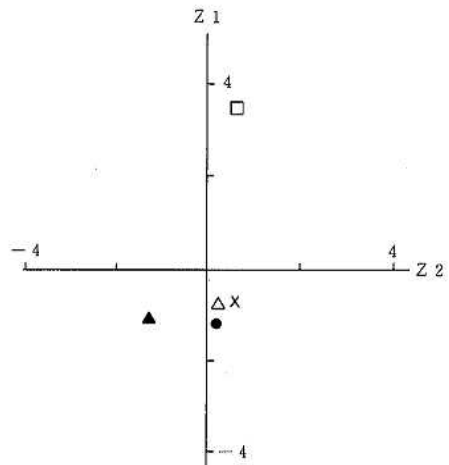


図 5-1 57年度スコアの平均値

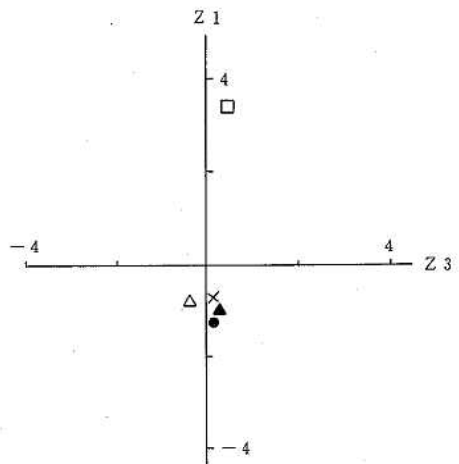


図 5-2 57年度スコアの平均値

3. 2. 昭和58年度の主成分分析結果

固有値、固有ベクトル等の値を表4に示す。第2主成分までで全変動の87.8%を説明し得ることから、第2主成分までで、各湖沼の特色等の検討を行った。

第1主成分は、クロロフィルa、COD、全りん及びSSの因子負荷量が多いことから、57年度とほぼ同様に、植物活性に伴う有機汚濁を示す成分と考えた。第2主成分は、PHと全窒素の因子負荷量が多いことからPHと窒素濃度の変化を示す成分と考えた。すなわち、5湖沼のPHの平均値が7.8であることから、アルカリ性側で全窒素濃度が低ければ、スコアは負となり、逆の場合は正となる。

表4から求めたスコアを図6に示す。57年度と同様に、鹿野川湖は他の4湖沼と比較して、水質変動が大きい。特に7月のZ1のスコアが大きいのは、COD、クロロフィルa、全りん及びSSがともに高かったことを反映している。

全窒素(図7)、PH(図8)の変化とともに、第2主成分の変化を見ると、全てマイナス側からプラス側に変化している。これは季節が進むにつれて全窒素濃度が上がりPHがいくぶん下降気味になっているためである。

5湖沼のスコアの平均値を図9にプロットした。図6、図9から58年度の5湖沼を分類すると、次のようになる。

- ・植物活性に伴う有機汚濁が高く、窒素濃度の高い湖沼：鹿野川湖
- ・植物活性に伴う有機汚濁が低く、窒素濃度の低い湖沼：新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダム、面河ダム

これら4湖沼のうち、黒瀬ダムは窒素濃度がいくぶん高い。

表4 58年度主成分分析結果

主成分 項目	第1主成分		第2主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
PH	0.309	0.715	-0.589	-0.522
DO	0.368	0.854	-0.175	-0.155
COD	0.408	0.946	-0.171	-0.151
SS	0.407	0.943	-0.013	-0.012
全りん	0.408	0.946	0.216	0.191
全窒素	0.302	0.701	0.738	0.654
クロロフィルa	0.423	0.980	0.024	0.021
固有値	5.37		0.78	
累積寄与率	76.7		87.8	

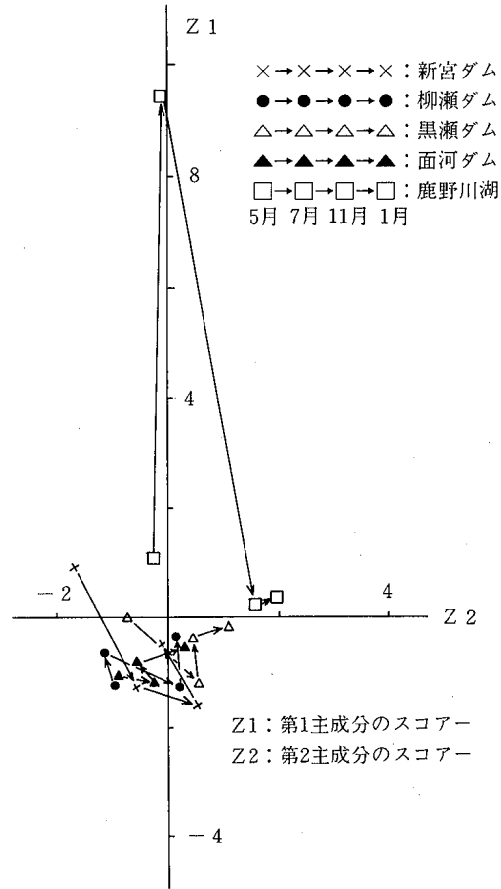


図6 58年度スコア散布図

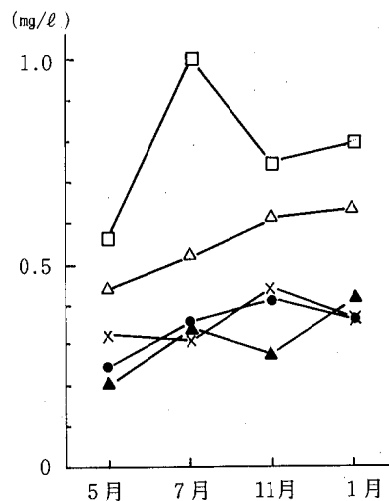


図7 58年度全窒素濃度の変化

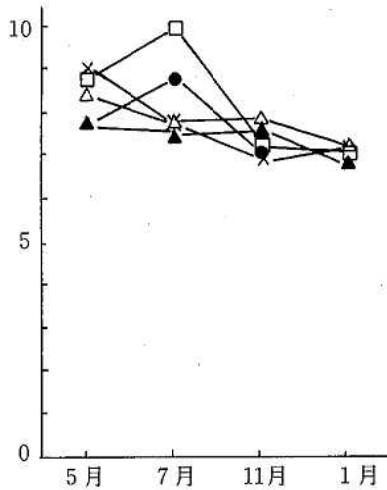


図8 58年度PHの変化

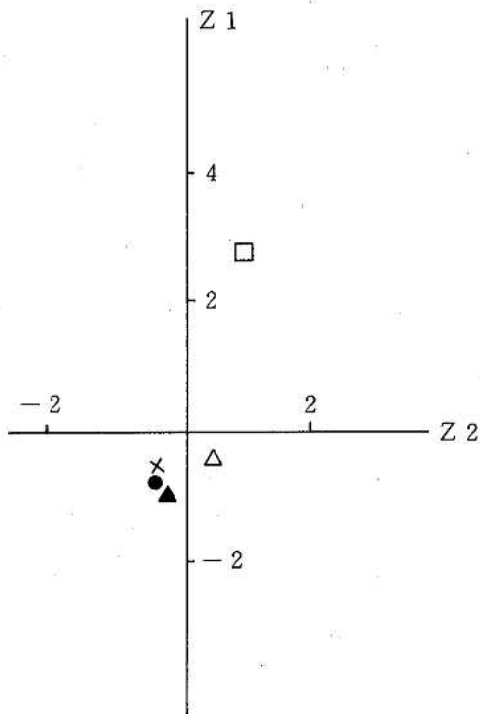


図9 58年度スコアの平均値

3. 3. 57・58年度の主成分分析結果

両年度の主成分分析結果から、5湖沼は、COD、全りん、クロロフィルa等の植物活性に伴う有機汚濁の状態と窒素濃度により次のように分類できる。

- 植物活性に伴う有機汚濁が高く、窒素濃度も高い湖沼：鹿野川湖
- 植物活性に伴う有機汚濁が低く、窒素濃度も低い湖沼：面河ダム
- 植物活性に伴う有機汚濁が低く、窒素濃度は前二者の中間的濃度の湖沼：新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダム

両年度ともCOD、全りん、クロロフィルa等が第1主成分となり、全窒素はこれらの項目とは異なった成分として分離される。これは、富栄養化により植物プランクトンが増殖し、CODが増加し、光合成によりPHが増加するものと考えられる。また、全窒素が別の成分として分離することから、5湖沼は、窒素が過剰にあり、植物プランクトン増殖の制限因子は、窒素よりむしろりんと考えられる。このことは、全窒素と全りんの濃度比(N/P比)からも言えることである。通常、植物プランクトン増殖に必要な窒素、りんはN/P比で10から25と考えられているが⁷⁾、どの湖沼もほとんどN/P比は25以上である。

4. 修正カルソン指数

以上の主成分分析の結果において、富栄養化状態を示す測定項目が第1主成分として分離していることから、さらに、各湖沼の富栄養化状態について、検討を行った。

富栄養化状態の分類方法については、種々報告されているが、ここでは、修正カルソン指数⁸⁾(以下TSIと言う)を用いて検討を行った。これはカルソン⁹⁾によって考え出されたものを相崎らが日本の湖沼に適用できるように修正したものである。クロロフィルaの濃度を基準に、クロロフィルaと透明度、全りん濃度の回帰式から次の式によって求められる。

$$TSI(CHL) = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln(CHL)}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI(S.D) = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln(S.D)}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI(TP) = 10 \times \left(2.46 + \frac{6.71 + 1.15 \ln(TP)}{\ln 2.5} \right)$$

(CHL : クロロフィルa濃度 (μg/l)
 (S.D : 透明度 (m)
 (TP : 全りん濃度 (mg/l)

これらの式より、56年から58年度の冬期以外のデータを用いてTSI指数を求め、表5に示す。新宮ダム、黒瀬ダムについては、3種類のTSI

表5 県内5湖沼のTSI

湖沼名	TSI(CHL)		TSI(S.D)		TSI(TP)		56年度平均値			57年度平均値			58年度平均値		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	TSI(CHL)	TSI(S.D)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(S.D)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(S.D)	TSI(TP)
新宮ダム	34.1	8.2	45.3	5.0	37.8	7.3	30.3	42.4	35.6	34.7	44.4	40.6	37.1	49.3	37.3
柳瀬ダム	29.6	5.9	—	—	35.0	4.6	27.4	—	39.2	28.6	—	32.0	32.7	—	34.1
黒瀬ダム	32.4	6.4	46.9	5.4	36.0	4.4	31.0	44.3	32.1	29.6	47.1	37.3	36.8	49.4	38.4
面河ダム	33.3	4.6	39.1	3.8	32.9	4.5	31.0	36.9	28.7	33.9	38.6	31.4	34.9	41.6	38.7
鹿野川湖	50.6	9.3	58.1	7.1	55.2	5.5	49.8	57.7	57.5	49.3	57.8	54.0	52.6	58.9	54.3

指数のうち、TSI (S.D) が最も高い値を示している。これは、これらの湖沼においては、植物プランクトンの増殖の透明度に及ぼす影響よりも無機性の濁りによる影響の方が大きいと思われる。

次に、これら TSI 指数間の相関係数を求めると TSI (CHL) と TSI (S.D) で0.75, TSI (CHL) と TSI (TP) で0.71, TSI (S.D) と TSI (TP) で0.80となり、全て1%の危険率で有意であった。さらに図10～図12に示すとおり、一部の湖沼において TSI (S.D) がいくぶん高く出るが、3種類の TSI 間には、ほぼ1対1の対応が見られる。よって県内5湖沼についても相崎らが導いた関係がほぼ成り立つものと思われる。

そこで表5に示した TSI 指数を表6⁸⁾を用いてその富栄養化状態を分類すると次のようになる。

- ・富栄養湖：鹿野川湖
- ・貧栄養湖：新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダム、面河ダム

表6 TSIによる富栄養化状態の分類⁸⁾

	TSI(CHL)	TSI(S.D)	TSI(TP)
富栄養湖	42～52以上	48～53以上	49～52以上
貧栄養湖	32～46以下	39～43以下	40～45以下

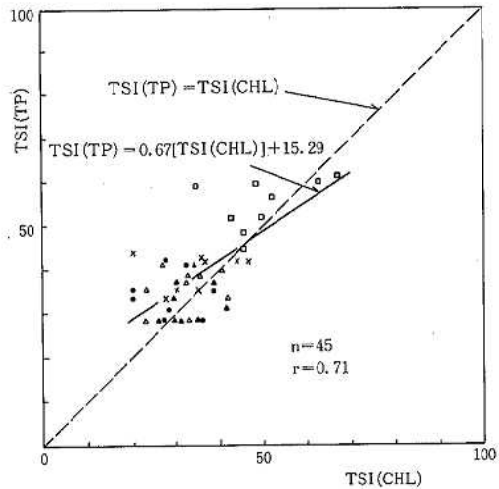


図11 TSI(CHL)とTSI(TP)の関係

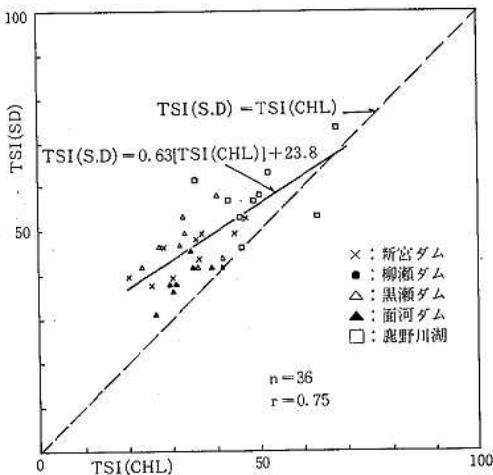


図10 TSI(CHL)とTSI(S.D)の関係

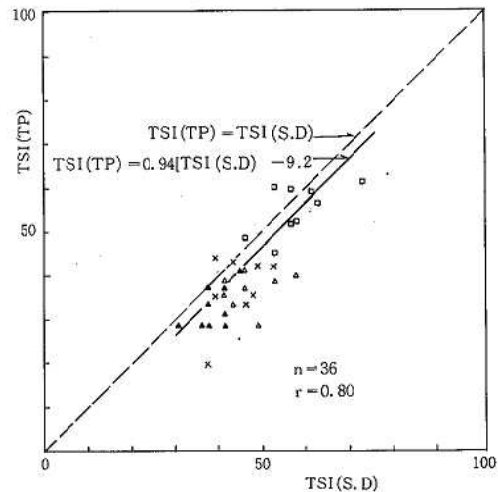


図12 TSI(S.D)とTSI(TP)の関係

5. ま と め

昭和56年から58年度の県内5湖沼の水質測定結果を主成分分析及び修正カールソン指数を用いて水質評価を行ったところ、次のことがわかった。

- (1) 主成分分析の結果、県内5湖沼は、植物活性に伴う有機汚濁と窒素濃度により特徴付けることができる。

鹿野川湖は植物活性に伴う有機汚濁が高く、窒素濃度も高い湖沼であり、面河ダムは植物活性に伴う有機汚濁が低く、窒素濃度も低い湖沼である。また、新宮ダム、柳瀬ダム、黒瀬ダムは、植物活性に伴う有機汚濁は低いが窒素濃度については前二者のほぼ中間的な湖沼と思われる。

- (2) 修正カールソン指数を用いて検討を行ったところ、鹿野川湖は富栄養湖、他の4湖沼は貧栄養湖と考えられる。

今後蓄積されるデータに対して、主成分分析をふくめて、他の解析方法を用いて、検討を行いたいと考えている。また、今後は、富栄養化によっ

て生ずる淡水赤潮等の利水障害の原因がプランクトンである以上、理化学的調査に加えてプランクトン調査が必要と考えている。

— 参 考 文 献 —

- 1) 愛媛県：公共用水域の水質測定結果，昭和56年度～58年度版
- 2) 愛媛県：環境白書，昭和56年～58年度版
- 3) 河口至商：多変量解析入門Ⅰ，森北出版（1973）
- 4) 奥野忠一他：続多変量解析法，日科技連（1976）
- 5) 浅野淑子他：愛媛県公害技術センター所報第4号（1982）
- 6) 浅野淑子他：愛媛県公害技術センター所報第5号（1983）
- 7) 日本水質汚濁研究会編：湖沼環境調査指針
- 8) 環境庁：環境庁国立公害研究所研究報告第23号（1981）
- 9) Robert. E. Carlson : Limnology and Oceanography, 1977 V 22 (2) p.361~369

小野川水系の水質汚濁調査

園田 浩二・中村 洋祐

1. はじめに

県内公共用水域の水質汚濁の状況は、工場・事業場排水の排水規制の効果もあって、全般に改善の傾向を示しているが、市街部を流れる中小河川においては、依然として水質汚濁の著しいものが見られる¹⁾。

最近では、このような中小河川の水質浄化が、河川全体の水質を改善するうえでの課題となっている。

そこで、著者等は、中小河川の水質浄化対策の基礎資料を得る目的で、松山市の市街部を貫流する小野川水系の水質調査を実施した。

この調査結果を用いて、小野川水系の水質特性を検討したところ、若干の知見を得たので報告する。

2. 調査の概要

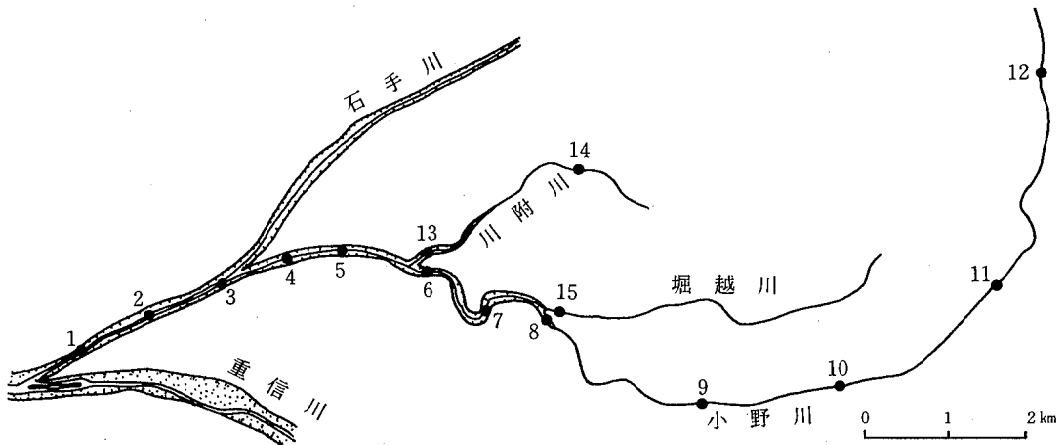
2. 1. 小野川の概況及び調査地点

小野川は、図1に示すとおり、小野谷にその源を発し、途中で堀越川、川附川を合せて、松山市市坪町で石手川に合流するまでの河川で、その流路長は約15.2km、流域面積は約40km²である。

流域内の人口は約76,600人、浄化槽数は約13,800基でいずれもSt 9から下流域に集中している。

また、流域には、工場や養豚などの畜産業の立地はほとんどみられず、小野川に対する主要汚濁発生源は生活排水とみられる。

調査は、小野川本川10地点 (St 3～12)、石手川2地点 (St 1, 2)、川附川2地点 (St 13, 14) 及び堀越川1地点 (St 15) の合計15地点で実施



- | | | |
|----------|---------|-----------|
| 1. 焼却場前 | 6. 山之内橋 | 11. 駄場橋 |
| 2. 野球場前 | 7. 星岡橋 | 12. 小野谷 |
| 3. 市坪橋 | 8. 落合橋 | 13. こうた橋 |
| 4. 南下河原橋 | 9. 遍路橋 | 14. 三町県道下 |
| 5. 精農橋 | 10. 平水橋 | 15. 落合橋付近 |
- (図中の数字は地点番号を示す。)

図1 調査地点図

した。

調査地点の状況は、St 12から St 10付近までは、ほとんどが自然の堤防であり、流水域には葦や葎などが繁っていた。

St 9から下流域は、一部を除き人工の堤防であるが、土手には、低草木が繁っており、河床には St 4 から St 1 においてミズワタがみられる以外は緑藻類がみられた。

また、St 14から St 13までは、そのほとんどが人工堤防でできており、河床にはミズワタが多量にみられた。

一方、St 15付近は、自然堤防であり、河床には緑藻類がみられた。

なお、調査時においては、市坪橋上流域の石手川には水は流れておらず、St 2 及び St 1 については、小野川からの流水のみであった。

2. 2. 調査項目及び調査日

調査項目及び測定方法は、表 1 に示すとおりで、調査は、昭和58年11月9日及び同月16日の2回実施した。

表 1 調査項目及び方法

項 目	測 定 方 法
PH	J I S K 0 1 0 2
DO	
COD	
BOD	
TOC	
T-P	環境庁告示第140号
T-N	
MBAS	浅野淑子等の方法 ²⁾
クロロフィル a	海洋観測指針
Cl ⁻	モール法
コレステロール	越智久尚等の方法 ³⁾
コプロスタノール	
流 量	J I S K 0 0 9 4

3. 調査結果及び考察

3. 1. 調査結果

調査結果を表 2 及び表 3 に示す。

表に示したとおり2回の調査結果ともほぼ同じ傾向を示しているのので、以下16日の調査結果を中心に述べる。

pHは最大9.6、最小7.3、平均8.0で全体にアル

カリ性を呈し、小野川中流域において高い値を示している。

DOは最大21.7mg/l、最小3.8mg/l、平均11.7mg/lでやはり小野川中流域において高い値を示している。

COD、BOD及びTOCは、それぞれ最大14mg/l、16mg/l及び17mg/l、最小0.6mg/l、<0.5mg/l、3mg/l及び平均7.6mg/l、6.2mg/l及び9.5mg/lでいずれもSt 13及びSt 14において高い値を示している。

