

水俣湾における海水中の懸濁態総水銀と浮遊懸濁物の粒度分布との関係について

九州大学大学院 学生員 ○松本賢・Edis Fathya 正員 矢野真一郎
長崎大学大学院 正員 多田彰秀 環境省国立水俣病総合研究センター 松山明人

1. 研究目的

1956年に水俣病が公式に確認されてから約60年たった現在でも、世界各国では環境中に放出された水銀による人体への影響が懸念されている¹⁾。多くの途上国では金採掘場において金の抽出に大量の水銀が使用され、その水銀が回収されないまま環境中に放出されている²⁾。よって、水銀による水・土壌汚染や採掘に携わる作業者と周辺住民への健康被害が大きな社会問題となっている。著者らは、過去に重大な水銀汚染が起こった水俣湾を研究対象とし、海洋における水銀汚染問題のリスク管理に貢献することを目的として、現地調査と数値モデル開発を行っている。水銀動態を予測する数値モデルを開発するために必要な基礎データの取得を目的として、現地観測を10年以上にわたり定期的に行ってきた。

数値モデルにおいては、海水中水銀を溶存態と懸濁態に分けて記述する必要があるが、このうち懸濁態については底質中の土粒子などへ付着したものが再懸濁して浮遊していると考えられる。したがって、その濃度は浮遊懸濁物(以下SS)の濃度だけではなく、粒径、すなわち比表面積にも依存すると想定される。そこで、懸濁態水銀濃度と採水深度に対応する層のSS粒度分布パターンとの相関性を調べることで、SSの比表面積に対する関係を求めることを目的として、2010年よりSSの粒度分布を現地で直接測定可能な機器であるLISST-100Xを導入した調査を開始した。

2. 研究内容

2.1 現地観測の概要 2010年10月から概ね月に1度、下げ潮最強時の前後60分に図-1に示す水俣湾内の観測地点Sta.1~Sta.3の3地点において、LISST-100X(Sequoia Scientific社製)を用いてSSの粒度分布の鉛直構造を測定した。LISST-100Xは、現場の水中においてSSの粒径スペクトルを直接観測可能にした唯一のレーザー回折式測定器である。本研究では、測定可能レンジが粒径2.5~500 μ mのタイプを用いている。観測でのサンプリング間隔は1秒とし、測器本体をほぼ水平に保ってロープで吊るし、観測船上より人力で海面から海底にゆっくりと降ろすことでSSの粒度分布の鉛直分布を得ている。観測の際は、1mあたり5個程度サンプリングができるように約0.2m/sの速さで下ろしながら連続測定を行った。

2.2 SS粒度分布データのグループ分け これまでの現地調査から得られたLISST-100Xによるデータのうち、本稿では2012年以降の48個のデータを用いる。矢野ら³⁾は、それ以前のデータから粒径分布と懸濁態総水銀濃度の間に弱い相関性を見出していたが、粒径分布データの取り扱いに主観的な方法を用いたため、結果の信頼性に疑問が残っていた。そこで今回は、統計的に信頼性のあるクラスター解析のウォード法を用いてグループ分けを行った。得られたデンドログラムを図-2に示す。次に、そのグループ分けの結果を矢野らと同様にエントロピー

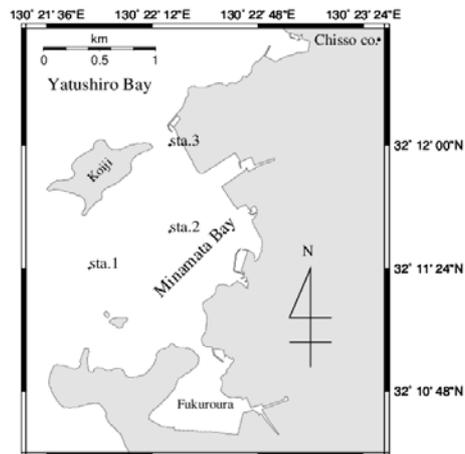


図-1 現地観測の測点

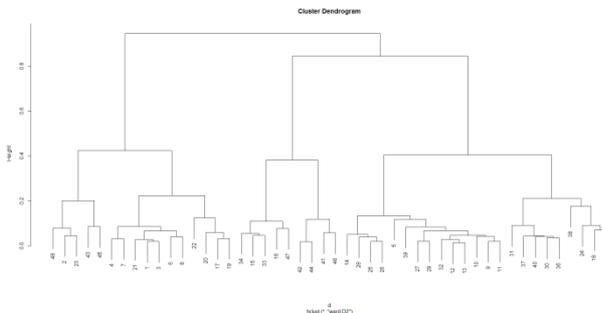


図-2 得られたデンドログラム

キーワード：懸濁態水銀，浮遊懸濁物，水俣湾，現地観測，エントロピー法

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学工学部 W2 号館 1013 号室 TEL：092-802-3412

一法によって評価した。ここで適用するエントロピー法は、各粒度分布形状とグループに含まれる粒度分布をそれぞれエントロピー解析し、グループ化の適性度を示す R_s 値 [岡田ら⁴⁾] により判断するものである。最適なグループ数を選択する方法はいくつかあるが、今回は R_s の増加率が小さくなる場所を選択する方法を用いた。図-3 に示す R_s とグループ数との関係より、6個に分けた時を最適と判定した。図-4 に各グループの代表的な粒度分布を示した。

