

水底放射能測定装置「みなそこ」の開発

生野元昭 (株)環境総合テクノス

キーワード：底質，放射能，セシウム，ガンマ線，Bq/kg

1. はじめに

東日本大震災にともない原子力発電所から環境中に放出された放射性物質は、現在でも依然として深刻な問題となっている。陸上では放射性物質を測定する機器はあるが、水底の場合は土壌サンプルを採取し、分析所に持ち帰って分析しているため、結果が判明するのに時間が掛かる。そこで、弊社では測定器を水中に降ろし、現場で即座に放射性物質濃度を測定できる耐水圧型の水底放射能測定装置「みなそこ」(以下、「みなそこ」)を開発した。以下にこれを紹介する。

2. 水底の放射性物質濃度に関する問題点

2.1 現在も深刻な放射能汚染

農林水産省によると、福島県内の避難指示区域外におけるため池 1,651 箇所の底質の放射性セシウム濃度は図 1 に示すように 80%以上が 1,000Bq/kg-dry 以上となっており、依然、深刻な状況が続いている(*)。また、避難指示区域内はさらにセシウム濃度が高い傾向にあると述べられている。

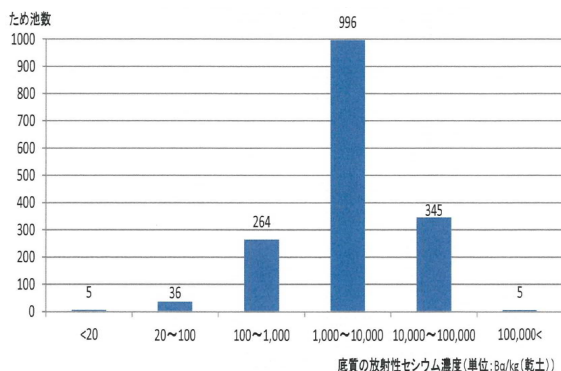


図 1 ため池底質の放射性セシウム濃度の度数分布 (平成 25 年 6 月~26 年 3 月に採泥)

2.2 水底の放射性物質濃度測定の方法

湖、海、ため池、ダム、河川等の水底の放射性物質濃度は、採泥器で水底土をサンプリングし、分析所へ持ち帰ってゲルマニウム半導体検出器で分析するのが一般的である。しかし、この方法では運搬・分析に時間が掛かり、現場で臨機応変に調査ができない難点がある。これに対し、現場においてリアルタイムで水底の放射性物質濃度が測定できれば、現場で濃度マップが作成でき、ホットスポットの詳細調査や効率的な対応が可能になる。

2.3 オンサイト測定可能なシステムの開発

弊社が開発した「みなそこ」の概要を図 2 に示す。「みなそこ」は観測船から水中部を水底に垂下し、着底状況を水中カメラでモニタリングしながら、水底から放射されるガンマ線を検出・解析し、船上部パソコンで回収する構成になっている。ガンマ線の検出は、タリウム活性化ヨウ化ナトリウムを結晶に持つシンチレーション検出器(以下、「NaI(Tl)」)で行う。

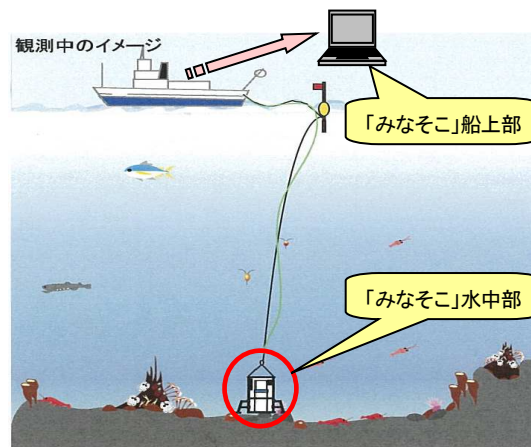


図 2 「みなそこ」による現場測定イメージ

3. 開発テーマ

3.1 耐圧容器への格納

通常の NaI(Tl)センサーは空気中で使用する機器であるので、防水密閉かつ耐圧仕様にした。

3.2 水底の測定状況のモニタリング

水中に没すると、センサーがどのような状況で測定しているのか分からないので、水中カメラでモニタリングする構成とした。

3.3 ガンマ線から濃度への変換

NaI(Tl)センサーは、あくまでもガンマ線の計数値を出力するだけなので、これをセシウム濃度に変換する必要がある。そこで、弊社では濃度が既知の標準体積線源を作成し、シミュレーション値を介してガンマ線カウント数と濃度とを関係付ける変換係数を求めた。