T-Pは最大1.2mg/l、最小0.01mg/l、平均0.47mg/lでSt 13において特に高い値を示している。

T-Nは最大5.7mg/l、最小0.31mg/l、平均3.0mg/lでSt 13、St 14及びSt 15において高い値を示している。

MBASは最大2.1mg/l、最小<0.01mg/l、平均0.62mg/lでSt 13において特に高い値を示している。

クロロフィル a は最大38mg/m³、最小1mg/m³、平均14mg/m³で小野川下流域と石手川において高い値を示している。

Cl⁻は最大35mg/l、最小3mg/l、平均21mg/lでSt 1、St 5及びSt 13において高い値を示している。

コレステロール及びコプロスタノールは、それぞれ最大33.6mg/m³、11.6mg/m³、最小0.22mg/m³、<0.01mg/m³、平均14.4mg/m³、4.66mg/m³でSt 13において特に高い値を示している。

流量はSt 5が最大で28m³/min、St 12が最小で0.5m³/min、平均は9.4m³/minで流下に伴い増加しているがSt 4から下流では徐々に減少している。

3. 2. 調査項目間の相関

各項目間の関連性を検討するために、相関係数を求めて表 4 及び表 5 に示す。

生活雑排水指標のMBAS、し尿指標のコプロスタノール、有機汚濁指標のCOD、BOD、TOC、T-P、T-N及びコレステロールの相互間に強い正の相関があることから、小野川水系に対する主要汚濁源は、生活排水であると考えられる。

また、pHとDOに正の相関があり、大半の地点でpHはアルカリ側で、かつ、DOは過飽和の状態であることから、小野川水系においては、着床植物による光合成がさかんに行われていると考えられる。

一方、クロロフィル a と流量については、他の

表2 水質調査結果 (昭和58年11月9日)

項目 地点 番号	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TOC (mg/l)	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)	MBAS (mg/l)	クロロフ イル (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	コレステ ロール (mg/ml)	コプロス タノール (mg/ml)	流 量 (ml/min)
1	7.5	11.5	6.6	4.2	8	0.37	2.3	0.23	25	34	9.11	2.21	2.6
2	9.0	19.3	8.5	5.5	9	0.54	2.7	0.40	41	29	15.2	3.58	3.7
3	7.6	12.9	8.2	6.4	9	0.46	3.3	0.43	23	26	11.2	2.61	8.8
4	7.3	7.6	9.9	9.8	10	0.59	4.3	1.3	13	27	23.0	6.62	14
5	7.5	7.8	9.9	8.9	11	0.72	4.9	1.2	9	35	27.2	8.63	35
6	9.4	16.0	8.2	5.4	9	0.49	3.9	0.30	31	27	11.5	3.46	12
7	7.7	8.8	6.7	4.0	8	0.48	4.2	0.26	8	27	11.8	2.54	14
8	9.6	18.1	5.8	3.2	6	0.34	2.5	0.21	8	29	9.31	3.46	5.0
9	9.9	23.3	6.1	2.4	5	0.31	1.7	0.26	15	21	6.87	1.08	3.0
10	8.9	13.3	2.5	1.6	4	0.08	0.53	0.10	3	13	2.55	0.18	0.6
11	8.1	11.0	1.6	1.3	2	0.04	0.44	0.02	2	9	0.51	<0.01	0.3
12	7.8	10.7	1.0	<0.5	2	0.02	0.37	<0.01	<1	7	0.23	<0.01	0.7
13	7.5	3.2	12.6	12.8	16	0.94	6.3	2.2	9	38	45.5	13.2	9.9
14	7.4	6.5	7.9	5.5	8	0.64	1.7	0.83	2	24	14.1	5.37	3.2
15	8.8	7.3	9.0	6.4	12	0.57	1.9	0.72	7	25	25.1	6.79	6.7
平均	8.3	11.8	7.0	5.2	8	0.43	2.7	0.56	13	25	14.2	3.98	8.0

表3 水質調査結果 (昭和58年11月16日)

項目 地点 番号	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TOC (mg/l)	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)	MBAS (mg/l)	クロロフ イル a (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	コレステ ロール (mg/ml)	コプロス タノール (mg/ml)	流 量 (ml/min)
1	8.6	14.4	9.1	6.0	11	0.59	3.0	0.59	25	29	18.2	4.75	15
2	8.5	14.6	9.6	7.6	11	0.56	3.3	0.70	38	25	16.7	5.61	15
3	7.7	11.1	11	8.2	12	0.61	3.7	0.88	35	22	23.2	6.58	21
4	7.4	7.5	9.9	11	12	0.64	3.8	1.3	22	26	16.7	6.83	21
5	7.3	6.3	8.0	9.8	11	0.66	4.2	0.96	17	31	21.4	7.56	28
6	8.7	16.0	7.3	4.0	9	0.51	3.4	0.24	27	23	11.7	5.49	8.6
7	7.6	8.7	7.1	4.2	9	0.52	3.4	0.18	8	22	11.7	3.90	11
8	9.2	18.7	5.1	5.1	8	0.34	2.5	0.28	14	25	8.86	3.29	4.4
9	9.6	21.7	2.9	1.6	6	0.21	1.7	0.05	7	17	5.16	0.82	2.7
10	7.7	12.4	1.7	1.1	5	0.09	1.7	0.14	2	9	3.53	0.23	0.6
11	7.8	11.4	0.6	0.6	4	0.03	0.74	0.02	5	5	0.67	<0.01	0.5
12	7.8	10.8	14	<0.5	3	0.01	0.31	<0.01	<1	3	0.22	<0.01	0.7
13	7.4	3.8	14	16	17	1.2	5.7	2.1	8	35	33.6	11.6	5.2
14	7.4	7.4	10	12	13	0.61	4.7	1.2	2	20	23.7	6.14	2.8
15	8.3	11.4	8.4	5.8	11	0.50	4.7	0.69	3	21	20.5	7.15	4.5
平均	8.0	11.7	7.6	6.2	9.5	0.47	3.0	0.62	14	21	14.4	4.66	9.4

表4 項目間の相関(昭和58年11月9日)

DO	** .814												
COD	-.223	-.327											
BOD	-.417	*-.531	** .936										
TOC	-.281	-.475	** .959	** .936									
T-P	-.269	-.404	** .980	** .943	** .970								
T-N	-.315	-.360	** .859	** .872	** .840	** .902							
MBAS	-.447	*-.623	** .818	** .937	** .842	** .855	* .767						
クロロフィルa	-.255	.487	.376	.196	.280	.297	.287	-.070					
Cl ⁻	-.175	-.189	** .882	** .780	** .847	** .883	** .833	* .633	.450				
コレステロール	-.323	*-.561	** .890	** .945	** .942	** .937	** .815	** .951	.058	** .745			
コプロスタノール	-.347	*-.595	** .872	** .936	** .913	** .919	** .795	** .958	-.009	** .736	** .984		
流量	-.313	-.329	* .564	* .593	.525	* .622	** .715	.496	.046	* .554	* .534	* .559	
	pH	DO	COD	BOD	TOC	T-P	T-N	MBAS	クロロフィルa	Cl ⁻	コレステロール	コプロスタノール	

n = 15

* 有意水準 5%

** 有意水準 1%

表5 項目間の相関(昭和58年11月16日)

DO	** .948												
COD	-.206	-.407											
BOD	-.449	*-.628	** .923										
TOC	-.308	-.508	** .979	** .948									
T-P	-.310	-.529	** .962	** .924	** .971								
T-N	-.337	-.529	** .949	** .907	** .964	** .940							
MBAS	-.496	*-.675	** .866	** .973	** .914	** .896	** .854						
クロロフィルa	.169	.178	.461	.257	.366	.355	.265	-.176					
Cl ⁻	.015	-.232	** .932	** .786	** .865	** .895	** .846	** .705	.495				
コレステロール	-.357	*-.552	** .936	** .928	** .979	** .948	** .951	** .906	.313	** .819			
コプロスタノール	-.343	*-.557	** .947	** .918	** .961	** .963	** .954	** .896	.353	** .857	** .959		
流量	-.279	-.274	* .547	.444	.468	.468	.434	.368	** .729	* .580	.476	.502	
	pH	DO	COD	BOD	TOC	T-P	T-N	MBAS	クロロフィルa	Cl ⁻	コレステロール	コプロスタノール	

n = 15

* 有意水準 5%

** 有意水準 1%

項目とはほとんど相関がなく特徴的なことは見出せなかった。

3. 3. 主成分分析^{4),5)}

調査結果を少数の総合指標に要約し、状況を把握しやすくするため主成分分析を適用した。

主成分分析を行った項目は、pH、DO、COD、T-P、T-N、MBAS、クロロフィルa及びコプロスタノールで、各測定値の相関行列から主成分を計算した。

3. 3. 1. 主成分因子の推定

主成分分析の結果を表6及び表7に示す。

第1主成分に対する因子負荷量は、COD、T-P、

T-N、MBAS及びコプロスタノールが0.93以上で正に寄与し、累積寄与率は、67%で全特性値の大半を説明しており、かつ、これらの項目が有機汚濁及び生活排水の指標であることを考えると、第1主成分は、生活排水に起因する有機汚濁度を表すものと考えられる。

また、クロロフィルaの因子負荷量が小さいことは、植物プランクトンが有機汚濁には関係していないと思われる。

第2主成分に対する因子負荷量は、pH、DO及びクロロフィルaが0.70以上で正に寄与しており、これらの項目が植物活動及び植物量の指標で

表6 主成分分析結果 (昭和58年11月9日)

項目	第1主成分		第2主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
PH	-0.222	-0.497	0.467	0.653
DO	-0.282	-0.631	0.520	0.728
COD	0.409	0.915	0.250	0.350
T-P	0.425	0.951	0.196	0.274
T-N	0.396	0.886	0.181	0.253
MBAS	0.422	0.944	-0.071	-0.100
クロロフィルa	0.041	0.092	0.609	0.852
コプロスタノール	0.428	0.958	-0.004	-0.006
固有値	4.99		1.95	
累積寄与率	62.4%		86.9%	

表7 主成分分析結果 (昭和58年11月16日)

項目	第1主成分		第2主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
PH	-0.219	-0.507	0.587	0.782
DO	-0.296	-0.687	0.526	0.701
COD	0.404	0.937	0.239	0.318
T-P	0.416	0.963	0.133	0.178
T-N	0.409	0.949	0.096	0.128
MBAS	0.408	0.945	-0.056	-0.075
クロロフィルa	0.131	0.303	0.526	0.700
コプロスタノール	0.418	0.970	0.112	0.150
固有値	5.36		1.77	
累積寄与率	67.0%		89.2%	

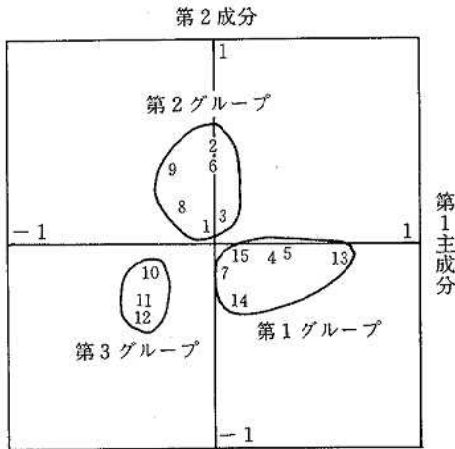


図2 第1-2主成分スコア散布図(昭和58年11月9日)

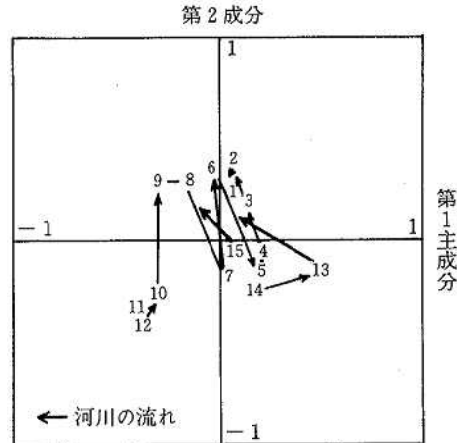


図3 第1-2主成分スコア散布図(昭和58年11月16日)

あることから、第2主成分は、植物の活性を表すものと考えられる。

3. 3. 2. 水質の特性

第1-2主成分のスコア散布図を図2及び図3に示す。

前項で検討した結果、第1主成分と第2主成分で調査結果の約90%が説明できるので、この2成分を用いて、小野川水系の水質特性を検討した。

図2に示すとおり、調査地点は、3グループに分類することができる。

第1グループは、生活排水に起因する有機汚濁の著しいグループでSt 4, St 5, St 7, St 13, St

14及びSt 15がこれにあたる。

第2グループは、生活排水に起因する有機汚濁は、中程度で植物活性に伴う水質変動があるグループでSt 1, St 2, St 3, St 6, St 8及びSt 9がこれにあたる。

第3のグループは、生活排水に起因する有機汚濁も植物活性に伴う水質変動もないグループでSt 10, St 11及びSt 12がこれにあたる。

また、図3に示した矢印の動きから、小野川本川の水質に対して、堀越川 (St 15) 及び川附川 (St 13) が大きな影響をあたえていること及び小野川本川下流から石手川にかけて河川水質の浄化が行われていることが読みとれる。

4. ま と め

汚濁の著しい中小河川の水質浄化対策の基礎資料を得る目的で、小野川水系の水質調査を実施し、その結果を用いて、相関分析及び主成分分析を行ったところ次の知見が得られた。

- (1) 相関分析の結果から、小野川水系に対する主要汚濁発生源は、生活排水であること及び調査地点の大半で着床植物による光合成がさかんに行われていることが推察された。
- (2) 主成分分析の結果、第1主成分は、生活排水に起因する有機汚濁度を、第2主成分は、植物活性を表わすもので、小野川水系においては、この2成分で水質特性の約90%が説明できた。
- (3) 第1主成分と第2主成分を用いて小野川水系

の水質は、3グループに分類することができた。

また、堀越川及び川附川が小野川本川の水質に対し大きな影響をあたえていること、及び小野川本川下流から石手川にかけて河川水質の浄化が行われていることが推察された。

—参 考 文 献—

- 1) 愛媛県：環境白書，昭和58年版
- 2) 浅野淑子ほか：愛媛県公害技術センター所報 第2号 昭和54年
- 3) 越智久尚ほか：愛媛県公害技術センター所報 第2号 昭和54年
- 4) 奥野忠一ほか：多変量解析法(改)，日科技連
- 5) 奥野忠一ほか：続多変量解析法，日科技連

尻無川の水質調査

東予支所 山路 岩 男・山 本 英 夫
碓 井 英 男・井 上 智

1. はじめに

近年、生活様式の向上等に伴い、家庭からの生活排水や浄化槽排水などで農業用水路、側溝の清浄さが保たれず、その流入先の清流が汚濁する原因の一つになっていると言われている。新居浜市においても、市内小河川の水質について、関心が高まっているところである。

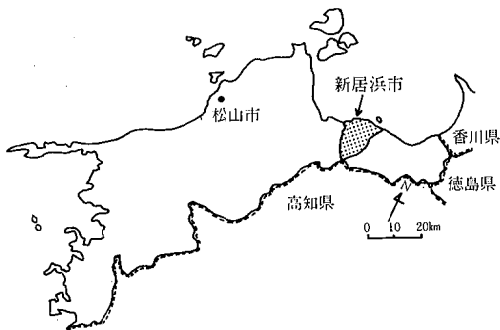
今回は、市民の生活の場となっている中心を流れる尻無川の水質実態を把握するため、pH、COD、SSなどについて調査したのでその結果を報告する。

2. 調査流域及び調査方法

2. 1. 調査流域の概況

尻無川¹⁾は、愛媛県北東部の新居浜市に位置し、源を四国山地の辻ヶ峰（標高957.9m）に発して険しいV字谷の山間部を流下し、金子山地と新居浜東部山地の間の平野を直線的に北流して、新居浜港に達し燧灘に注いでいる市内の水系を構成する重要な2級河川である。流路総延長は6.0km、流域面積8.6km²で、河床平均勾配約1/50と非常に急であり、台風、降雨時には、河川水が急増する。

調査流域内における人口は、約6万人で、全市の約45%であり、下水道普及率は約8%（昭和58年12月末現在）となっている。



愛媛県略図

2. 2. 尻無川水系の構成

水系は図1に示すとおり、尻無川（以下本流という。）支流の深谷川、農業用水路及び下水路（以下排水路という。）の流入口61ヶ所、取水口9ヶ所となっている。本流の上流部は、水が地下に伏流し枯れた状態であるため、主な水源は、国領川のえん堤（通称井関という。）からの分水、泉水などとなっている。

また、本流へ通じるいくつかの農業用水路があり、これが農業用排水、生活排水及び下水などの汚濁排水の移送路となって本流に入っている。

2. 3. 調査方法

調査地点を図2と図3に示す。調査は本流の流量及び海水の影響を考慮し、松木橋から下流の宮辺橋までの本流9地点（うち7地点は、各排水路水の流入前で採水した）、排水路7地点で行った。

調査時期は、全地点一斉調査を昭和58年11月18日、通日調査を58年12月14日、15日に行った。また、調査日は地形形状、上流に向かい右岸排水路からの取水及び流入水がなく、天候は晴であった。

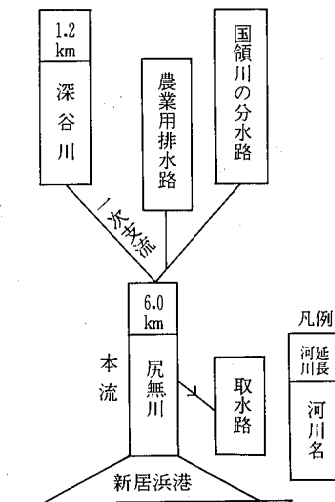


図1 水系の構成

2. 4. 調査項目及び試験方法

調査項目とその試験方法を表1に示す。

表1 水質の試験方法

調査項目	試験方法	
水温	ガラス製棒状温度計	(JIS K 0102 7. 27)
pH	ガラス電極法	(〃 12)
DO	ウィンクラー-アジ化ナトリウム変法	(〃 32. 1)
COD	100℃過マンガン酸カリウム消費量	(〃 17)
SS	CF/B重量法	(〃 14. 1)
全窒素 (T-N)	紫外線吸光光度法	(環境庁告示第140号)
全りん (T-P)	モリブデン青吸光光度法	(〃)

3. 調査結果及び考察

3. 1. 全地点一斉調査

図4と図5に、pH, COD, T-N, T-P等の流化に伴う水質変化を示し、濃度及び負荷量を表2に示す。

3. 1. 1. 濃度

本流のpH, SSは、全体的にほぼ横ばい状態となっている。COD, T-N, T-Pについては、St 3, St 4と流下に伴い順次高くなり、St 5で最も高い濃度となり、その後減少してSt 10ではSt 5の約半の値となっている。また、各排水路のCOD, SS, T-N, T-Pについてみると、St ③, St ④, 及びSt ⑦が高く、このうちSt ③がSSを除き最も高

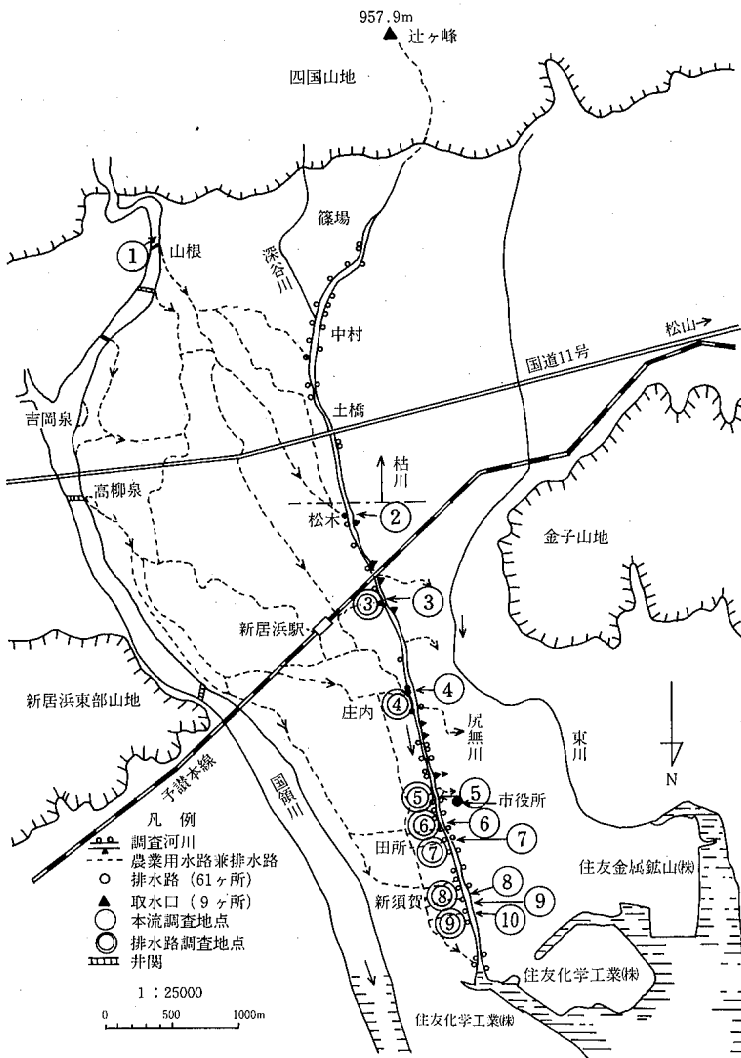
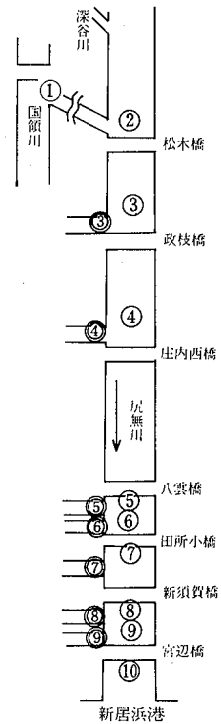


図2 調査地点図



- ② 松木橋 (上流120m)
- ③ 政枝橋
- ④ 庄内西橋
- ⑤ 尻無川 (下流50m)
- ⑥ 田所小橋
- ⑦ 田所小橋 (下流100m)
- ⑧ 新須賀橋 (下流100m)
- ⑨ 宮辺橋 (上流5m)
- ⑩ 宮辺橋