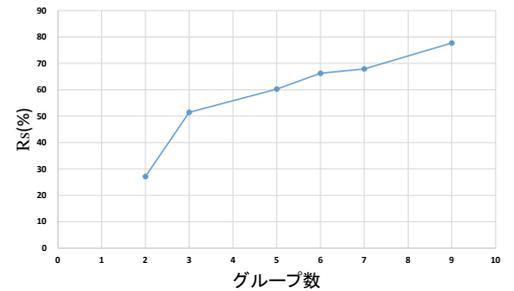


図-3 グループ数と R_s の関係

2.3 粒度分布グループと懸濁態水銀濃度の関係 図-5 に

6個にグループ分けを行った場合について、各グループと懸濁態総水銀との関係を示す。有意性を確認するために、コロモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果、 $p=0.03818 (<0.05)$ で正規分布に従わない結果が得られた。次に、各グループの代表値に有意差があるかを確認するため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、 $p=0.01041 (<0.05)$ で各グループの代表値に有意差があるとなり、得られた結果の有意性が統計的に証明された。

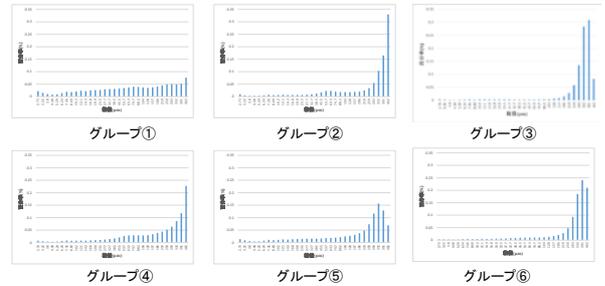


図-4 各グループの代表的な粒度分布パターン

図-6 に6グループに分けた後のSS比表面積と懸濁態総水銀との関係を示す。比表面積はLISSTから得られた粒度分布から粒子を球形と仮定することで算出した。グループ化により比表面積と懸濁態総水銀に正の相関が確認できた。

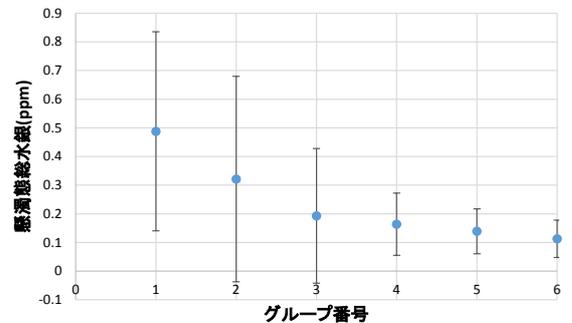


図-5 各グループの懸濁態総水銀濃度 (mean±SD)

2.4 粒度分画に対する懸濁態総水銀濃度の算定 LISSTで得られるSSの32の粒径区分を6つに分画し、6グループの平均的な粒度分布と懸濁態総水銀の平均値から各分画に対応する懸濁態総水銀濃度を試算した。分画は全データの平均的粒度加積曲線から1/6ずつになるように32のレンジを振り分けた。懸濁態総水銀 $Y(\text{ppm})$ を6分画の体積濃度 X_i の1次線形和として求めると、

$$Y = 1.31X_1 + 6.15X_2 - 14.20X_3 + 19.41X_4 - 8.32X_5 + 0.63X_6$$

と得られた。係数に負値が含まれたことから、懸濁態総水銀がSS粒度分布のみで決定されないことが示唆された。

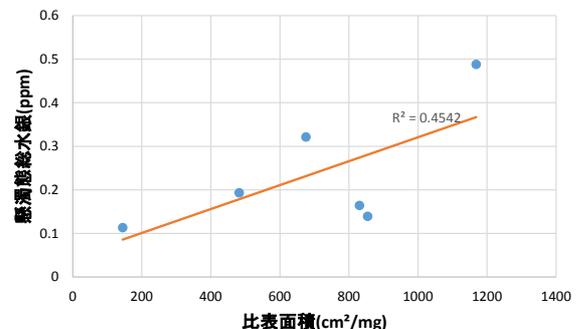


図-6 懸濁態総水銀と比表面積の関係(6分画)

3. 結論

水俣湾での現地観測より得られたSSの粒度分布と懸濁態総水銀との関係を解析した。その結果、懸濁態総水銀とSS粒度分布には相関性が認められ、SS比表面積に対する相関性も確認された。SS粒度に対する懸濁態総水銀濃度の定量化については明確にはならなかったが、SSの組成や起源が影響する可能性を示唆しており、数値モデルへの組み込みを可能とする評価を行う必要がある。

【参考文献】

- 1)高岡ら(2014)：水銀に関する水俣条約と最新対策と技術., 2)赤木(1995)：病理生理,14(8),597-604., 3)矢野ら(2013)：土木学会論文集 B2 (海岸工学) ,69(2), I_1081-I_1085., 4)岡田ら(2009)：海洋開発論文集,25, 401-406.

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)「海水中における水銀の有機化(メチル化)反応に及ぼす環境要因の影響に関する研究」(課題番号：24350080, 研究代表者：松山明人)により実施された。ここに記し、感謝の意を表す。