図3 調査地点略図

表2 水質の濃度及び負荷量

項目	水温 (°C)	PH	DO (mg/l)	COD		SS		T-N		T-P		流量 (m³/hr)	
				濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)		
本流 st 1 st 2	最小値	10.8	7.0	7.0	4.2	1.5	0.2	0.1	1.24	0.31	0.094	0.025	212
	最大値	13.0	7.3	10.2	8.6	10.8	9.2	13.6	3.05	4.00	0.298	0.315	2193
	平均値	12.3	7.1	8.6	6.3	6.5	5.1	6.3	2.06	2.37	0.174	0.184	1120
排水路 st 10	最小値	11.8	6.8	3.9	3.2	0.1	3.2	0.2	1.43	0.03	0.058	0.002	16
	最大値	14.0	7.5	10.4	9.6	4.7	42.3	4.9	4.62	1.84	0.600	0.125	622
	平均値	13.6	7.1	7.8	5.4	1.3	12.4	1.9	2.34	0.57	0.207	0.037	265

い濃度となっている。図5の水質分布図に示すように、本流のCOD, SSは2~10mg/lの範囲にあり、T-Nが2~4mg/l, T-Pが0.1~0.5mg/lとなっている。

3.1.2. 負荷量

図4に示す、各項目の負荷量は次の式で計算した。

$$\text{負荷量 (kg/hr)} =$$

$$\text{成分濃度 (mg/l)} \times \text{流量 (m}^3/\text{hr)} \times 10^{-3}$$

本流のCOD, T-N, T-Pについては、流下に伴って流量と同様に大きくなりSt 8が最も大きい。最終調査地点St 10に流達する量は、CODが

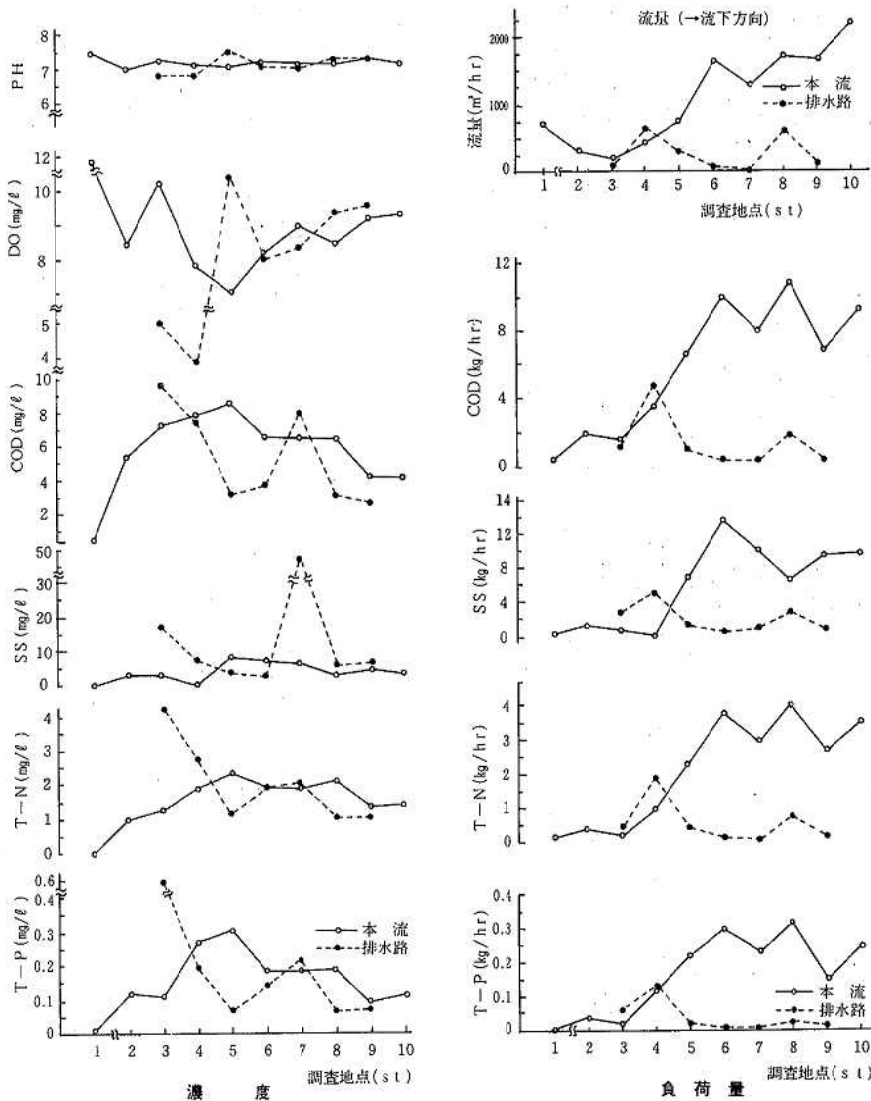


図4 本流及び排水路の水質変化

約 9 kg/hr, SS 約 9 kg/hr, T-N 約 4 kg/hr, T-P 約 0.2kg/hr となっている。これを St 2 と比べると各項目が 5 倍以上に増加しており本流の河口が汚染されてきている。

また、排水路では St ④ が最も大きく、COD が 4.7kg/hr, SS 4.9kg/hr, T-N 1.84kg/hr, T-P 0.125kg/hr となっている。次に、7 排水路の流入負荷量の割合を試算し、表 3 に示す。各排水路の割合は、総流入負荷量に対して求めた。St ③, St ④, St ⑤ の 3 排水路あわせれば、COD が 7.6kg/hr で 82%, SS 10.3kg/hr 79%, T-N 3.16kg/hr 79%, T-P 0.224kg/hr 85% となり、それぞれの項目とも約 80% を占めており本流の水質におよぼす影響が大きいことがわかる。

3. 2. 通日調査

St 2 松木橋 (上流), St 10 宮辺橋 (下流) における調査結果を図 6 と表 4 に示す。pH, DO は、夜間の方が高く、逆に COD, SS, T-N, T-P は、濃度及び負荷量とも日中に高い傾向となっている。

表 3 項目別の流入負荷量

項目 St 排水路	COD		SS		T-N		T-P	
	負荷量 (kg/hr)	%	負荷量 (kg/hr)	%	負荷量 (kg/hr)	%	負荷量 (kg/hr)	%
③	1.0	11	1.9	15	0.50	13	0.065	25
④	4.7	51	4.9	38	1.84	46	0.125	47
⑤	1.1	13	1.2	9	0.48	12	0.021	8
⑥	0.2	2	0.2	2	0.13	3	0.008	3
⑦	0.1	1	0.5	4	0.03	1	0.002	1
⑧	1.9	20	3.5	26	0.82	20	0.034	13
⑨	0.3	3	0.8	6	0.19	5	0.008	3
合計 (流入負荷量)	9.3	100	13.0	100	3.99	100	0.263	100

表 4 通日調査結果

項目 区分	水温 (°C)	PH	DO (mg/l)	COD		SS		T-N		T-P		流量 (td/hr)
				濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	濃度 (mg/l)	負荷量 (kg/hr)	
2 上流	最小値	7.1	6.7	3.5	3.2	0.9	0.2	0.1	0.44	0.13	0.057	230
	最大値	11.2	6.9	6.6	9.3	3.3	9.5	3.2	2.29	0.76	0.229	352
	平均値	8.8	6.8	5.0	5.9	1.8	3.7	1.1	1.36	0.40	0.125	291
10 下流	最小値	9.4	6.8	7.0	2.5	4.2	3.5	7.1	1.43	2.41	0.072	1627
	最大値	14.2	7.3	10.0	6.7	14.9	11.2	20.6	2.31	5.15	0.199	2230
	平均値	11.2	7.1	8.4	4.4	8.3	7.0	13.2	1.89	3.56	0.134	1887

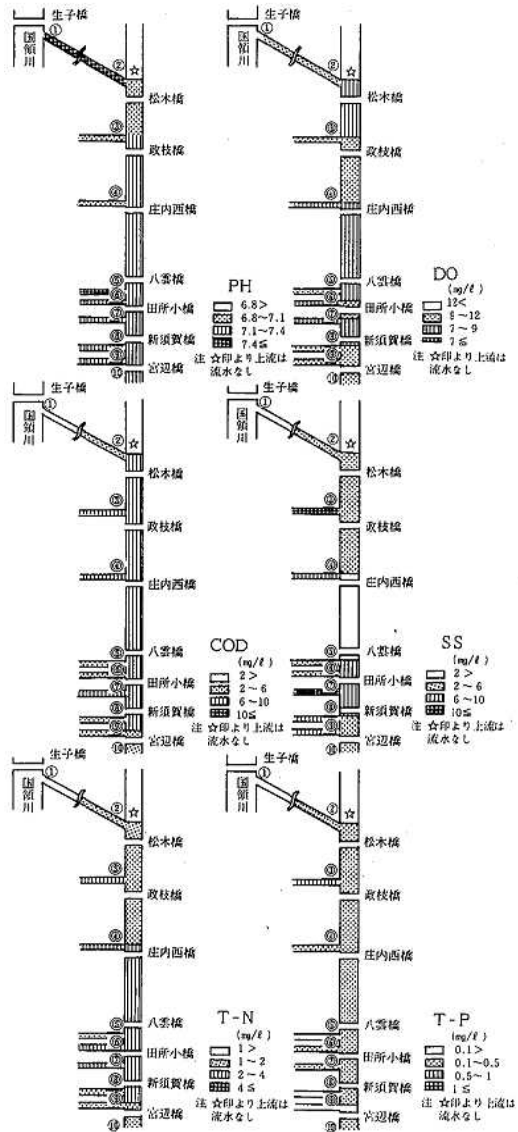


図 5 水質分布図

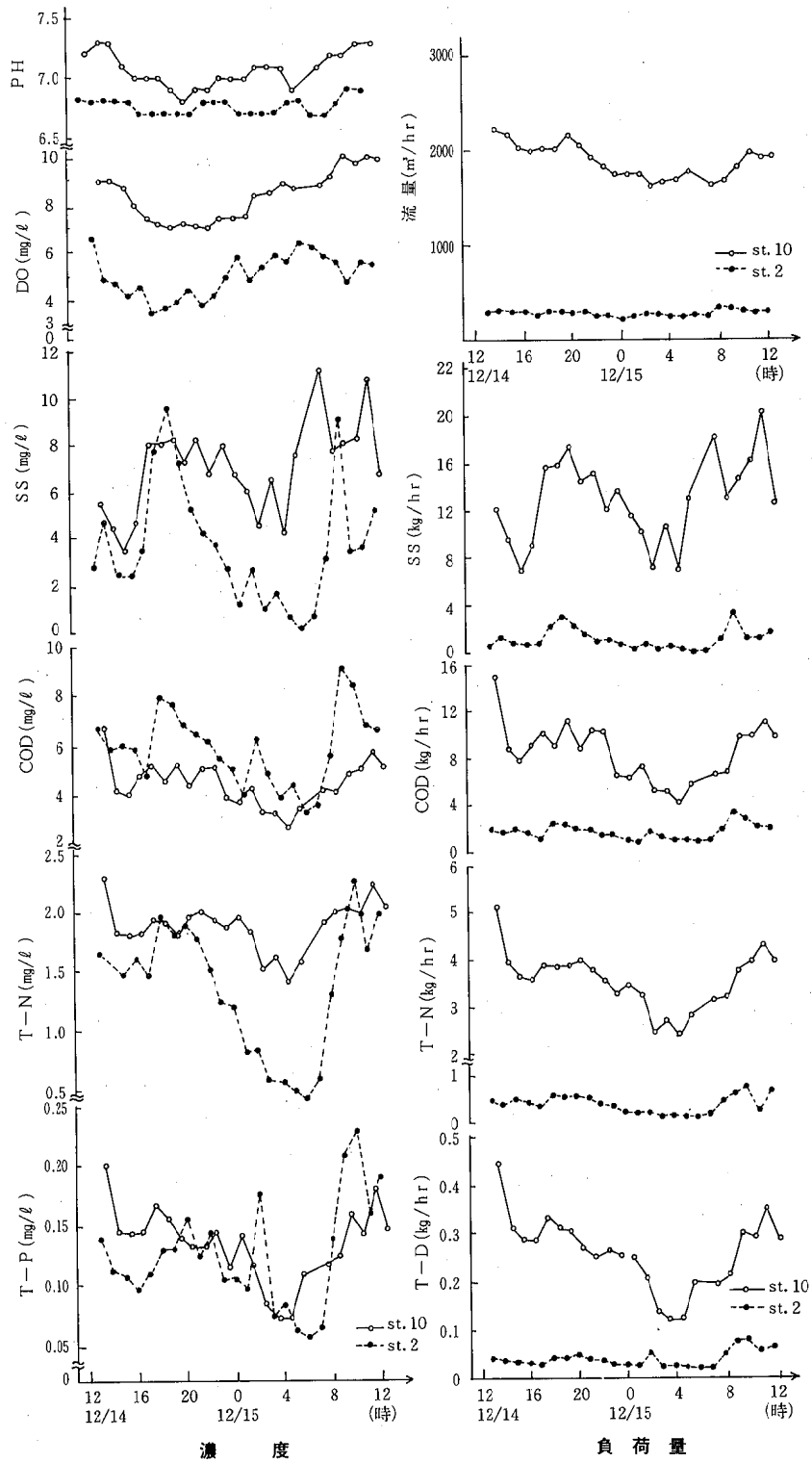


図6 水質の経時変化

両地点のCOD, SS, T-N, T-Pの濃度変化をみると, St 2では9時~10時と18時~19時頃それぞれピークとなり, 6時頃が最も低い。St 10では13時頃ピークとなり, 4時頃が最も低い濃度パターンとなっている。

次に, 各項目の負荷量についてみると St 10が大きく, 濃度パターンとほぼ同様となっている。1時間当たりの負荷量でみると, St 10がCOD, SS, T-N, T-Pの項目でSt 2の5倍以上となっている。これは, 宮辺橋付近への汚濁負荷が著しいことを示している。

また, 各項目について St 2, St 10を比較しまとめると次のとおりである。

◦流量

St 10の1時間平均流量は, $1,887\text{m}^3/\text{hr}$, 1日の総流入量では St 10 ($45,000\text{m}^3$) が St 2 ($7,000\text{m}^3$) の6倍となっている。

◦pH

St 2より, St 10の方が高い。

◦COD

St 2の濃度の方がやや高い。

1日の総負荷量は, St 10 (200kg) が St 2 (43kg) の5倍となっている。

◦SS

St 10では, 濃度及び負荷量とも夕方から深夜にかけて大きく変動するパターンとなっている。

1日の総負荷量は, St 10 (317kg) が St 2 (26kg) の12倍となっている。

◦T-N

St 2の濃度より, St 10の方が高い。

1日の総負荷量は, St 10 (85kg) が St 2 (10kg) の9倍となっている。

◦T-P

St 2, St 10ともほぼ同じ濃度レベルであり, 日中に高く, 夜間に低い。

1日の総負荷量は, St 10 (6.1kg) が St 2 (0.9kg) の7倍となっている。

4. ま と め

本流の水質実態及び経時変化について, 調査した結果は次のとおりであった。

(1) 本流の水は, 国領川からの分水が主体であり, COD, SS等の汚濁物質が流入する排水路は上流に向かい左側に多い。

また, 調査流域内の下水道普及率は, 約8%であり全市人口の約45%分の生活排水, 浄化槽排水等がそのまま本流に流入していると思われる。

(2) 全地点一斉調査のCOD, SS, T-N, T-Pの項目について

◦本流の濃度をみると, St 5八雲橋が最も高い。負荷量では, SSを除き St 8新須賀橋が最も大きく, St 10宮辺橋においては, St 2松木橋に比べて5倍以上であり汚濁負荷が大きい。

◦排水路の濃度をみると, St ③政枝橋が最も高く, 負荷量では, St ④庄内西橋が最も大きい。各項目の総流入負荷量に対して, St ③, St ④, St ⑤の3排水路の合計負荷量が約80%を占め, 本流水質へ大きく影響していることが推察される。

(3) 通日調査のCOD, SS, T-N, T-Pについて

◦濃度, 負荷量とも日中に高く, 夜間に低い。

◦負荷量の変動パターンは, ほぼ濃度の変動パターンに近く, 流量より濃度の変動に影響されていることがわかる。

◦1日の総負荷量は, St 2より St 10の方が5倍以上であり, 河口付近の汚濁負荷が著しいことを示唆している。

— 参 考 文 献 —

- 1) 新居浜市: 新居浜市史, 157~258, 1980
- 2) 伊沢茂樹他: 徳島県保健環境センター年報, No.103~111, 1983
- 3) 半谷高久: 水質調査法, 333~379, 1960

広見川水系におけるステロールの分析

越 智 久 尚・篠 崎 由 紀・林 弘

1. はじめに

愛媛県下主要河川のうち、これまで、肱川、重信川において、ステロール類を調査し、両水系における水質の現況把握を試み、結果を、所報第2号、第4号に報告した。

今回は、県南西部の山間部に流域を持ち、高知県に至って、渡川に流入する広見川について調査したので、結果を報告する。

2. 調査方法および分析方法

2. 1. 調査方法

調査地点は、現地調査から、河川水質への寄与が大きいと考えられる汚濁発生源を網羅するように設定した。

調査地点数は、19地点とし、昭和57年5月、9月、11月、58年2月に調査した。

調査地点を図1に示す。

2. 2. 分析方法

(1) コプロスタノール、コレステロール

所報第2号、第4号の方法に従って、トリメチルシリル誘導体を生成させた後、GC-MS分析を行った。

GC-MS条件は、表1のとおりである。

(2) その他項目

T-P (全リン)、T-N (全窒素)、BOD は、JIS K 0102、MPN (大腸菌群数) は、BGLB 培地を使用した最確数法により測定した。

3. 調査結果および考察

調査対象とした広見川流域には、水質汚濁防止法対象事業場は、3事業場(発酵工業1、繊維1、養豚1)と少なく、また、流域を山間部に持つことから、農林水産業および畜産業が当流域の主要産業になっている。

また、昭和51年、環境基準類型指定がなされ、一次支川三間川との合流地点より上流部はAA、下流部はA、三間川はAに類型指定され、現在まで、常時監視調査が行われている。

表1 GC-MS条件

GC条件

カラム：2%OV-225 クロモソルブ WAWDMCS
80-100メッシュ 1m ガラスカラム

温度 カラム：240°C 注入口：300°C

キャリアーガス：He, 30ml/分

MS条件

加速電圧 : 3.5 kV

イオン化エネルギー : 20 eV

指定フラグメント

コプロスタノール : m/z 370, 355

コレステロール : m/z 329, 368

各類型を総合した昭和58年度の環境基準達成率は、pH 97%、DO 80%、SS 98%と良好であるのに対し、大腸菌数値は、20%と良くない結果になっている。

3. 1. ステロールの濃度変化

コプロスタノール、コレステロールの分析結果を、表2に、濃度変化を図2に示す。ただし、図2の濃度は、調査4回の幾何平均値である。

両ステロールとも、広見川本川に比べて、一次支川三間川で濃度が高い。特に、No.12地点で、コプロスタノール濃度が高くなっている。当地点付近に、人口が密集していることおよび、他地点に比べて、豚、牛が多く飼育されており(流域全体の18%)、その畜舎からの排水が寄与していること等が考えられる。

また、広見川流域を、三間川との合流地点を基準にして、広見川本川上流、広見川本川下流および三間川の3流域に区分し、人口、浄化槽人口、家畜頭数(牛+豚)を算出した結果を、表3に示す。

コプロスタノールはふん便、コレステロールはふん便および生活雑排水の指標性が強いことから考えると、三間川流域に、人口、浄化槽人口の50%

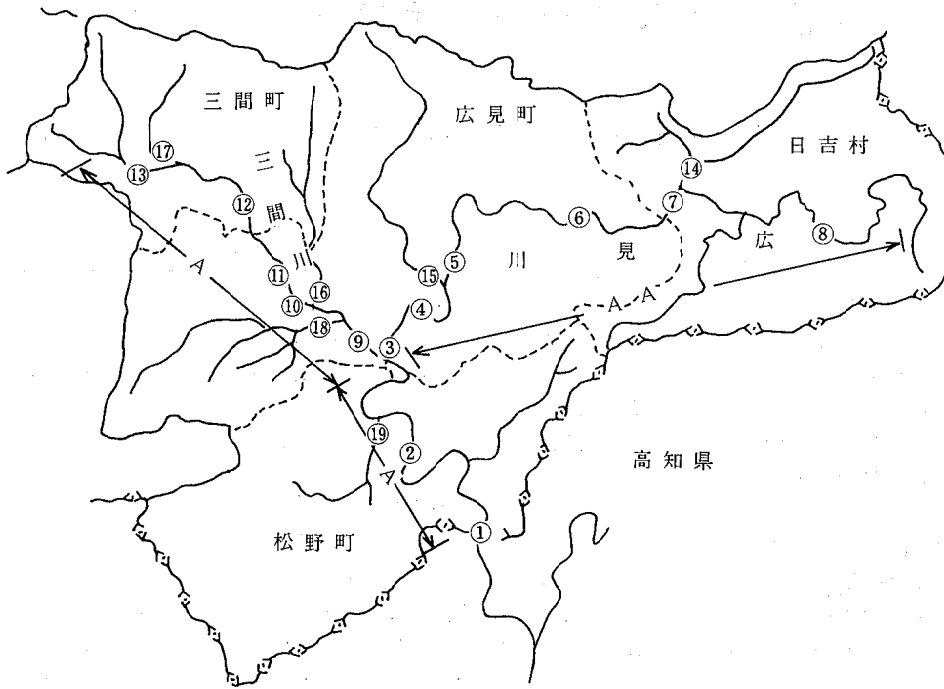


図1 広見川水系調査地点図

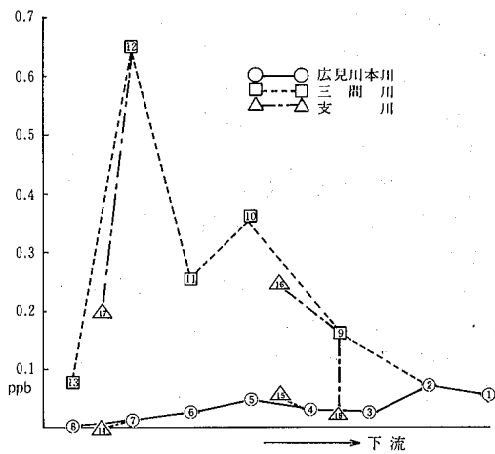


図2-(1) コプロスタノールの濃度変化

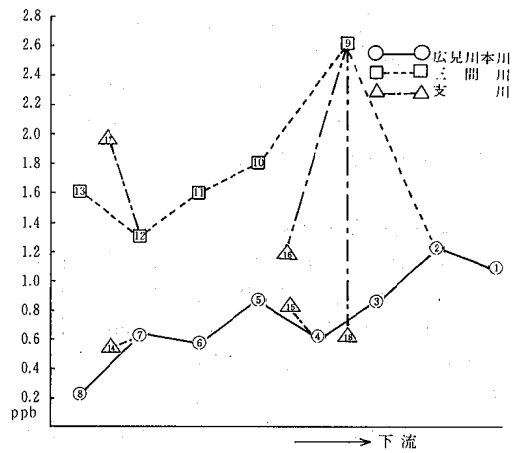


図2-(2) コレステロールの濃度変化

表2 ステロール分析結果

採水地点	コプロスタノール (ppb)				コレステロール (ppb)				
	I S.57.5.10	II S.57.9.1	III S.57.11.8	IV S.58.2.16	I S.57.5.10	II S.57.9.1	III S.57.11.8	IV S.58.2.16	
1	県境沈下橋	0.07	0.03	0.05	0.10	1.91	0.94	0.95	0.90
2	吉野橋	0.07	0.03	0.07	0.17	1.50	0.78	1.32	1.51
3	興野々橋	0.04	0.02	0.03	0.02	1.38	0.69	0.88	0.67
4	市ヶ成橋	0.05	0.02	0.03	0.03	0.43	0.61	0.89	0.67
5	小倉橋	0.04	0.03	0.08	0.04	1.18	0.80	0.85	0.73
6	古用橋	ND	ND	0.01	0.07	0.71	0.49	0.61	0.52
7	大野橋	ND	ND	0.01	0.02	0.64	0.46	0.73	0.75
8	藤川橋	ND	ND	ND	ND	0.22	0.19	0.25	0.22
9	泉橋	0.12	0.04	0.25	0.51	1.70	1.77	1.86	8.85
10	陽路橋	0.14	0.07	0.93	1.90	1.38	1.05	2.06	3.60
11	天王橋	0.16	0.05	0.62	0.83	1.66	0.68	2.06	2.75
12	有倉橋	0.47	0.75	0.71	0.70	2.05	1.38	0.73	1.39
13	月見橋	0.08	0.05	0.11	0.07	1.74	1.38	1.96	1.34
14	日吉大橋	ND	ND	ND	0.16	0.21	0.42	0.80	1.16
15	鏡川橋	0.04	0.03	0.10	0.04	1.18	0.57	0.92	0.82
16	樋口橋	0.16	0.03	1.74	0.41	1.14	0.55	2.08	1.61
17	内平ヶ谷川	0.07	0.24	0.20	0.49	1.74	1.05	1.89	4.33
18	奈良川橋	0.03	0.02	0.01	0.04	0.41	0.46	0.88	0.97
19	堀切川	0.09	0.18	0.86	0.81	1.30	1.01	2.44	5.42

注) ND < 0.01 ppb

以上が分布していることが、三間川流域で、両ステロール濃度が高くなった理由と推察される。

これに対し、家畜の分布は、広見川本川上流および三間川で、ほとんど差がないにもかかわらず、ステロール濃度差が大きいのは、畜舎排水よりむしろ、生活系排水の寄与が大きいことを示唆している。

表3 流域別人口、家畜頭数

流域名	人口		浄化槽人口		家畜頭数(牛+豚)	
	人	%	人	%	頭	%
広見川本川上流 (三間川合流点上流)	7,777	27.3	304	19.2	7,665	48.7
広見川本川下流 (三間川合流点下流)	6,219	21.9	290	18.3	825	5.2
三間川	14,442	50.8	989	62.5	7,251	46.1
計	28,438	100	1,583	100	15,741	100

3. 2. ステロール流入負荷量

区分した3流域について算出した流入負荷量を表4に示す。

コプロスタノールは、三間川流域が、全負荷量の50%以上を占めているが、このことは、当流域に全浄化槽人口の60%以上が分布していることと、ほぼ一致している。

これに対し、コレステロールは、3流域でほぼ同等の負荷量である。これは、コレステロールは、ふん便、生活雑排水のみならず、一部、プランクトン、藻類等自然的要因に由来しているためと推察される。

表4 流域別流入負荷量

流域名	コプロスタノール		コレステロール	
	g/日	%	g/日	%
広見川本川上流	12.9	31.0	424	38.5
広見川本川下流	6.8	16.4	309	28.1
三間川	21.9	52.6	367	33.4
計	41.6	100	1,100	100

3. 3. 相 関

調査項目間の相関係数を表5に示す。各項目とも、濃度の自然対数値を使用した。

コプロスタノール、コレステロール、T-P(全リン)、T-N(全窒素)、BOD間には、相互に相

関がみられる。これは、広見川流域には、大規模工場がほとんどないこと、およびコプロスタノールの、ふん便に対する指標性から考えれば、上記項目の変動は、生活系および畜産系排水の量的、質的変動に依存しているためと考えられる。

また、MPN(大腸菌群数)は、他項目と相関を示さない。特に、コプロスタノールと相関がないのは、ふん便以外に由来することおよび汚染が局所的で、他地点まで影響しないためであろう。

表5 相関係数

コレステロール	0.718** (65)				
T-P	0.635** (65)	0.599** (76)			
T-N	0.682** (65)	0.683** (76)	0.791** (76)		
BOD	0.701** (57)	0.602** (62)	0.514** (62)	0.527** (62)	
MPN	-0.010 (65)	0.196 (76)	0.281 (76)	0.153 (76)	0.041 (62)
コプロスタノール		コレステロール	T-P	T-N	BOD

注1) () 試料数 2) **1%有意水準

4. おわりに

今回調査した広見川水系では、一次支川の三間川流域で、ステロール濃度が高い。ただ、これまで調査してきた、肱川、重信川に比べれば濃度は低く、従って、今後汚染が進行しないような対策が望まれる。

なお、今回の調査で、3河川について、ステロール調査を実施したので、今後は、各河川の水質の比較および特徴の把握を試みたい。

— 参 考 文 献 —

- 立川 涼, 伊藤次郎, 脇本忠明: 農芸化学会誌, 51, 5, 315~320, 1977
 伊藤次郎, 立川 涼: 陸水学会誌, 39, 3, 123~129, 1978
 伊藤次郎, 立川 涼: 地球化学, 12, 9~17, 1978
 小椋和子: 地球化学, 17, 68~75, 1983
 小倉紀雄, 市川陽子: 地球化学, 17, 76~81, 1983
 愛媛県公害技術センター所報第2号, 第4号
 愛媛県環境白書 昭和58年版

廃魚処理施設の土壤脱臭について

篠崎 由紀・越智 久尚・林 弘

1. はじめに

従来より、一般的な脱臭方法としては、水洗、吸着、希釈などの物理的方法と、酸化吸収、薬液洗浄、化学吸着、燃焼などの化学的方法がとられている。しかしこれらは、設備、維持管理、安全管理に大きな経費と労力がかかり、副産物の出来る場合もあり、その評価はもう一つというのが現状である。

近年、次のような生物学的方法が、注目されてきている。古くは農業機械化研究所等による土壤脱臭方法¹⁾、大阪市立環境科学研究所による活性汚泥脱臭法²⁾、その他コンポスト脱臭方法³⁾などである。これらはいずれも悪臭物質が微生物の活動によって、生物学的に分解されることを利用し、脱臭を行うものである。自然界に営まれている作用であるため、2次公害の発生もなく、維持管理等も容易で、すでに下水道処理場⁴⁾や、魚腸骨処理場⁵⁾等では実用化されている。

本県においても、次のような事例がある。県南部の宇和海においては、ハマチ養殖が盛んで、その死魚を回収し、処理する目的で、Y漁業協同組合が昭和56年に廃魚処理施設を設置した。脱臭方法としては、土壤脱臭装置が導入され、現在も順調に稼動している。

今回はこの土壤脱臭装置の脱臭状況を調査し、今後の参考資料とするために、機器分析と官能試験を実施したので報告する。

2. 施設と脱臭装置の概要

廃魚をロータリーキルンで40時間熱風乾燥した後、粉碎し、魚粉肥料を製造するもので、ロータリーキルンはバッチ式が2台あり、1台の処理能力は1t/回である。ボイラー燃料は灯油を使用し、乾燥温度は60℃～90℃である。脱臭方法としては、ロータリーキルンの排ガスと作業室内空気を排風機で吸引し、ダクトで土壤脱臭装置へ送気する方法がとられている。土壤脱臭装置は大小のビーナスライノ層が60cm、その上に60cmの有機質土

壤を重ね、面積は80m²で、環境に解放している。槽内には、一定量以上の雨水が溜らないように、水中ポンプを設置している。廃魚処理施設の工程を下図に示す。

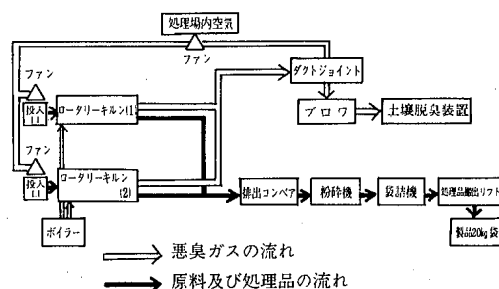


図 廃魚処理施設フローシート

3. 試料の捕集方法

試料は土壤脱臭装置入口の原臭と、土壤層出口の処理臭である。原臭は土壤脱臭装置の導入ダクトから捕集し、処理臭は、土壤表面上の数ヵ所に、直径20cm、高さ45cmの塩ビ製模擬臭突を設置し、ビニール袋をかぶせ、自噴排ガスを捕集した。

4. 分析方法

アンモニアは、0.5%ホウ酸溶液に捕集し、インドフェノール法により定量し、トリメチルアミンは、0.1N硫酸溶液に捕集し、FIDにより定量した。イオウ化合物は環境庁告示第47号に準じ、官能試験方法は、昭和56年度官能試験法調査報告書の三点比較式臭袋法の手順に従い、臭気強度は現場での6段階臭気強度表示法による。

5. 結果とまとめ

測定結果および脱臭率を次表に示す。

原臭の臭気濃度についてみると、原料投入時と投入24時間後では250倍の差がある。これは原料投入後の時間経過に伴って生ずる、原臭の質及び濃度の変化と思われる。

表. 測定結果および脱臭率

単位: ppb ()内は脱臭率(%)

サンプリング 年 月 日	サンプリング臭	硫化水素	メチルメル カプタン	硫化メチル	2硫化メチル	アンモニア	トリメチル アミン	臭気強度	臭気濃度
58. 10. 17 (原料投入時)	原 臭	1.72	11.7	—	1.66	2.5	1.50	5	330,000
	処 理 臭 (ポイント1)	0.040 (97)	0.042 (99)	0.016	0.012 (99)	ND (<98)	ND (<96)	3~4	2,000 (99)
	処 理 臭 (ポイント2)	0.029 (98)	0.57 (95)	0.035	0.36 (78)	ND (<98)	ND (<96)	3~4	5,900 (98)
59. 3. 9 (原料投入 24時間後)	原 臭	ND	0.022	0.005	0.0074	ND	ND	5	1,300
	処 理 臭 (ポイント1)	ND	ND (<98)	ND (<90)	ND (<93)	ND	ND	0	23 (<98)
	処 理 臭 (ポイント2)	ND	ND (<98)	ND (<90)	ND (<93)	ND	ND	0	<10 (<98)
	処 理 臭 (ポイント3)	ND	ND (<98)	ND (<90)	ND (<93)	ND	ND	0	<10 (<98)
検 出 限 界		0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.05	0.06		

臭気濃度でみる脱臭率としては、平均98%以上と高い値を示している。

機器分析値を全体で見ると、硫化水素の脱臭率は平均98%、メチルメルカプタンは平均97%以上、硫化メチルは90%以上、2硫化メチルは91%以上である。アンモニアとトリメチルアミンは各々98%以上、96%以上であった。今回の機器分析による6物質についても、硫化メチルと2硫化メチルが少し落ちるが、90%以上と比較的良好な脱臭率が得られた。

ただ問題点は、原料投入時に短時間であるが、高濃度原臭が装置に入った場合、臭気濃度でみた脱臭率は98%以上と高い値を示しているながら、処理臭には、臭気強度3~4のイオウ系臭気が残存しており、その臭気濃度は平均3950であった。こ

の点については、今回は原因を明らかにできなかったが、今後とも他業種への利用の面からも、検討をしていきたい。

— 参 考 文 献 —

- 1) 福森 巧: 産業と公害, Vol.11, No. 3, 54~59, 1982
- 2) 福山丈二: 悪臭公害対策セミナー講演集, 69~82, 1982年1月
- 3) 田中 博: 悪臭公害対策セミナー講演集, 27~38, 1982年1月
- 4) 柴田鉄夫: 月刊下水道, Vol.12, No. 8, 129~132,
- 5) 桑野紘一他: 長崎県衛生公害研究所報 23, 78~80, 1981

環境放射線及び大気浮遊じんの放射能の自然変動

金子敏明・二宮久・水口定臣
安井正良・松浦榮美・西原博明

1. はじめに

愛媛県は環境放射線等のモニタリングのため、環境放射線及び大気浮遊じんの放射能の連続測定を実施している。

これらのレベルは、①核爆発実験、原子力施設等の人工的要因、②時間、場所、地形、地質、地表面の状態が Rn-222, Rn-220 の散逸率に与える影響、③降水、逆転層その他の気象要因により変動すると言われている¹⁾²⁾。このため、①の寄与のほとんどない現在、②及び③による自然変動の特徴を把握しておくことは、①による寄与を把握するうえで重要である。

ここでは、レベルの変動と各種気象要因を対比し、また他地域のレベルの変動と比較し、自然変動の特徴をとりまとめたので報告する。

2. 主要な自然変動の要因

2. 1. 変動の概念

環境放射線及び大気浮遊じんの放射能の変動の

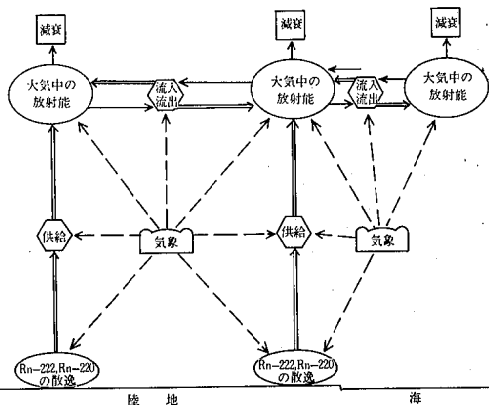
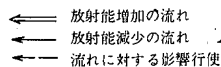


図1 大気中の放射能と気象

原因となる、大気中の放射能と気象の関係について図1に示すように想定する。

2. 2. 自然放射性核種

大中に存在するウラン系列及びトリウム系列核種のうち、Rn-222 (半減期: 3.8日) と Rn-220 (半減期: 55秒) が大気中に散逸する。大気中の自然放射性核種の大部分は、Rn-222, Rn-220 とそれらの娘核種である³⁾。

この Rn-222 は、晴れた日の昼間のように、大気の上下方向の混合が盛んな時は、数10m の高度まで濃度がほぼ一定で、かつかなり上空まで存在するが、Rn-220 は高度変化が著しく、地表面上1m で殆んどの場合極めて低濃度となると言われている³⁾。

Rn-222 の娘核種のうち、β線放出核種は Pb-214 (半減期: 27分), Bi-214 (半減期: 20分), Pb-210 (半減期: 20年), Bi-210 (半減期: 5.0日) であり、Pb-214, Bi-214 はγ線も放出する。

Rn-220 の娘核種のうち、β線放出核種は Pb-212 (半減期: 11時間), Bi-212 (半減期: 61分), Tl-208 (半減期: 3.1分) であり、これらは全てγ線を放出する。

3. 調査方法

3. 1. 測定地点

測定地点は、愛媛県西宇和郡伊方町の愛媛県モニタリングステーションである。

地形的には、伊予灘と宇和海にはさまれた細長い佐田岬半島の尾根近く (海拔約190m) に位置する。

3. 2. 測定方法 (気象観測項目を省略)

3. 2. 1. 環境放射線

環境γ線連続モニタ (温度補償・DBM 方式エネルギー補償の 2"φ×2"NaI (Tl) シンチレーション検出器) により、地上約 3m の位置における環境放射線線量率 (以下、3., 4. 本文中に

において「線量率」という。)を測定する。その単位は $\mu\text{R/h}$ である。

3. 2. 2. 大気浮遊じんの全 β 放射能

連続ろ紙式ダストモニタを用い、地上約2.5mの位置における大気浮遊じんを連続ろ紙(HE-40T)に吸引捕集し、大気浮遊じんの全 β 放射能濃度(以下、3., 4.本文中において「全 β 放射能濃度」という。)を測定する。測定は捕集11時間後に行い、検出器は端窓型50mm ϕ GM管を使用する。全 β 放射能濃度の単位は pCi/m^3 である。

図2, 図3にろ紙に捕集されたRn-222及びRn-220の β 線放出娘核種の減衰と測定時間の関係を示す。

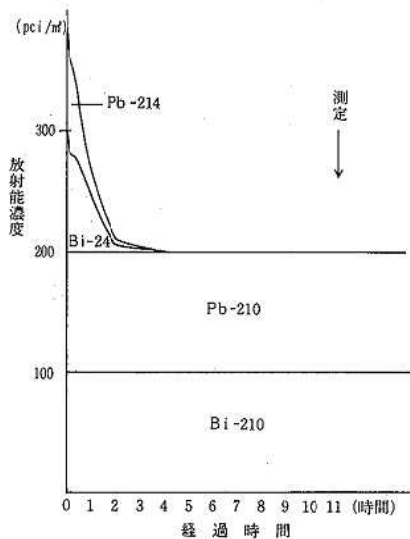


図2 ろ紙に捕集された大気浮遊じん中Rn-222の β 線放出娘核種の時間変化

(注) 100 pci/m^3 で放射平衡が成り立っており、100%捕集されると仮定

(注2) β 線エネルギーが低く、検出されないものも表示

3. 3. 使用した測定データ

線量率及び全 β 放射能濃度の連続測定は、昭和50年度から実施しているが、本報告では57年度及び58年度の測定データを使用する。

この理由の第1は、次に示すとおり、過去に行われた核爆発実験の影響が少ないことである。

- ① K-40, ウラン系列, トリウム系列等の自然放射性核種を除くと、環境試料中の放射性核種は半減期の長いCs-137(半減期:30年), Sr-90(半減期:29年)が中心である。

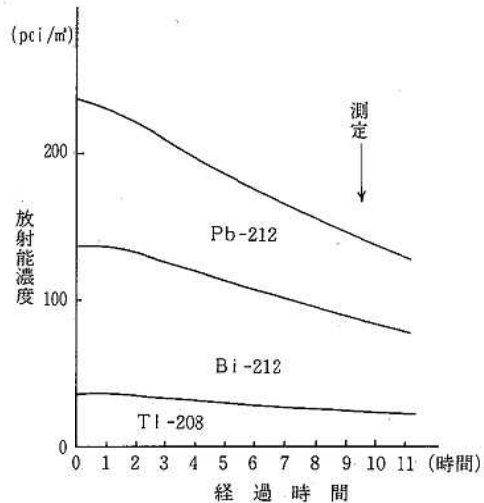


図3 ろ紙に捕集された大気浮遊じん中Rn-220の β 線放出娘核種の時間変化

(注) 100 pci/m^3 で放射平衡が成り立っており、100%捕集されると仮定

半減期の短い放射性核種は、数が少なく、放射能濃度も低い^{4),5)}。

- ② 土壤中Cs-137が線量率に与える寄与は、0.1 $\mu\text{R/h}$ 未満である^{4),5)}。
- ③ 全 β 放射能濃度中、Cs-137, Sr-90の寄与は、滝沢らによればいずれも0.001 pCi/m^3 未満である⁶⁾。

理由の第2は、この時期においても、従来と同様に原子力発電所の影響が見い出されていないことである^{4),5)}。

また、気象観測項目のうち、気温、降雨量及び風速については測定地点の測定データを使用するが、気圧、天気図等については気象月報等^{7),8)}の測定データを使用する。

4. 結果と考察

4. 1. 大気浮遊じんの全 β 放射能

全 β 放射能濃度の月間平均値及び最高値について、図4に示す。図4から季節により変動の大きいことがわかる。この変動の特徴を明らかにするため、3 pCi/m^3 以上の測定データ(58年度の「平均値+標準偏差の3倍」を超えるものを)を抽出し、その度数を図5に示す。

4. 1. 1. 日変動

大気中のRn-222, Rn-220及びそれらの娘核種の放射能濃度の日変動について、晴天時の日の

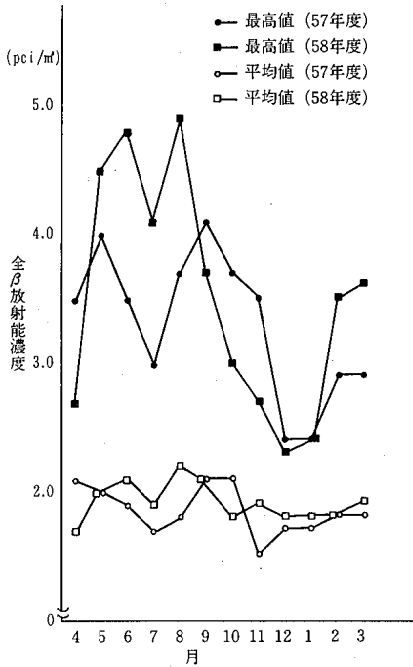


図4 大気浮遊じんの全β放射能の季節変動

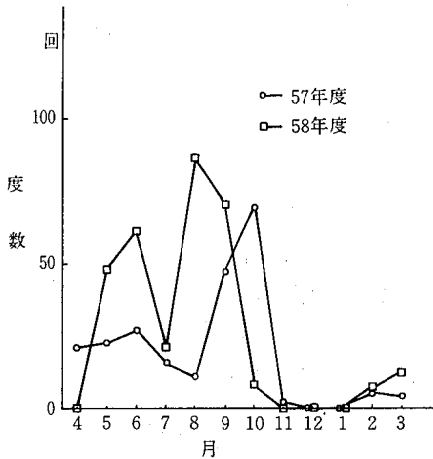


図5 大気浮遊じんの全β放射能(3 pci/m以上のもの)の季節変動

出前に最高濃度が出現し、日中最低となるものが一般的である^{3),9)}。この一般的な日変動は、着目する高度に関係するが、下層の日変動は次のように解釈できる。

即ち、日没とともに地表面が冷却されて、地表面近くの大気が冷却され、大気の降下乃至停滞が生じる。このため、上層大気の Rn-222 及びその娘核種が降下し、更に地表面からの散逸により Rn-222, Rn-220 及びそれらの娘核種が供給さ

れて下層大気の放射能濃度が上昇する。

一方、昼間には、上下方向の混合により、下層大気の放射能濃度が下がる。

測定地点の全β放射能濃度について、図5に抽出した測定データの日変動を図6に、日変動の代表例を風速、線量率とともに図7に示す。図6、

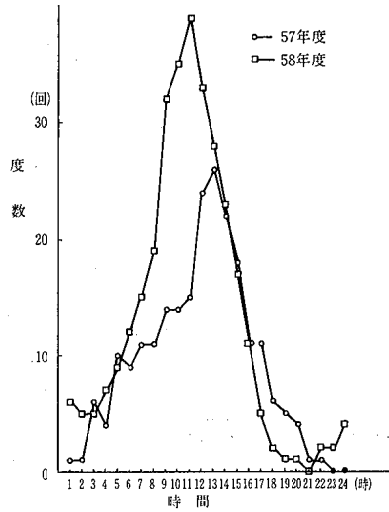


図6 大気浮遊じんの全β放射能(3 pci/m以上のもの)の日変動

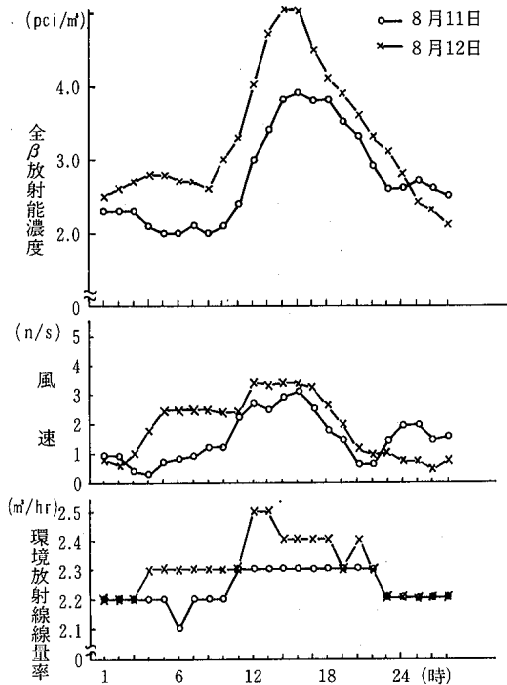


図7 大気浮遊じんの全β放射能及び環境放射線の時間変動例(58年8月)

図7から、測定地点の全β放射能濃度は昼間の12時前後に高く夜間に低い。この結果は一般的な変動^{3),9)}に比べて数時間の遅れがあり、変動幅も小さい。この違いは測定地点の地形上の特性から、下層大気の上方向の混合の影響を受けて上層大気に発生する変動を測定しているため発生すると考えられる。また、2.2で説明したRn-222の高度変化を考えるとRn-222の影響が大きいと考えられる。

4.1.2. 天気と天気図

図5に抽出したデータについて、降雨時と降雨時間に区分し、表1に示す。

表1 大気浮遊じんの全β放射能濃度(3 pCi/m³以上のもの)と降雨時等の区分

区分	昭和57年度	昭和58年度	計
降雨時	48	56	104
降雨時外	265	169	434

(注) 3 pCi/m³以上の一連の測定データのうち、1時間でも降雨時のものがあれば、一連のもの全てを降雨時と区分

表1から、全β放射能濃度が高くなるのは、降雨時外に多いことがわかる。

また、降雨時の雨量については、時間雨量が0~数mmである。

天気図の型としては、図8に例示するように⁹⁾等圧線の粗い、安定な高気圧に覆われたものが多い。

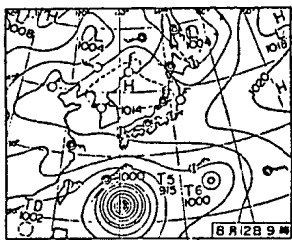


図8 天気図例(58年8月12日)

(注) 12日(金)沖縄強風圏に入る本州通過のF消滅して、太平洋Hが列島を掩うかたち、台5、大型の非常に強い台風で、動きは相変わらず遅いが、沖縄すでに強風圏に入る。東京①で34.2だが湿度38%と月の最小

図8から、大気の横方向の移動が少なく、海陸風の発達しやすい条件であることがわかる。この

ことから、上層大気中のRn-222とその娘核種が蓄積されやすいと考えられる。

4.1.3. 季節変動

夏場と冬場を特徴付ける気象要素として気温と気圧がある。測定地点の気温は夏場に高く、冬場に低い^{4),5)}。気圧は夏場に低く、冬場に高い⁷⁾。

Rn-222が散逸しやすいか否かに着目し、図5に抽出した測定データと気温、気圧の関係を図9に示す。図9から、気温が低く、気圧が高い冬場においては全β放射能濃度が高くなる度数が少ないことがわかる。

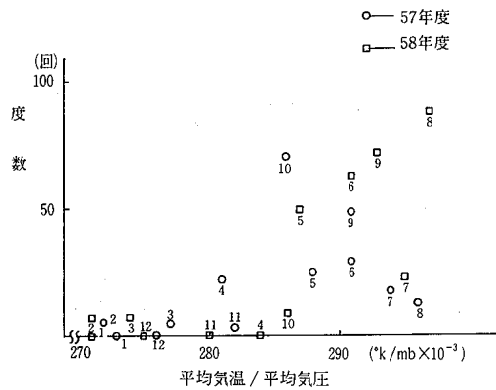


図9 大気浮遊じんの全β放射能(3 pCi/m³以上のもの)と気温・気圧の季節変動

(注) 数字は月を示す。

夏場についてはバラツキが大きいが、7月、8月のバラツキについて4.2.3で説明する。

図4、図5及び図9に示す全β放射能濃度の季節変動は日本原子力研究所の季節変動と異なる⁹⁾。この違いの原因は、4.1.1に示すとおり、それぞれの測定地点の地形上の特性、即ち上層大気中で測定するか下層大気中で測定するかにあると考えられる。

4.2. 環境放射線

線量率の月間平均値及び最高値について、図10に示す。図10から、季節により変動することがわかる。

なお、最高値はいずれも降雨時のものである。

4.2.1. 大気浮遊じんの全β放射能の変動と環境放射線線量率

全β放射能濃度の変動に合わせて線量率が変動する例を図7に示した。図5に抽出した全β放射能濃度が高い場合の線量率について、度数を表2に示す。

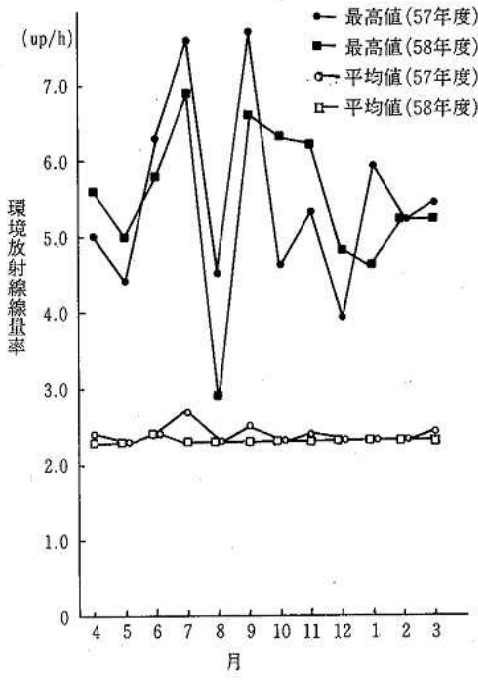


図10 環境放射能線量率の季節変動

表2 大気浮遊じんの全β放射能濃度 (3 pCi/m³以上のもの)に対応する環境放射線線量率の度数

環境放射線線量率 (μR/h)	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
昭和57年度 (回)	5	55	93	36	19	4	2
昭和58年度 (回)	28	158	99	18	2	2	
環境放射線線量率 (μR/h)	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.8	計
昭和57年度 (回)	2	1	1	1	2	1	222
昭和58年度 (回)	1	1		2	1		312

(注)2.7 μR/h 以上は全て降雨に対応する。

線量率測定データ全ての年間平均値は、57年度2.4 μR/h、58年度2.3 μR/hである。表2から全β放射能濃度が高い場合、線量率も高く年間平均値以上のものが多いことがわかる。しかし、その上昇は降雨に対応するものを除くとわずかである。

4.2.2. 降雨

降雨による線量率の変動は、Rn-222の娘核種が大気中の浮遊じんに着し、これが核となった雨滴が地表面に降下するため発生する。この雨滴は数千mの上空から一気に地表面に降下すると言われている¹⁰⁾。このため、Rn-222娘核種の濃縮は大きく、図10に各月の最高値を示すとおり線量率の上昇は大きい。この線量率の上昇分即ち、降雨による増加線量は、降雨量と大気中のRn-222及びその娘核種の濃度に依存すると考えられる。

月間降雨増加線量と降雨量の関係について、図11に示す。図11から、降雨増加線量はおおむね降雨量の増加に伴って増加することがわかる。

図11中、57年11月について、低気圧の通過による日降雨量135mmの影響が出たため、これを除くと矢印の位置となる。

また、バラツキの大きい8月、9月(58年)について、4.2.3で説明する。

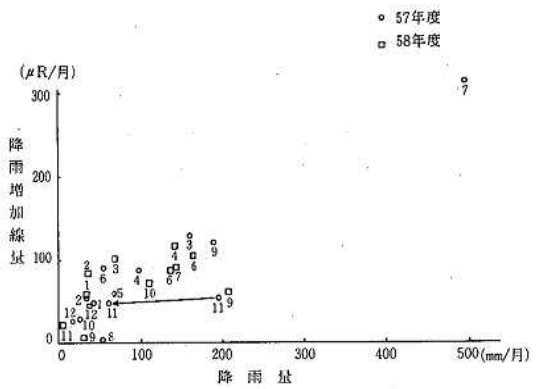


図11 降雨増加線量と降雨量 (注)添字は月を示す。

4.2.3. 7月、8月及び9月の特徴

7月について、測定系の特性、Rn-222娘核種の半減期及び降雨量から説明するが、後で8月、9月について説明するような影響も考えられる。全β放射能濃度の測定対象は、図2に示すとおり長半減期の核種であり、線量率の測定対象は、短半減期の核種である。これらの核種が雨に流されて減少した場合、図12に示すとおり、短半減期の核種は比較的速く生成されるのに対し、長半減期の核種の生成は遅い。

このことが、降雨量の多い7月に全β放射能濃度があまり高くないが、降雨増加線量は降雨量に比例して多くなる原因と考えられる。

なお、この場合降雨前後のRn-222濃度につ

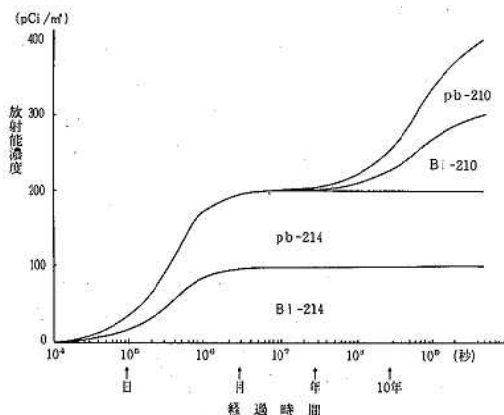


図12 大気中pn-222のβ線・γ線放出娘核種の時間変化

(注) Batananの式により試算(①矢印1 m³中に、いて、気団の交替がなく、あまり変化しないことが前提である。

8月、9月について、気団の発源地との関連で説明する。気団は、発源地の特性に応じた一様な物理的特性を持つと言われており¹²⁾、陸上を発源地とする気団にあっては地中のU-238濃度400~3,000pCi/kg³⁾、海洋を発源地とする気団にあっては海水中のU-238濃度0.2~9pCi/l³⁾に応じたRn-222濃度となる。

温暖前線が北上する際の前線と測定地点の相対位置について、その変化の様子を図13に示す。

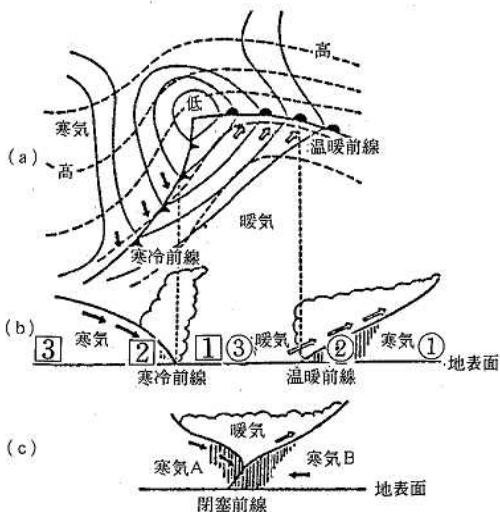


図13 低気圧と前線

(注) (a)は平面図、(b)、(c)は断面図、(a)の実線は等圧線、破線は等高線、黒矢印は寒気の流れ、白矢印は暖気の流れ。

(注2) (b)の①②③、①②③は、前線に対する測定地点の相対位置の変化

図13中、①②時期の寒気は、もともと地表面に接し、Rn-222の供給を十分に受けているのに対し、太平洋を発源地とする暖気(小笠原気団)は、上陸してからRn-222の供給を受けることとなるため、Rn-222とその娘核種の濃度は低い。また、下層大気や上層大気下部のRn-222とその娘核種の濃度が高い場合であっても上層大気の濃度は低く、このため、降雨増加線量が少なくなっていると考えられる。

5. まとめ

環境放射線及び大気浮遊じんの放射能の自然変動は、各種気象要因が複雑にからむものであるが、主な変動の特徴について、簡単に整理した。

この結果、次のようなことがわかった。

- (1) 測定地点の大気浮遊じんの全β放射能濃度は、測定地点の地形上の特性のため、昼間の12時前後に高く夜間に低い。
- (2) 大気浮遊じんの全β放射能濃度の高い日は、等圧線の粗い安定な高気圧に覆われた雨のない日に出現することが多い。
- (3) 大気浮遊じんの全β放射能濃度は、測定地点の地形上の特性のため、冬場に低く、夏場に高い(海洋性気団の影響、雨の影響等を除く)。
- (4) 大気浮遊じんの全β放射能濃度の上昇に合わせ、環境放射線線量率もわずかに上昇する。
- (5) 環境放射線線量率は降雨に伴って上昇する。
- (6) 降雨増加線量は、海洋性気団の影響等特別な気象要因の影響を受ける月を除くと、降雨量の増加に伴って増加する。

なお、この結果について、概要把握を第1としたため、気象項目の選択、年変動を見る場合の期間の区分等多くの問題の詳細検討を省略しており、今後の検討課題と考えている。

—参考文献—

- 1) 科学技術庁：連続モニタによる環境γ線測定法、昭和57年
- 2) 下道国：第1回放射医研セミナー、1~6、January、1975
- 3) 日本化学会編：放射性物質、2~11、昭和51年
- 4) 愛媛県：昭和57年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果
- 5) 愛媛県：昭和58年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果
- 6) 滝沢宗治ほか：第25回環境放射線調査研究成

果論文抄録集, 60, 1982

- 7) 松山地方气象台監修: 愛媛県気象月報, 昭和57年4月~昭和59年3月
- 8) 気象庁監修: 気象, 7389, Vol.318, 1983
- 9) 日本原子力研究所原子炉研修所: 環境放射能モニタリング, 67~69, 1980

10) 岡野真治: 第1回放医研セミナー, 7~9, January, 1975

- 11) 日本アイソトープ協会編: 改訂3版ラジオアイソトープ講義と実習, 107, 1975
- 12) 日本気象学教育と普及委員会編: 教養の気象学, 96~99, 1982

大気浮遊じん中の放射性核種

松浦 榮美・安井 正良・金子 敏明
水口 定臣・二宮 久・西原 博明

1. はじめに

愛媛県では、原子力発電所周辺の環境モニタリングの一環として、大気浮遊じん中の放射能濃度を調査している。

その調査結果¹⁾の中から、宇宙線に起因するベリリウム-7及び中国核実験の影響によるヨウ素-131、セシウム-137、セリウム-144等、 γ 線放出核種の放射能濃度レベル、変動の地域差、年変動等の出現状況について考察したので、その結果を報告する。

2. 調査方法

2.1. 調査地点

調査地点は、本県の地勢上ほぼ中央に位置している松山市及び南西に位置する西宇和郡伊方町の2地点で、その調査地点を図1に示す。

2.2. 調査期間

調査期間は、昭和55年4月から59年3月までの4か年である。

2.3. 試料の採取

松山市では愛媛県生活保健ビル（松山市三番町8丁目）屋上に、伊方町では九町越公園の地上高に、米国スタプレクス社製バイポリウム・エアサンプラを設置し、毎月1回約24時間集じんした。

吸引量は、約2,500m³である。サンプリング用濾紙は、東洋濾紙(株)製ガラス繊維濾紙 GB100R (20.3×25.4cm)を用いた。

2.4. 測定

大気浮遊じんを捕集したガラス繊維濾紙を、直径2インチの円状に切り抜き、U-8容器に入れ、Ge (Li) 検出器による γ 線スペクトロメトリ²⁾を行った。

3. 結果

3.1. ベリリウム-7濃度と地域差

大気浮遊じん中のベリリウム-7濃度は、表1に示すとおり、最大値、最小値、平均値、標準偏差及び変動係数とも、松山市と伊方町での地域差はみられない。その変動傾向についても、図2に示すとおり毎月1回の採取日の異なる測定データであるが、両地点で類似している。

表1 大気浮遊じん中の⁷Be濃度

地点	試料数	最小値 (pCi/m ³)	最大値 (pCi/m ³)	平均値 (pCi/m ³)	標準偏差 (pCi/m ³)	変動係数
松山市	48	0.015	0.21	0.115	0.054	47%
伊方町	48	0.014	0.24	0.131	0.065	50%



図1 調査地点

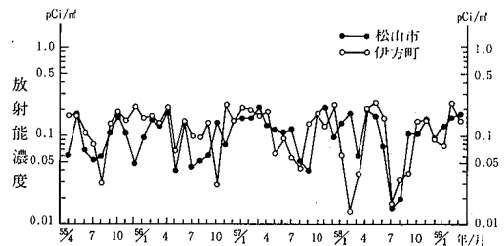


図2 大気浮遊じん中の⁷Be濃度変化

本調査によるベリリウム-7濃度の測定値約0.12pCi/m³は、天野らの調査による測定値約0.1pCi/m³と³⁾、また UNSCEAR 1982年報告書の中で、温帯地方における地表大気中のベリリウム-7濃度は約3,000uBg/m³ (0.08pCi/m³)との報告値⁴⁾とよく一致している。

なお、対流圏下層におけるベリリウム-7濃度の計算値は、0.5pCi/m³となっている⁵⁾。

3. 2. ベリリウム-7濃度の季節的変動傾向

大気浮遊じん中のベリリウム-7濃度の季節的変動傾向は⁶⁾、図3に示すとおり夏季に低い傾向がみられる。ちなみに、同調査期間における降下物(雨水、ちり)中のベリリウム-7濃度は、図4のとおり夏季に低く、春季に高い傾向を示している。このことから、夏季には大気中ベリリウム-7濃度が他の季節よりも低いことがわかる。

3. 3. 核実験の影響によるγ線放出核種濃度

昭和55年10月16日、中国において第26回核実験が行われた。その影響が現れている時期の調査結果を、表2に示す。松山市、伊方町とも同年11月核実験による放射能が検出され、おおむね1年間その影響がみられた。両地点とも、ランタン-140、ヨウ素-131、バリウム-140、セリウム-141、

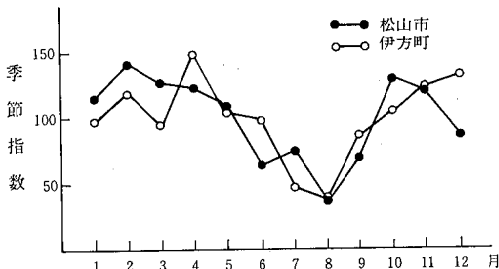


図3 大気浮遊じん中の⁷Beの季節変動

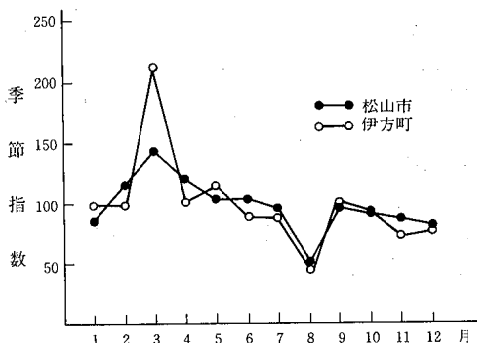


図4 降下物(雨水・ちり)中の⁷Beの季節変動

ニオブ-95、ルテニウム-103、ジルコニウム-95、セリウム-144、マンガン-54、ルテニウム-106、アンチモン-125及びセシウム-137の12核種が検出された。その出現傾向を図5及び図6に示す。

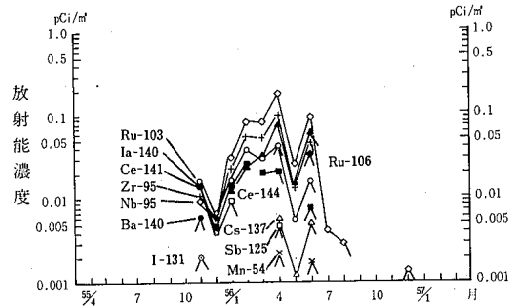


図5 大気浮遊じん中の放射性核種(松山市)

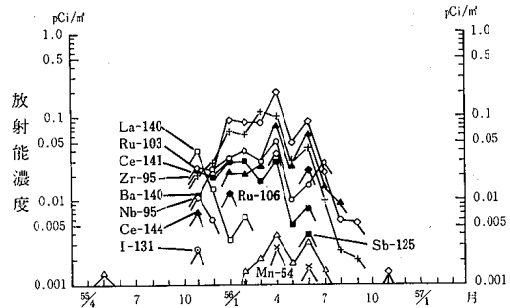


図6 大気浮遊じん中の放射性核種(伊方町)

また、同年11月27日、松山市において採取した大気浮遊じん中のγ線スペクトロメトリのスペクトルを参考までに図7に示す。

次に、核実験からの経過時間と核種別濃度比を表3に示す。経過時間が短い同年11月の測定では、短半減期核種の濃度比が高く、6か月経過した昭和56年4月の測定では、短半減期核種が検出されず、あるいはその割合が減少し、比較的長い半減期の核種濃度比が高くなっている⁹⁾。両地点においてその傾向は類似している。

4. まとめ

松山市と伊方町において採取した、大気浮遊じん中のγ線放出核種の放射能濃度を調査した結果、次のことがわかった。

- (1) 宇宙線に起因するベリリウム-7濃度及び中国核実験の影響による放射能濃度を、両地点に

表2 第26回中国核実験に起因する大気浮遊じん中の放射能濃度

調査月	調査地点	放射能濃度 (pCi/m ³)											
		¹⁴⁰ La (40.2h)	¹³¹ I (8.04d)	¹⁴⁰ Ba (12.8d)	¹⁴¹ Ce (32.5d)	⁹⁵ Nb (35d)	¹⁰³ Ru (39.6d)	⁹⁵ Zr (65d)	¹⁴⁴ Ce (284d)	⁵⁴ Mn (303d)	¹⁰⁶ Ru (367d)	¹²⁵ Sb (2.73y)	¹³⁷ Cs (30y)
55年 11月	松山市	0.0140	0.0019	0.0057	0.0140	0.0091	0.0150	0.0100	—	—	—	—	—
	伊方町	0.0390	0.0025	0.0120	0.0230	0.0110	0.0240	0.0200	0.0071	—	—	—	—
12月	松山市	0.0041	—	—	0.0047	0.0058	0.0064	0.0062	—	—	—	—	—
	伊方町	0.0130	—	0.0058	0.0190	0.0230	0.0230	0.0280	—	—	—	—	—
56年 1月	松山市	0.0089	—	—	0.0130	0.0300	0.0160	0.0210	0.0120	—	—	—	—
	伊方町	0.0033	—	—	0.0280	0.0890	0.0310	0.0650	0.0210	—	0.0120	—	—
2月	松山市	—	—	—	0.0240	0.0790	0.0360	0.0520	0.0220	—	—	—	—
	伊方町	0.0062	—	—	0.0290	0.0850	0.0380	0.0600	0.0200	0.0010	—	—	0.0014
3月	松山市	—	—	—	0.0190	0.0780	0.0280	0.0500	0.0310	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	0.0170	0.0840	0.0290	0.1100	0.0270	—	—	—	0.0020
4月	松山市	—	—	—	0.0200	0.1700	0.0400	0.0910	0.0760	0.0022	0.0380	0.0045	0.0053
	伊方町	—	—	—	0.0290	0.1900	0.0490	0.1000	0.0780	0.0027	0.0350	—	0.0039
5月	松山市	—	—	—	—	0.0250	0.0053	0.0130	0.0140	—	—	—	0.0012
	伊方町	—	—	—	0.0054	0.0490	0.0100	0.0280	0.0280	0.0016	—	—	0.0018
6月	松山市	—	—	—	0.0075	0.0880	0.0150	0.0430	0.0590	0.0017	0.0320	—	0.0048
	伊方町	—	—	—	0.0083	0.0880	0.0150	0.0420	0.0600	—	0.0230	0.0039	0.0034
7月	松山市	—	—	—	—	0.0041	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	0.0220	0.0280	0.0098	0.0150	—	—	—	0.0015
8月	松山市	—	—	—	—	0.0028	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	0.0060	—	0.0025	0.0094	—	—	—	—
9月	松山市	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	0.0055	—	0.0020	—	—	—	—	—
10月	松山市	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11月	松山市	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	0.0014	—	—	—	—	—	—	—
12月	松山市	—	—	—	—	0.0013	—	—	—	—	—	—	—
	伊方町	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(注)1 放射能濃度欄の()は、当該核種の半減期を示す。
2 測定値は、減衰補正した値である。

において比較すると、その出現状況に差はみられない。

- (2) 地表大気中のベリリウム-7濃度は、約0.12pCi/m³であり、夏季に低い傾向を示す。
- (3) 第26回中国核実験の影響は、おおむね1年間その影響がみられた。両地点とも、ヨウ素-131、セシウム-137及びセリウム-144等12核種が検出された。
- (4) 核実験後、早期には、短半減期核種が検出され、6か月後には、比較的長い半減期の核種濃度比が高い。

5. おわりに

大気浮遊じん中の放射能調査は、環境状況の把握及び人の内部被曝線量を算出する上で有用である。もともと地殻に存在しているウラン系列、トリウム系列の壊変核種やカリウム-40等については、本調査が原子力発電所周辺監視のための定常業務の中での調査であることから、初期の測定目的の核種に限定し評価した。

— 参 考 文 献 —

- 1) 愛媛県：伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果，昭和55年度～58年度
- 2) 科学技術庁：ゲルマニウム半導体検出器を用いた機器分析法（54年改訂）
- 3) 天野 光ほか：第19回放射能調査研究成果論文抄録集（昭和51年度）科学技術庁，53，54
- 4) 放射線医学総合研究所監訳：放射線とその人間への影響，148，161
- 5) 岡線真治ほか：原子力工業，第23巻，第8号，94，95
- 6) 松浦榮美ほか：愛媛県公害技術センター所報第4号，28～31，1982
- 7) 岡野真治ほか：原子力工業，第23巻，第8号，105～107

表3 経過時間と核種別濃度比(%)

核種	55年11月		56年4月	
	松山市 43日経過	伊方町 37日経過	松山市 190日経過	伊方町 175日経過
La - 140	20.1	28.1	—	—
I - 131	2.7	1.8	—	—
Ba - 140	8.2	8.7	—	—
Ce - 141	20.1	16.6	4.5	5.9
Nb - 95	13.1	7.9	38.0	40.0
Ru - 103	21.5	17.3	8.9	10.0
Zr - 95	14.3	14.4	20.4	20.5
Ce - 144	—	5.1	17.0	16.0
Mn - 54	—	—	0.5	0.6
Ru - 106	—	—	8.5	7.2
Sb - 125	—	—	1.0	—
Cs - 137	—	—	1.2	0.8

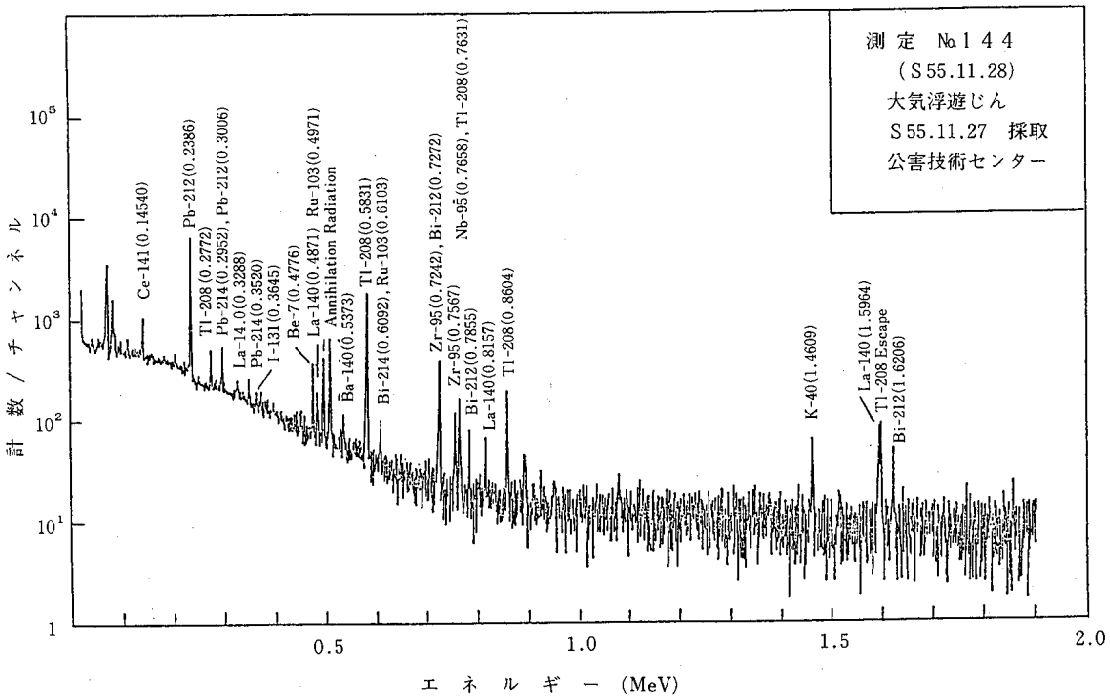


図7 大気浮遊じん（松山市、S55.11.27） γ 線スペクトル

環境におけるストロンチウムの挙動

二 宮 久

1. はじめに

当センターでは、伊方原子力発電所周辺の環境放射能監視のため、定期的に環境試料中のストロンチウム-90の分析を行ってきた。

検出されるストロンチウム-90は核実験の影響によるものであるが、環境放射能監視におけるバックグラウンドとしてその挙動を把握しておく事は、異常を検出する上にも重要な事である。

これまでの分析結果をとりまとめ、若干の知見を得たのでここに報告する。

2. 調査方法

2. 1. 試料採取場所

陸土、陸上生物については伊方町、海水、海産生物については伊方町沖のそれぞれ定点において採取した。

2. 2. 試料採取方法

科学技術庁発行「放射性ストロンチウム分析法」(1974)の試料採取法に準じた。

陸土は表層10cm、海水は表面水を採取した。

2. 3. 試 薬

試薬はすべて特級を使用し、科学技術庁発行「放射性ストロンチウム分析法」(1974)の試薬の項に準じて調製した。

ストロンチウム-90放射能標準には、日本アイソトープ協会製の標準溶液を必要に応じ希釈して使用した。

2. 4. 装 置

原子吸光分析には日立製原子吸光光度計(170-30)を使用した。 β 線の測定にはアロ力製低バックグラウンド放射能測定装置(LBC-451)を使用した。

2. 5. 実験方法

試料前処理方法、安定ストロンチウム測定方法、ストロンチウム-90測定方法共に、科学技術庁発行「放射性ストロンチウム分析法」(1974)に準じた。

3. 結果及び考察

3. 1. 陸土中のストロンチウム-90濃度の経年変化

図1に陸土中のストロンチウム-90濃度の経年変化を示す。図中の点は、3地点×2回毎年の測定値の各年度毎の平均値である。

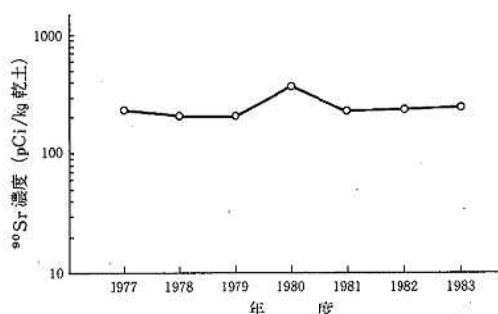


図1 陸土中の ^{90}Sr 濃度の経年変化

図1から明らかなように、ほぼ一定値で推移している。中国核実験による影響はみられない。

1980年度の値がやや高くなっているが、この年度の試料は6件共第26回中国核実験以前に採取しており、単に試料数が少ないためのばらつきであると思われる。

1977~1983年度の平均値として、240pCi/kg 乾土を得た。当3地点の表層10cmの採取においては、平均4.3g 乾土/cm²であるから、表層10cmには約10mCi/km²のストロンチウム-90を蓄蔵している事になる。

一方、放医研による報告²⁾から算出した1978~1982年度の全国平均ストロンチウム-90降下量は、0.27mCi/km²・yであり、先の蓄蔵量のわずか数%にすぎない。

この降下物による増加と物理学的減衰、表面流失、浸透、植物による摂取等による減少とが釣合っているために、表層濃度が変化しないと思われるが、降下量の割合が小さいことから、ストロンチウムは容易には減少しない事がうかがえる。

3. 2. 海水中のストロンチウム-90濃度の経年変化

図2に海水中のストロンチウム-90濃度の経年変化を示す。図中の点は、1地点×4回毎年の測定値の各年度毎の平均値である。

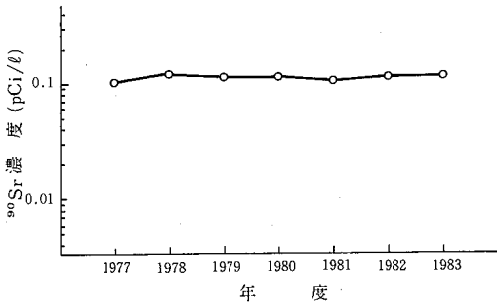


図2 海水中の⁹⁰Sr濃度の経年変化

陸土においてみられた濃度一定の傾向は、より明瞭にあらわれている。これは、試料が水溶液であるために、試料の代表性が大きいと思われる。

陸土と同様に、海水の大きなストロンチウム-90蓄蔵量に比して、降下物による供給量はわずかであり、また、ストロンチウムの水への溶解度が大きいので、沈降や吸着による減少も小さく、ほぼ一定値を保っているものと思われる。

3. 3. 安定ストロンチウム濃度とストロンチウム-90濃度の関係

図3に、1977~1983年度の試料について、安定ストロンチウムとストロンチウム-90濃度の関係を示す。斜線によるスケールは、比放射能 (pCi/mg) を示す。海水については、1l=1kgとした。

図3から明らかなように、陸上生物と陸土、海産生物と海水は、それぞれ同一比放射能線上に位置している。これは、ストロンチウムが一つの酸化状態しかとらないため、酸化状態の違いによる挙動の差がなく、陸上生物はその生存環境である陸土から、海産生物は同じく海水から、ストロンチウムを摂取するためと思われる。

コバルト-60等、いくつかの酸化状態で存在し得る元素は、各酸化状態における比放射能が異なり、さらに、各酸化状態で化学的挙動も異なるため、このような明確な関係を示さない³⁾。

3. 4. 濃縮係数

図4に各生物のストロンチウム濃縮係数を示す。

海産生物の濃縮係数は、生体生重量当たりの安

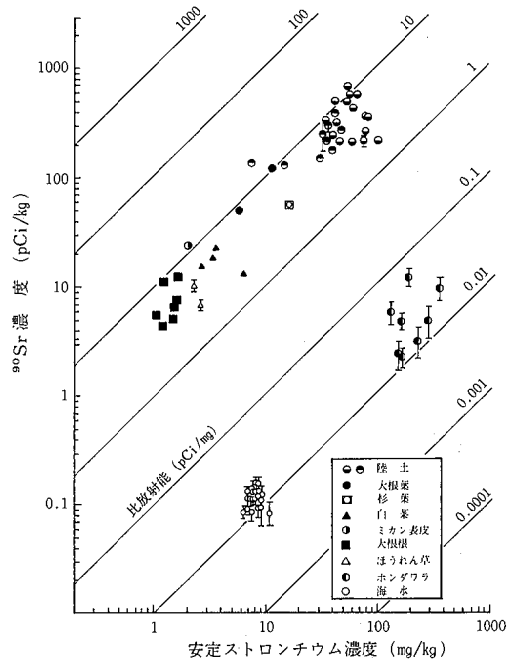


図3 安定ストロンチウム濃度とストロンチウム-90濃度の関係

定ストロンチウム濃度と海水の安定ストロンチウム濃度の比より求めた。海水 1l=1kg とした。

陸上生物の濃縮係数については、生体生重量当たりの安定ストロンチウム濃度と陸土湿重量当たりの安定ストロンチウム濃度の比より算出した。陸土湿重量当たりの安定ストロンチウム濃度は、1977~1983年度の平均値23.4mg/kg 湿土を使用した。

明らかに、海産生物の方が陸上生物に比べて高い濃縮係数を示している。

最も高い濃縮係数を示しているのはホンダワラで、その値は日本産褐藻類の平均濃縮係数²⁴⁾とよく一致している。褐藻類は、ストロンチウムと親和性の強いアルギン酸を構成成分として多量に含むため高い濃縮係数を示すという報告がある³⁾。

魚類の可食部と可食部外とを比較すると、明らかに可食部外の濃縮係数の方が高い。可食部外の大部分は、ストロンチウムと親和性の大きい骨成分であることを考えれば当然であろう。

陸上生物では、杉葉が最も大きく、以下大根葉、白菜と続く。杉葉は、内部被ばく線量にはかかわってこないが、指標生物として有用であろう。

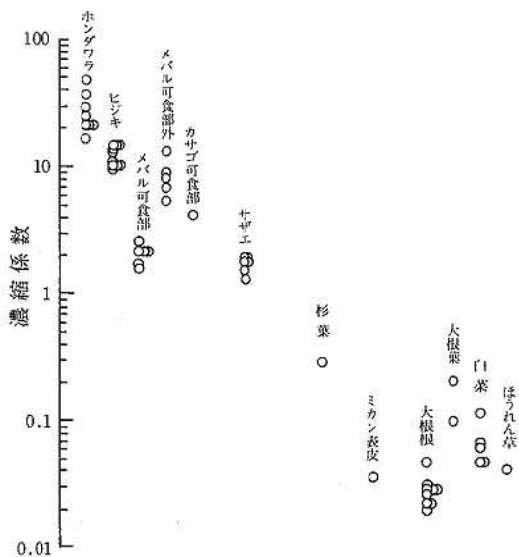


図4 濃縮係数

4. まとめ

これまでのストロンチウムの分析結果から、その環境中での挙動について以下の点を明らかにした。

- (1) 1977～1983年度の陸土及び海水中のストロンチウム-90濃度は、ほぼ一定値で推移している。
- (2) 生物の比放射能は、その生育環境の比放射能とほぼ等しい。
- (3) 海産生物の濃縮係数は、陸上生物のそれよりも大きい。また、それぞれ最大の濃縮係数を示したものはホンダワラと杉葉であった。

—参考文献—

- 1) 科学技術庁：放射性ストロンチウム分析法，1974
- 2) National Institute of Radiological Sciences：RADIOACTIVITY SURVEY DATA in Japan, 1978～1982
- 3) 樋口英雄他：海産生物中の安定および放射性コバルトの関係，202～203
- 4) 山根 登：生物濃縮，33，1978
- 5) 同上，39，同上

ガンマ線スペクトロメータ相対計数効率 算出方法と測定結果について

西原博明

1. はじめに

ガンマ線スペクトロメータによる測定は、過去10年以前では非常に少数の分析機関で行われていただけで、稀少価値があったが、現在では、一般の放射能分析機関にあっては最もルーチ的なものとなった。また、現今のめざましい技術的發展に伴い、スペクトロメータもその例外ではなく、検出器に例をとっても NaI (Tl) シンチレーション検出器、Ge (Li) 半導体検出器、次に高純度 Ge 半導体検出器に到り、相対効率についても60%のものが出現している。

我々の分析機関においても、昭和50年に最初の Ge (Li) 半導体検出器 (相対効率10%)、55年に二番目の Ge (Li) 半導体検出器 (相対効率15%)、次に58年に高純度 Ge 半導体検出器 (相対効率30%) を導入した。

測定方法については、「ゲルマニウム半導体検出器を用いた機器分析法」(昭和54年改訂, 科学技術庁) が出て、一応これを基にして各機関が測定を行っているが、機器の進歩と共に、高精度の測定結果を得るには、自己吸収補正, サム効果補正等の必要性が生じている。

このたび、自己吸収補正, サム効果補正等を考慮した高さ別相対計数効率曲線を求め、それによってより高精度の測定結果を得ることを試み、若干の精度の改良をみたので、報告する。

2. 調査方法及び結果

2. 1. 使用測定装置の仕様

使用測定装置の仕様は試料容器, シャへい体を含めて表1のとおりである。

2. 2. γ 線標準線源の成績書と測定試料

2. 2. 1. γ 線標準線源の成績書

γ 線標準線源 (AL-29-1~5) (アルミナ) は(株)日本アイソトープ協会から入手したものである。

成績書は表2のとおりである。

表1 使用測定装置の仕様

測定装置のNo	GMX-30200
純Ge検出器	Ortec GMX-30200, CFG-SV, DWR-30
検出器印加電圧	3000V
FWHM	1.95keV
P/C	50/1
相対効率	30%
前置増幅器	Ortec 137CN2-2
主増幅器	Ortec 572
高圧電源	Ortec 459
波高分析器	Ortec 7050
校正用線源	日本アイソトープ協会製容積線源(γ 線標準線源, アルミナ) KCl容積線源
試料容器	u-8(スチロール製 50×65mm), 内径48mm
シャへい体	Pb 10cm Fe 1.5cm 無酸素銅 2cm アクリル0.5cm
測定室温湿度調整	温度 24±1℃ 湿度 約50%

線源番号	高さ(mm)	重量(g)
AL-29-1	10	19.21
AL-29-2	20	39.23
AL-29-3	30	58.48
AL-29-4	40	77.64
AL-29-5	50	97.05

2. 2. 2. 測定試料

測定試料(校正用試料(寒天)(PD-5809-E-1~10))は昭和58年度放射能分析確認調査事業の標準試料法の一環として、(財)日本分析センターから配布されたものである。

内容は表3のとおりである。

2. 3. K-40の計数効率

高さ補正を決定するために、K-40の計数効率(nCi/cps)を求める。

この場合、K-40(1.46085MeV) = 1である。

あらかじめ十分に乾燥した塩化カリウムを高さ別10種類について、最小2乗法により、次式を求める。

表2 γ線標準線源

(コード: JVC-731 検定日: 昭和58年6月13日12:00)

核種	線源番号	放射能		精度 (%)			備考
		nCi/g	Bq(×10 ³)/g	a	b	c	
Am-241	AL-29-1 5	1.61 ₄	5.97 ₀	1.0	3.8	4.8	
Cd-109		12.3 ₇	45.7 ₇	1.2	3.8	5.0	
Co-57		0.581 ₆	2.15 ₂	1.0	3.7	4.7	
Ce-139		0.392 ₉	1.45 ₄	0.5	3.9	4.5	
Cr-51		5.21 ₁	19.2 ₈	0.8	3.7	4.5	
Sr-85		1.07 ₉	3.99 ₁	0.9	3.7	4.6	
Cs-137		0.811 ₆	3.00 ₈	0.8	2.7	3.5	
Mn-54		1.24 ₂	4.59 ₇	0.9	3.7	4.6	
Y-88		1.18 ₉	4.40 ₀	0.8	3.7	4.5	
Co-60		1.52 ₄	5.63 ₉	0.2	1.7	1.9	

表3 測定試料

試料名	試料番号	高さ(mm)	重量(g)
校正用試料(寒天)	PD-5809-E-1	4.8	9.89
〃	〃 2	11.0	21.05
〃	〃 3	19.4	36.30
〃	〃 4	29.1	54.20
〃	〃 5	47.8	88.47
〃	〃 6	5.4	10.84
〃	〃 7	11.7	22.57
〃	〃 8	19.2	35.89
〃	〃 9	28.7	53.45
〃	〃 10	48.9	90.26

試料の組成等

- 1) 寒天溶液に放射性核種を添加し、測定容器に入れて固化密封した。
- 2) 調整年月日 昭和58年6月13日12:00

$$1/E_p(h) =$$

$$1.4636843 + 0.0457900h + 0.0000382h^2$$

2.4. 自己吸収補正のためのα値, β値

「自己吸収補正」相対計数効率を求めるにあたって、原研野口等の方法¹⁾⁻²⁾を使用する。

最適のα値, β値を求めると、α=0.20, β=0.87である。

2.5. 質量吸収係数, 線吸収係数

2.5.1. 質量吸収係数¹⁾⁻²⁾

γ線標準線源(AL-29-1~5)を校正用試料(寒天)(PD-5809-E-1~10)の質量吸収係数を求めた結果を表4, 表5に示す。

2.5.2. 線吸収係数

γ線標準線源(AL-29-1~5)と校正用試料(寒

表4 γ線標準線源の質量吸収係数

単位: cm²/g

核種	エネルギー(Mev)	土壌, 灰化試料等	リンモリブデン酸アンモニウム
Am-241	0.05954	0.1559901	2.6482242
Cd-109	0.08803	0.1465157	0.8871380
Co-57	0.12206	0.1368165	0.4195035
Co-57	0.13647	0.1332057	0.3362337
Ce-139	0.1658	0.1266133	0.2383581
Cr-51	0.32003	0.1026343	0.1106319
Sr-85	0.5140	0.0850354	0.0850354
Cs-137	0.66164	0.0759614	0.0759614
Mn-54	0.83483	0.0679363	0.0679363
Y-88	0.8980	0.0654975	0.0654975
Co-60	1.17321	0.0569273	0.0569273
Co-60	1.33248	0.0530665	0.0530665
Y-88	1.8361	0.0440271	0.0440271

表5 校正用試料(寒天)の質量吸収係数

単位: cm²/g

核種	エネルギー(Mev)	土壌, 灰化試料等	リンモリブデン酸アンモニウム
Cd-109	0.08803	0.1465157	0.8871380
Co-57	0.12206	0.1368165	0.4195035
Co-57	0.13647	0.1332057	0.3362337
Ce-139	0.1658	0.1266133	0.2383581
Cr-51	0.32003	0.1026343	0.1106319
Cs-137	0.66164	0.0759614	0.0759614
Mn-54	0.83483	0.0679363	0.0679363
Y-88	0.8980	0.0654975	0.0654975
Fe-59	1.09922	0.0589596	0.0589596
Co-60	1.17325	0.0569262	0.0569262
Fe-59	1.29156	0.0539986	0.0539986
Co-60	1.33248	0.0530665	0.0530665
Y-88	1.836014	0.0440284	0.0440284

天)(PD-5809-E-1~10)の線吸収係数を求めた結果を表6, 表7に示す。

2.6. 相対計数効率

「自己吸収補正あり」と「自己吸収補正なし」の相対計数効率を各々表8と表9に示す。

なお, γ線標準線源(AL-29-1~5)にCo-60, Y-88が含まれているので, Co-60, Y-88のサム効果補正を行っていることになる。

2.7. 相対計数効率曲線の式

γ線標準線源(AL-29-1~5)の相対計数効率(自己吸収補正あり, なし)を基にして, 相対計数効率曲線を次の3つのケースに分けて, 最小2乗法により自然対数の4次式と2次式で求める。

表6 γ 線標準線源の線吸収係数単位: cm^{-1}

核種	エネルギー (MeV)	AL-29-1 19.21g h=10mm	AL-29-2 39.23g h=20mm	AL-29-3 58.48g h=30mm	AL-29-4 77.64g h=40mm	AL-29-5 97.05g h=50mm
Am-241	0.05954	0.1655968	0.1690881	0.1680393	0.1673209	0.1673209
Ca-109	0.08803	0.1555389	0.1588181	0.1578330	0.1571583	0.1571583
Co-57	0.12206	0.1452424	0.1483045	0.1473846	0.1467546	0.1467546
Co-57	0.13647	0.1414092	0.1443905	0.1434949	0.1428815	0.1428815
Ce-139	0.1658	0.1344108	0.1372446	0.1363933	0.1358102	0.1358102
Cr-51	0.32003	0.1089551	0.1112521	0.1105621	0.1100894	0.1100894
Sr-85	0.5140	0.0902723	0.0921755	0.0916038	0.0911122	0.0912122
Cs-137	0.66164	0.0806395	0.0823396	0.0818289	0.0814791	0.0814791
Mn-54	0.83483	0.0721202	0.0736407	0.0731839	0.0728710	0.0728710
Y-88	0.8980	0.0695312	0.0709971	0.0705567	0.0702551	0.0702551
Co-60	1.17321	0.0604332	0.0617073	0.0613245	0.0610623	0.0610623
Co-60	1.33248	0.0563346	0.0575223	0.0571655	0.0569211	0.0569211
Y-88	1.8361	0.0467385	0.0477239	0.0474279	0.0472251	0.0472251

表7 校正用試料(寒天)の線吸収係数

単位: cm^{-1}

核種	エネルギー (MeV)	PD-5809-E-1 9.89g h=4.8mm	PD-5809-E-2 21.05g h=11.0mm	PD-5809-E-3 36.30g h=19.4mm	PD-5809-E-4 54.20g h=29.1mm	PD-5809-E-5 88.47g h=47.8mm	PD-5809-E-6 10.84g h=5.4mm	PD-5809-E-7 22.57g h=11.7mm	PD-5809-E-8 35.89g h=19.2mm	PD-5809-E-9 53.45g h=28.7mm	PD-5809-E-10 90.26g h=48.9mm
Cd-109	0.08803	0.1668272	0.1549427	0.1515014	0.1508058	0.1498580	0.1625351	0.1561915	0.1513505	0.1507917	0.1494538
Co-57	0.12206	0.1557834	0.1446857	0.1414721	0.1408226	0.1399375	0.1517755	0.1458518	0.1413313	0.1408095	0.1395573
Co-57	0.13647	0.1516720	0.1408672	0.1377385	0.1371061	0.1362444	0.1477699	0.1420025	0.1376013	0.1370933	0.1358742
Ce-139	0.1658	0.1441657	0.1338956	0.1309217	0.1303206	0.1295016	0.1404567	0.1349748	0.1307914	0.1303085	0.1291497
Cr-51	0.32003	0.1168625	0.1085374	0.1061268	0.1056395	0.1049756	0.1138559	0.1094122	0.1050211	0.1056297	0.1046903
Cs-137	0.66164	0.0864919	0.0803304	0.0785462	0.0781856	0.0776942	0.0842667	0.0809778	0.0734680	0.0781783	0.0774831
Mn-54	0.83483	0.0773543	0.0718437	0.0702480	0.0699255	0.0694860	0.0753642	0.0724228	0.0701781	0.0699190	0.0692972
Y-88	0.8980	0.0745774	0.0692646	0.0677263	0.0674153	0.0669916	0.0726587	0.0698229	0.0676588	0.0674090	0.0668096
Fe-59	1.09922	0.0671331	0.0623507	0.0609659	0.0606860	0.0603045	0.0654060	0.0628532	0.0609052	0.0606803	0.0601407
Co-60	1.17325	0.0648179	0.0602003	0.0588633	0.0585930	0.0582248	0.0631503	0.0605855	0.0588047	0.0585876	0.0580665
Fe-59	1.29156	0.0614844	0.0571044	0.0558361	0.0555797	0.0552304	0.0599026	0.0575646	0.0557805	0.0555745	0.0550803
Co-60	1.33248	0.0604231	0.0561186	0.0548722	0.0546203	0.0542770	0.0588685	0.0565710	0.0548176	0.0546152	0.0541295
Y-88	1.836014	0.0501320	0.0465607	0.0455266	0.0453176	0.0450327	0.0488423	0.0469360	0.0454812	0.0453133	0.0449104

2. 7. 1. エネルギー $0.05\text{MeV} < E < 0.25\text{MeV}$

高さ $h=10, 20, 30, 40, 50\text{mm}$ の高さ別 5 種類について、自己吸収補正あり、なしに分けて 10 個の自然対数の 4 次式である。

2. 7. 2. エネルギー $0.25\text{MeV} < E < 2.0\text{MeV}$

高さ $h=10, 20, 30, 40, 50\text{mm}$ の高さ別 5 種類について、Co-60, Y-88 のサム効果補正なしで自己吸収補正あり・なしに分けて 10 個の自然対

表8 相対計数効率 (自己吸収補正あり、サム効果補正あり)

核種	エネルギー (keV)	γ線標準線源 h=10mm	同左 h=20mm	同左 h=30mm	同左 h=40mm	同左 h=50mm
Am-241	59.54	10.400 ±0.0151	9.747 ±0.0119	9.228 ±0.0113	9.019 ±0.0113	8.596 ±0.0115
Cd-109	88.03	10.877 ±0.0189	10.329 ±0.0150	9.954 ±0.0144	9.747 ±0.0145	9.389 ±0.0149
Co-57	122.06	9.676 ±0.0170	9.294 ±0.0135	9.036 ±0.0129	8.848 ±0.0129	8.563 ±0.0133
Co-57	136.47	8.960 ±0.0658	8.479 ±0.0537	8.231 ±0.0526	8.122 ±0.0541	7.886 ±0.0565
Ce-139	165.8	7.269 ±0.0214	7.189 ±0.0172	7.094 ±0.0167	7.004 ±0.0168	6.811 ±0.0174
Cr-51	320.03	4.456 ±0.0274	4.385 ±0.0209	4.207 ±0.0207	4.178 ±0.0204	4.007 ±0.0208
Sr-85	514.0	2.679 ±0.0077	2.601 ±0.0060	2.572 ±0.0057	2.549 ±0.0058	2.481 ±0.0058
Cs-137	661.64	2.188 ±0.0063	2.035 ±0.0048	2.041 ±0.0045	2.013 ±0.0045	1.990 ±0.0046
Mn-54	834.83	1.790 ±0.0043	1.734 ±0.0033	1.706 ±0.0032	1.693 ±0.0031	1.650 ±0.0032
Y-88	898.0	1.483 ±0.0050	1.478 ±0.0039	1.468 ±0.0038	1.462 ±0.0037	1.436 ±0.0037
Co-60	1173.21	1.186 ±0.0029	1.182 ±0.0023	1.175 ±0.0022	1.173 ±0.0022	1.156 ±0.0022
Co-60	1332.48	1.055 ±0.0027	1.051 ±0.0021	1.048 ±0.0020	1.047 ±0.0020	1.027 ±0.0020
Y-88	1836.1	0.755 ±0.0031	0.758 ±0.0024	0.759 ±0.0023	0.759 ±0.0023	0.742 ±0.0023

表9 相対計数効率 (自己吸収補正なし、サム効果補正あり)

核種	エネルギー (keV)	γ線標準線源 h=10mm	同左 h=20mm	同左 h=30mm	同左 h=40mm	同左 h=50mm
Am-241	59.54	9.953 ±0.0145	8.973 ±0.0109	8.244 ±0.0101	7.857 ±0.0099	7.325 ±0.0098
Cd-109	88.03	10.451 ±0.0182	9.587 ±0.0139	8.992 ±0.0130	8.607 ±0.0128	8.127 ±0.0129
Co-57	122.06	9.345 ±0.0164	8.700 ±0.0126	8.258 ±0.0118	7.924 ±0.0116	7.532 ±0.0117
Co-57	136.47	8.668 ±0.0636	7.963 ±0.0504	7.555 ±0.0483	7.312 ±0.0487	6.915 ±0.0499
Ce-139	165.8	7.054 ±0.0207	6.791 ±0.0163	6.563 ±0.0154	6.367 ±0.0153	6.095 ±0.0155
Cr-51	320.03	4.374 ±0.0269	4.231 ±0.0201	4.007 ±0.0197	3.935 ±0.0192	3.737 ±0.0194
Sr-85	514.0	2.652 ±0.0076	2.549 ±0.0059	2.503 ±0.0056	2.466 ±0.0056	2.386 ±0.0055
Cs-137	661.64	2.175 ±0.0062	2.011 ±0.0047	2.008 ±0.0045	1.974 ±0.0044	1.946 ±0.0045
Mn-54	834.83	1.787 ±0.0043	1.726 ±0.0033	1.696 ±0.0032	1.681 ±0.0031	1.636 ±0.0031
Y-88	898.0	1.482 ±0.0050	1.474 ±0.0039	1.464 ±0.0038	1.458 ±0.0037	1.430 ±0.0037
Co-60	1173.21	1.190 ±0.0030	1.189 ±0.0023	1.184 ±0.0022	1.185 ±0.0022	1.170 ±0.0022
Co-60	1332.48	1.060 ±0.0028	1.060 ±0.0022	1.061 ±0.0020	1.064 ±0.0020	1.047 ±0.0021
Y-88	1836.1	0.762 ±0.0032	0.768 ±0.0075	0.778 ±0.0024	0.783 ±0.0023	0.769 ±0.0024

数の2次式である。

2. 7. 3. エネルギー $0.25\text{MeV} < E < 2.0\text{MeV}$

高さ $h=10, 20, 30, 40, 50\text{mm}$ の高さ別5種類について, Co-60 , Y-88 のサム効果補正あり

で自己吸収補正あり・なしに分けて10個の自然対数の2次式である。

以上, 3つのケースの相対計数効率の求め方の流れ図を図1に示し, 求めた結果の式を表10に示す。

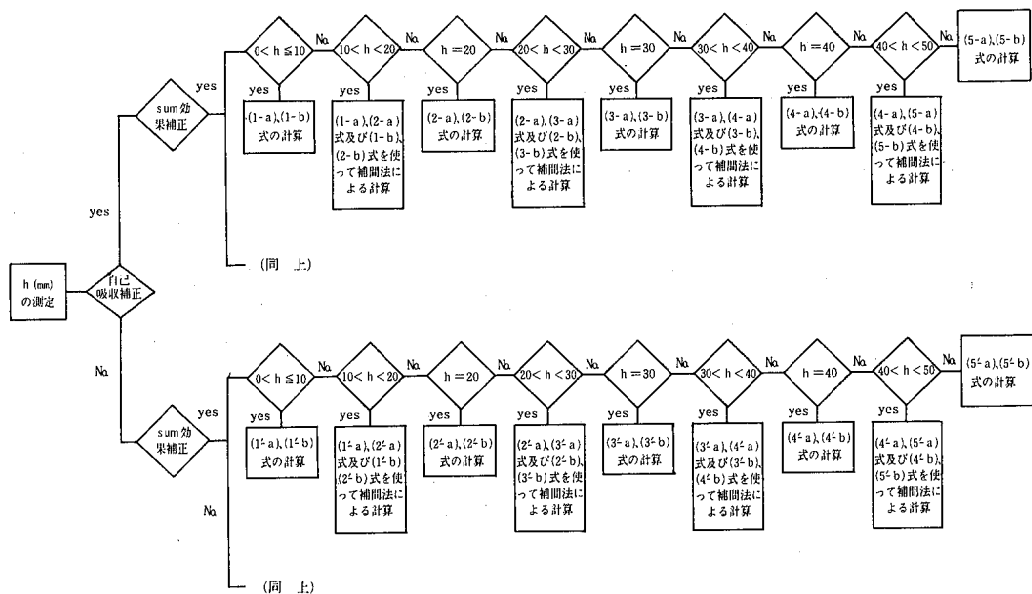


図1 相対計数効率の求め方

2. 8. 測定試料の相対計数効率の値

2. 7. の相対計数効率曲線を基にして, Co-60 , Y-88 以外の核種について自己吸収補正あり・なしの相対計数効率の値及び Co-60 , Y-88 について自己吸収補正あり・なしの相対計数効率の値を求め, その結果を表11, 表12に示す。

2. 9. 測定試料の全計数効率の値

各試料の高さ, 線吸収係数, 相対計数効率, 存在比により, 自己吸収補正あり・なしの全計数効率の値を算出した結果を表13, 表14に示す。

2. 10. 測定試料の測定結果

測定試料 (校正用試料 (寒天) (PD-5809-E-1~10)) 10個について, 自己吸収補正あり・なしの測定結果を表15, 表16に示し, 「自己吸収補正あり」の測定結果について添加量からの最大偏差を表17に示す。

3. ま と め

表17において, 13のエネルギー領域を有す9種類の γ 線放出核種について, 898.0keV の Y-88 の最大偏差14.9%を除く12領域の最大偏差が10%以内であり, それらの中の9領域の最大偏差が5%以内にある。

898.0keV の Y-88 の最大偏差14.9%については, サム効果補正の方法の改良と併せて今後の検討課題として残る。

— 参 考 文 献 —

- 1) 野口正安, 本田哲太郎, 武田健治, 宮野敬治 : Radioisotope, 27, 7, 1978
- 2) 野口正安, 本田哲太郎, 武田健治, 宮野敬治 : 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, 28p-II-15, 1978

表10 相対計数効率曲線の式

高さ	エネルギー		0.05MeV < E < 0.25MeV		0.25MeV < E < 2.0MeV	
	自己吸収補正					
h=10mm	あり	(1-a) $\ln E_p^* = 12.5525356 + 24.9252590(\ln E) + 19.6280363(\ln E)^2 + 6.3314982(\ln E)^3 + 0.7270223(\ln E)^4$ (R=0.9999479)	(1-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3524488 - 1.0340218(\ln E) - 0.0645478(\ln E)^2$ (R=0.9986820) $\ln E_p^* = 0.3868972 - 1.0019735(\ln E) - 0.0595800(\ln E)^2$ (R=0.9991612)	
	なし	(1'-a) $\ln E_p^* = 12.5662757 + 24.9687620(\ln E) + 19.6478302(\ln E)^2 + 6.3382719(\ln E)^3 + 0.7279646(\ln E)^4$ (R=0.9999455)	(1'-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3531173 - 1.0188281(\ln E) - 0.0656744(\ln E)^2$ (R=0.9986446) $\ln E_p^* = 0.3850054 - 0.9930835(\ln E) - 0.0635455(\ln E)^2$ (R=0.9991392)	
h=20mm	あり	(2-a) $\ln E_p^* = 7.9810056 + 15.0375389(\ln E) + 11.9662767(\ln E)^2 + 3.7956486(\ln E)^3 + 0.42155923(\ln E)^4$ (R=0.9999043)	(2-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3315416 - 0.9963788(\ln E) - 0.0391372(\ln E)^2$ (R=0.9988140) $\ln E_p^* = 0.3594342 - 0.9595065(\ln E) - 0.0283789(\ln E)^2$ (R=0.9985268)	
	なし	(2'-a) $\ln E_p^* = 7.9740190 + 15.0503820(\ln E) + 11.9501279(\ln E)^2 + 3.7906353(\ln E)^3 + 0.4212186(\ln E)^4$ (R=0.9998952)	(2'-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3314603 - 0.9692929(\ln E) - 0.0421067(\ln E)^2$ (R=0.9987578) $\ln E_p^* = 0.3551857 - 0.9417061(\ln E) - 0.0351428(\ln E)^2$ (R=0.9984878)	
h=30mm	あり	(3-a) $\ln E_p^* = 5.7321189 + 10.3862762(\ln E) + 8.4664551(\ln E)^2 + 3.6604338(\ln E)^3 + 0.286419(\ln E)^4$ (R=0.9997898)	(3-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3288967 - 0.9799114(\ln E) - 0.0342336(\ln E)^2$ (R=0.9992533) $\ln E_p^* = 0.3531343 - 0.9373532(\ln E) - 0.0202821(\ln E)^2$ (R=0.9993295)	
	なし	(3'-a) $\ln E_p^* = 5.7403103 + 10.4409020(\ln E) + 8.472274(\ln E)^2 + 2.6625491(\ln E)^3 + 0.2869612(\ln E)^4$ (R=0.9997598)	(3'-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3248938 - 0.9391356(\ln E) - 0.0360743(\ln E)^2$ (R=0.9992385) $\ln E_p^* = 0.3474897 - 0.9132747(\ln E) - 0.0297079(\ln E)^2$ (R=0.9993100)	
h=40mm	あり	(4-a) $\ln E_p^* = 5.3837528 + 9.6501619(\ln E) + 7.9068529(\ln E)^2 + 2.4820586(\ln E)^3 + 0.2653573(\ln E)^4$ (R=0.9998885)	(4-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3189290 - 0.9716286(\ln E) - 0.0316282(\ln E)^2$ (R=0.9992499) $\ln E_p^* = 0.3475658 - 0.9281769(\ln E) - 0.0165394(\ln E)^2$ (R=0.9991806)	
	なし	(4'-a) $\ln E_p^* = 5.3794842 + 9.6865641(\ln E) + 7.8901101(\ln E)^2 + 2.4765756(\ln E)^3 + 0.2655285(\ln E)^4$ (R=0.9998675)	(4'-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3207013 - 0.9209524(\ln E) - 0.0336986(\ln E)^2$ (R=0.9991850) $\ln E_p^* = 0.3407790 - 0.8987926(\ln E) - 0.0285364(\ln E)^2$ (R=0.9991665)	
h=50mm	あり	(5-a) $\ln E_p^* = 4.9204091 + 8.8181156(\ln E) + 7.3253466(\ln E)^2 + 2.3043357(\ln E)^3 + 0.2454241(\ln E)^4$ (R=0.9999115)	(5-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.2983979 - 0.9660752(\ln E) - 0.0326270(\ln E)^2$ (R=0.9994872) $\ln E_p^* = 0.3345365 - 0.8969367(\ln E) - 0.0049133(\ln E)^2$ (R=0.9994825)	
	なし	(5'-a) $\ln E_p^* = 4.1148977 + 7.075065(\ln E) + 5.8820790(\ln E)^2 + 1.8120653(\ln E)^3 + 0.1849392(\ln E)^4$ (R=0.9996793)	(5'-b)	Co-60 Y-88 上記以外	$\ln E_p^* = 0.3003137 - 0.9070644(\ln E) - 0.0349995(\ln E)^2$ (R=0.9994222) $\ln E_p^* = 0.3265886 - 0.8626182(\ln E) - 0.0184723(\ln E)^2$ (R=0.9995024)	

表11 校正用試料(寒天) (PD-5809-E-1~10)の相対計数効率(自己吸収補正あり)の値

№	試料	核種名												
		エネルギー	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fo-59	Co-60
		88.03 keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	843.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	10.863	9.723	8.910	7.280	4.258	2.205	1.761	1.589	1.339	1.204	1.135	1.052	0.741
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	10.811	9.674	8.873	7.269	4.253	2.196	1.755	1.585	1.335	1.202	1.133	1.051	0.742
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	10.371	9.265	8.563	7.182	4.129	2.124	1.705	1.552	1.310	1.188	1.120	1.044	0.749
4	PD-5809-E-4 (h=29.1mm)	10.003	8.978	8.339	7.083	4.042	2.092	1.686	1.537	1.303	1.182	1.119	1.041	0.752
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	9.478	8.573	7.994	6.841	3.886	2.033	1.649	1.502	1.286	1.159	1.111	1.023	0.743
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	10.863	9.723	8.910	7.279	4.268	2.205	1.761	1.589	1.339	1.204	1.135	1.052	0.741
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	10.744	9.640	8.847	7.262	4.243	2.190	1.751	1.582	1.333	1.201	1.132	1.050	0.743
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	10.382	9.275	8.570	7.184	4.132	2.126	1.707	1.553	1.310	1.188	1.120	1.044	0.749
9	PD-5809-E-9 (h=28.7mm)	10.018	8.989	8.348	7.087	4.045	2.093	1.687	1.537	1.303	1.182	1.119	1.041	0.752
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	9.438	8.543	7.967	6.820	3.872	2.028	1.646	1.498	1.285	1.156	1.111	1.021	0.742

表12 校正用試料(寒天) (PD-5809-E-1~10)の相対計数効率(自己吸収補正なし)の値

No	核種名 エネルギー 試料	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	10.442	9.390	8.620	7.064	4.195	2.191	1.755	1.587	1.337	1.208	1.135	1.057	0.748
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	10.358	9.316	8.560	7.036	4.174	2.181	1.748	1.583	1.334	1.206	1.133	1.056	0.749
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	9.648	8.690	8.056	6.795	3.997	2.098	1.693	1.548	1.306	1.193	1.119	1.051	0.760
4	PD-5809-E-4 (h=29.1mm)	9.059	8.223	7.671	6.566	3.867	2.057	1.670	1.532	1.299	1.190	1.118	1.053	0.771
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	8.246	7.547	7.079	6.137	3.651	1.985	1.626	1.495	1.280	1.172	1.111	1.042	0.770
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	10.442	9.390	8.620	7.064	4.195	2.191	1.755	1.587	1.337	1.208	1.135	1.057	0.748
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	10.299	9.264	8.518	7.016	4.160	2.174	1.743	1.580	1.332	1.205	1.132	1.056	0.750
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	9.665	8.705	8.068	6.801	4.002	2.100	1.694	1.549	1.307	1.193	1.120	1.051	0.760
9	PD-5809-E-9 (h=28.7mm)	9.083	8.242	7.686	6.575	3.872	2.059	1.670	1.532	1.299	1.190	1.118	1.053	0.770
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	8.193	7.501	7.038	6.107	3.633	1.979	1.623	1.492	1.279	1.169	1.111	1.040	0.769

表13 校正用試料(寒天) (PD-5809-E-1~10)の全計数効率(自己吸収補正あり)の値

No	核種名 エネルギー 試料	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1059.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	0.2301563	4.8206959	0.5760715	3.3981178	0.2555890	1.1093458	1.0432674	0.8666104	0.4432429	0.7146187	0.2915369	0.6256556	0.4417353
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	0.1917387	4.0250151	0.4818640	2.8547942	0.2156270	0.9419029	0.8883686	0.7389905	0.3835656	0.6112842	0.2495480	0.5361124	0.3802947
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	0.1496144	3.1447551	0.3797828	2.3081912	0.1725759	0.7573182	0.7191913	0.6035183	0.3145742	0.5052782	0.2065021	0.4459287	0.3223825
4	PD-5809-E-4 (h=29.1mm)	0.1177752	2.4942322	0.3030545	1.8689890	0.1397337	0.6222000	0.5947176	0.5002536	0.2624480	0.4219581	0.1733380	0.3736859	0.2728374
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	0.0812912	1.7424582	0.2128798	1.3266849	0.0998462	0.4553382	0.4398653	0.3701167	0.1967748	0.3146504	0.1310814	0.2798398	0.2064200
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	0.2260765	4.7363023	0.5660336	3.3389568	0.2513133	1.0914663	1.0266456	0.8528519	0.4421783	0.7034146	0.2869858	0.6159021	0.4349414
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	0.1873969	3.9347669	0.4713924	2.7988779	0.2112793	0.9233925	0.8714466	0.7253370	0.3767122	0.6008946	0.2452822	0.5269285	0.3747573
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	0.1504775	3.1627219	0.3818421	2.3193396	0.1734547	0.7611761	0.7229750	0.6063611	0.3158355	0.5072958	0.2073216	0.4476951	0.3236354
9	PD-5809-E-9 (h=28.7mm)	0.1188745	2.5166030	0.3057079	1.8842385	0.1408584	0.6268351	0.5992101	0.5036723	0.2642193	0.4247946	0.1744966	0.3761791	0.2746251
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	0.0796821	1.7095069	0.2088937	1.3024072	0.0980131	0.447452	0.4328855	0.3639559	0.1938943	0.3094371	0.1292781	0.2754564	0.2033544

表14 校正用試料(寒天) (PD-5809-E-1~10)の全計数効率(自己吸収補正なし)の値

No.	核種名 工本番号 試料	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03 keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	0.2262781	4.7497547	0.5680626	3.3551093	0.2540982	1.1069753	1.0419409	0.8668236	0.4484838	0.7164706	0.2911022	0.6275393	0.4440865
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	0.1917178	4.0249726	0.4818264	2.8543661	0.2158969	0.9411938	0.8864113	0.7385205	0.3822065	0.6109513	0.2482032	0.5354979	0.3738181
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	0.1488141	3.1287693	0.3778823	2.2971726	0.1722854	0.7544625	0.7154365	0.6018287	0.3118213	0.5036398	0.2042810	0.4441369	0.3211646
4	PD-5809-E-4 (h=29.1mm)	0.116899	2.4769110	0.3010339	1.8570833	0.1394488	0.6188770	0.5904144	0.4982956	0.2594765	0.4202937	0.1707521	0.3722793	0.2725805
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	0.0804815	1.7193885	0.2101139	1.3128230	0.0985799	0.4517000	0.4347910	0.3677808	0.1933830	0.3130784	0.1283387	0.2786299	0.2038973
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	0.2226160	4.6728854	0.5588692	3.3008107	0.2499263	1.0890602	1.0250783	0.852795	0.4412246	0.7048754	0.2863911	0.6173833	0.438995
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	0.1875201	3.9372969	0.4716508	2.7998811	0.2116671	0.9228882	0.8694756	0.725117	0.3754159	0.6004993	0.2439440	0.5267735	0.3741289
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	0.1496743	3.1467401	0.3799630	2.3084223	0.1731927	0.7582307	0.7187302	0.6046328	0.3133116	0.5056598	0.2052336	0.4459182	0.3224527
9	PD-5809-E-8 (h=28.7mm)	0.1180104	2.4996007	0.3038839	1.8723377	0.1405833	0.6237123	0.5944494	0.5017010	0.2612498	0.4231661	0.1719190	0.3748234	0.2740874
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	0.0788170	1.6843920	0.2059001	1.2876633	0.0976674	0.4438740	0.4277627	0.3617770	0.1904598	0.3077970	0.1264975	0.2741055	0.2026799

表15 校正用試料(寒天) (PD-5809-E-1~10)の測定結果(自己吸収補正あり)

単位: pci/g

No.	核種名 工本番号 添加量	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03 keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
	添加量	1730 ±5.0%	166.4 ±4.7%	166.4 ±4.7%	85.29 ±4.2%	887.3 ±4.2%	88.45 ±3.5%	170.0 ±4.6%	169.3 ±4.5%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	169.3 ±4.5%
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	1680 ±3.5	161 ±0.22	172 ±0.81	78.5 ±0.21	873 ±3.6	84.4 ±0.35	166 ±0.50	144 ±0.57	431 ±1.5	42.3 ±0.31	440 ±1.8	42.4 ±0.32	158 ±0.76
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	1680 ±2.7	162 ±0.17	168 ±0.61	80.1 ±0.16	871 ±2.8	85.5 ±0.26	169 ±0.37	149 ±0.43	432 ±1.1	42.9 ±0.23	446 ±1.4	43.2 ±0.24	167 ±0.59
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	1710 ±2.4	165 ±0.15	169 ±0.53	80.9 ±0.13	893 ±2.5	87.3 ±0.23	171 ±0.32	156 ±0.37	440 ±0.99	44.2 ±0.20	445 ±1.2	44.2 ±0.20	167 ±0.49
4	PD-5809-E-4 (h=29.1mm)	1710 ±2.2	166 ±0.14	168 ±0.50	81.0 ±0.12	888 ±2.3	87.4 ±0.21	171 ±0.29	157 ±0.34	432 ±0.88	43.6 ±0.17	442 ±1.1	43.8 ±0.18	167 ±0.43
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	1740 ±2.2	168 ±0.13	168 ±0.48	82.2 ±0.12	904 ±2.3	88.5 ±0.19	172 ±0.26	160 ±0.31	433 ±0.82	43.9 ±0.16	437 ±0.98	44.2 ±0.16	169 ±0.40
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	1690 ±3.4	162 ±0.22	171 ±0.78	79.1 ±0.20	871 ±3.1	84.7 ±0.34	167 ±0.48	144 ±0.53	427 ±1.3	41.9 ±0.29	436 ±1.7	41.8 ±0.31	158 ±0.72
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	1660 ±2.6	160 ±0.16	166 ±0.59	79.2 ±0.15	870 ±2.4	83.5 ±0.26	166 ±0.36	149 ±0.40	427 ±1.0	42.7 ±0.22	437 ±1.3	43.0 ±0.23	163 ±0.55
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	1700 ±2.4	165 ±0.15	168 ±0.53	80.7 ±0.13	889 ±2.2	87.2 ±0.23	171 ±0.32	155 ±0.37	438 ±0.92	43.5 ±0.20	448 ±1.1	44.0 ±0.21	166 ±0.47
9	PD-5809-E-9 (h=28.7mm)	1710 ±2.2	165 ±0.14	169 ±0.50	80.8 ±0.12	888 ±2.1	87.2 ±0.21	171 ±0.29	156 ±0.33	434 ±0.83	43.6 ±0.17	439 ±1.0	44.1 ±0.18	165 ±0.42
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	1740 ±2.2	168 ±0.13	168 ±0.48	82.6 ±0.12	904 ±2.0	88.2 ±0.19	172 ±0.26	160 ±0.30	434 ±0.76	44.2 ±0.16	437 ±0.90	44.5 ±0.16	171 ±0.38

表16 校正用試料(寒天)(PD-5809-E-1~10)の測定結果(自己吸収補正なし)

単位: pci/g

No	核種名 エネルギー	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03keV	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
	添加量	1730 ±5.0%	166.4 ±4.7%	166.4 ±4.7%	85.29 ±4.2%	887.3 ±4.2%	88.45 ±3.5%	170.0 ±4.6%	169.3 ±4.5%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	169.3 ±4.5%
1	校正用試料 PD-5809-E-1 (h=4.8mm)	1710 ±3.6	163 ±0.23	174 ±0.82	79.5 ±0.21	878 ±3.5	84.6 ±0.36	166 ±0.50	144 ±0.57	432 ±1.5	42.2 ±0.31	441 ±1.8	42.3 ±0.32	157 ±0.76
2	PD-5809-E-2 (h=11.0mm)	1680 ±2.7	162 ±0.17	168 ±0.61	80.1 ±0.16	870 ±2.8	85.6 ±0.26	169 ±0.38	149 ±0.43	435 ±1.1	43.0 ±0.23	449 ±1.4	43.2 ±0.24	167 ±0.59
3	PD-5809-E-3 (h=19.4mm)	1720 ±2.4	166 ±0.15	170 ±0.54	81.3 ±0.13	894 ±2.5	87.6 ±0.23	172 ±0.32	156 ±0.37	443 ±0.99	44.3 ±0.20	450 ±1.2	44.4 ±0.20	168 ±0.49
4	PD-5809-E-4 (h=29.4mm)	1720 ±2.3	167 ±0.14	169 ±0.50	81.5 ±0.12	890 ±2.3	87.9 ±0.21	172 ±0.29	157 ±0.34	437 ±0.89	43.8 ±0.17	448 ±1.1	43.9 ±0.18	167 ±0.43
5	PD-5809-E-5 (h=47.8mm)	1750 ±2.2	170 ±0.13	170 ±0.49	83.0 ±0.12	906 ±2.3	89.2 ±0.19	174 ±0.27	161 ±0.31	440 ±0.83	44.1 ±0.16	447 ±1.0	44.4 ±0.17	169 ±0.40
6	PD-5809-E-6 (h=5.4mm)	1720 ±3.4	164 ±0.22	174 ±0.79	80.0 ±0.20	876 ±3.1	84.8 ±0.35	167 ±0.48	145 ±0.53	428 ±1.4	41.8 ±0.29	437 ±1.7	41.7 ±0.31	158 ±0.72
7	PD-5809-E-7 (h=11.7mm)	1660 ±2.6	160 ±0.16	166 ±0.59	79.2 ±0.15	868 ±2.4	83.5 ±0.26	167 ±0.36	149 ±0.40	428 ±1.0	42.7 ±0.22	439 ±1.3	43.0 ±0.23	163 ±0.55
8	PD-5809-E-8 (h=19.2mm)	1710 ±2.4	166 ±0.15	169 ±0.52	81.1 ±0.13	891 ±2.2	87.5 ±0.23	172 ±0.32	156 ±0.37	442 ±0.93	43.7 ±0.20	452 ±1.1	44.2 ±0.21	167 ±0.48
9	PD-5809-E-9 (h=28.7mm)	1720 ±2.3	167 ±0.14	170 ±0.50	81.3 ±0.12	890 ±2.1	87.6 ±0.21	172 ±0.29	157 ±0.33	439 ±0.84	43.8 ±0.18	445 ±1.0	44.3 ±0.18	166 ±0.42
10	PD-5809-E-10 (h=48.9mm)	1760 ±2.2	171 ±0.13	171 ±0.49	83.5 ±0.12	907 ±2.0	88.9 ±0.19	174 ±0.27	161 ±0.31	442 ±0.77	44.5 ±0.16	447 ±0.92	44.7 ±0.17	171 ±0.39

表17 校正用試料(寒天)10試料の測定結果と最大偏差

単位: pci/g

No	核種名 エネルギー(keV)	Cd-109	Co-57	Co-57	Ce-139	Cr-51	Cs-137	Mn-54	Y-88	Fe-59	Co-60	Fe-59	Co-60	Y-88
		88.03	122.06	136.47	165.8	320.03	661.64	834.83	898.0	1099.22	1173.25	1291.56	1332.48	1836.014
	添加量	1730 ±5.0%	166.4 ±4.7%	166.4 ±4.7%	85.29 ±4.2%	887.3 ±4.5%	88.45 ±3.5%	170.0 ±4.6%	169.3 ±4.5%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	431.1 ±4.6%	44.0 ±2.2%	169.3 ±4.5%
1	校正用試料(寒天) PD-5809-E-1 h=4.8mm	1680 ±3.5	161 ±0.22	172 ±0.81	78.5 ±0.21	873 ±3.6	84.4 ±0.35	166 ±0.50	144 ±0.57	431 ±1.5	42.3 ±0.31	440 ±1.8	42.4 ±0.32	158 ±0.76
2	校正用試料(寒天) PD-5809-E-2 h=11.0mm	1680 ±2.7	162 ±0.17	168 ±0.61	80.1 ±0.16	871 ±2.8	85.5 ±0.26	169 ±0.37	149 ±0.43	432 ±1.1	42.9 ±0.23	446 ±1.4	43.2 ±0.24	167 ±0.59
3	校正用試料(寒天) PD-5809-E-3 h=19.4mm	1710 ±2.4	165 ±0.15	169 ±0.53	80.9 ±0.13	893 ±2.5	87.3 ±0.23	171 ±0.32	156 ±0.37	440 ±0.99	44.2 ±0.20	445 ±1.2	44.2 ±0.20	167 ±0.49
4	校正用試料(寒天) PD-5809-E-4 h=29.1mm	1710 ±2.2	166 ±0.14	168 ±0.50	81.0 ±0.12	888 ±2.3	87.4 ±0.21	171 ±0.29	157 ±0.34	432 ±0.88	43.6 ±0.17	442 ±1.1	43.8 ±0.18	167 ±0.43
5	校正用試料(寒天) PD-5809-E-5 h=47.8mm	1740 ±2.2	168 ±0.13	168 ±0.43	82.2 ±0.12	904 ±2.3	88.5 ±0.19	172 ±0.26	160 ±0.31	433 ±0.82	43.9 ±0.16	437 ±0.98	44.2 ±0.16	169 ±0.40
6	校正用試料(寒天) PD-5809-E-6 h=5.4mm	1690 ±3.4	162 ±0.22	171 ±0.73	79.1 ±0.20	871 ±3.1	84.7 ±0.34	167 ±0.48	144 ±0.53	427 ±1.3	41.9 ±0.29	436 ±1.7	41.8 ±0.31	158 ±0.72
7	校正用試料(寒天) PD-5809-E-7 h=11.7mm	1660 ±2.6	160 ±0.16	166 ±0.59	79.2 ±0.15	870 ±2.4	83.5 ±0.26	166 ±0.36	149 ±0.40	427 ±1.0	42.7 ±0.22	437 ±1.3	43.0 ±0.23	163 ±0.55
8	校正用試料(寒天) PD-5809-E-8 h=19.2mm	1700 ±2.4	165 ±0.15	168 ±0.53	80.7 ±0.13	889 ±2.2	87.2 ±0.23	171 ±0.32	155 ±0.37	438 ±0.92	43.5 ±0.20	448 ±1.1	44.0 ±0.21	166 ±0.47
9	校正用試料(寒天) PD-5809-E-9 h=28.7mm	1710 ±2.2	165 ±0.14	169 ±0.50	80.8 ±0.12	888 ±2.1	87.2 ±0.21	171 ±0.29	156 ±0.33	434 ±0.83	43.6 ±0.17	439 ±1.0	44.1 ±0.18	165 ±0.42
10	校正用試料(寒天) PD-5809-E-10 h=48.9mm	1740 ±2.2	168 ±0.13	168 ±0.48	82.5 ±0.12	904 ±2.0	88.2 ±0.19	172 ±0.26	160 ±0.30	434 ±0.76	44.2 ±0.16	437 ±0.90	44.5 ±0.16	171 ±0.38
	最大偏差	~4.0%	~3.8%	~3.4%	~8.0%	~1.9%	~5.6%	~2.4%	~14.9%	~2.1%	~4.8%	~3.9%	~5.0%	~6.7%

愛媛県公害技術センター所報
第 6 号

昭和60年3月発行

編集発行所 愛媛県公害技術センター
松山市三番町8丁目234番地(〒790)
電話 松山(0899)21-3900

印刷所 岡田印刷株式会社
松山市湊町7丁目1番地8
電話 松山(0899)47-1313