4. 開発したシステムの概要

4.1 システム概要

水中部のシステム仕様を表1に、概観を図3に示す。

表1 水中部システム仕様

項目	仕様	備考
最大水深	200m	
水中部重量	32kg	空中
	8kg	水中
測定時間	10分間	濃度によって可変

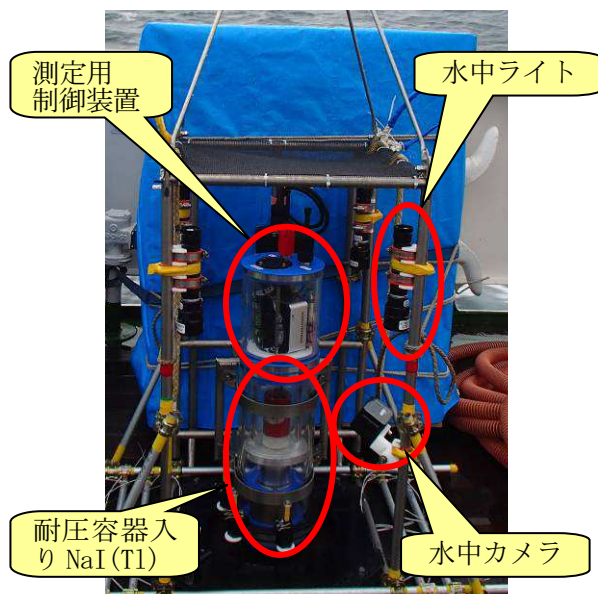


図3 「みなそこ」概観

4.2 水底の放射性物質濃度算出の考え方

土壤に含まれる放射性物質から発せられるガンマ線は図4に示すように、土壤、水、耐圧容器、鉛の遮蔽板を透過する際、ガンマ線のエネルギーと透過する物質で決まる一定の減衰を受けながら最終的に検出器 (NaI(Tl)結晶) において、ある確率で捕捉される。そこで、土壤に点線源を配置し、各位置からの受信強度を3次的に計算することによって、近似的に土壤全体からのガンマ線総和をシミュレーションすることができる。この値S(無次元数)を用いれば、検出器で捕捉されるカウント数I(cpm)から水底の放射性物質濃度 B_1 (Bq/kg)を以下の式で算出できる。

$$B_1 = \alpha I / \rho S$$

ここで、 α はガンマ線カウント数Iから放射性物質濃度 B_1 に変換する本システム固有の定数であり、標準体積線源による実験で確認したものである。また、 ρ は土壤の密度(g/cm^3)である。

さらに、別の表現方法として、水底の放射性物質濃度の層厚に対して十分広い面積と見なせる場合には、以下の算出も可能である。

$$B_2 = \beta I / S$$

ここで、 B_2 は単位面積当たりの放射性物質濃度であり Bq/m^2 で表記する。 β も本システム固有の定数である。

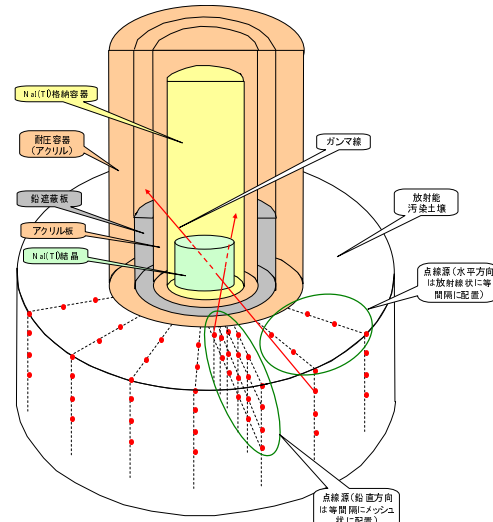


図4 放射性物質から発せられるガンマ線がNaI(Tl)センサーに捕らえられる模式図

5. 具体的算出方法

NaI(Tl)センサーのガンマ線カウント数から放射性物質濃度を算出する具体的な方法は以下の通りである(図5,6参照)。

- ① 10分間等の積算で得られた受信スペクトルのうち、セシウム137およびセシウム134部分のカウント数を分離・抽出する。
- ② このカウント数に変換係数、水底土の密度、水底土の濃度モデルに基づくシミュレーション値を用いて放射性物質濃度(Bq/kgまたはBq/m²)に変換する。
- ③ ただし、シミュレーションを算出する際には、放射性物質の層厚と水底土の密度を想定する必要がある(この2つは実際に土壌をコア抜きしない限り、正確には分からないので、経験的な数値を設定する)。

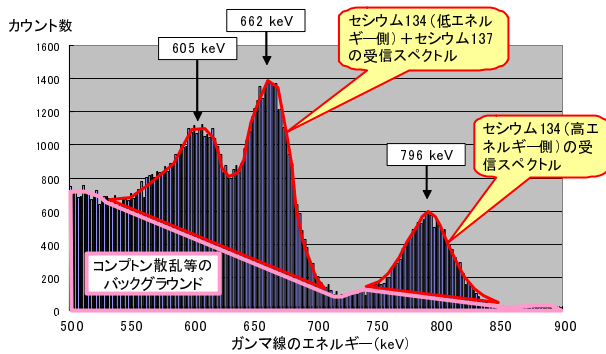


図5 NaI(Tl)センサーによる受信スペクトル

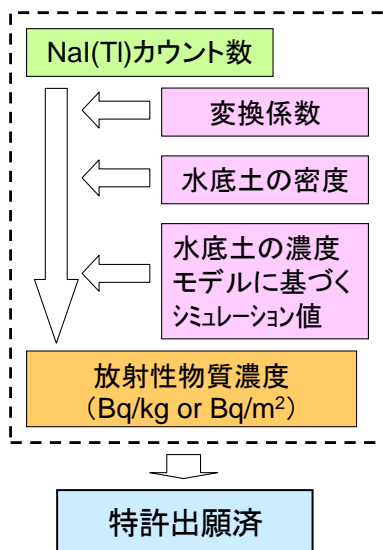


図6 NaI(Tl)カウント数から放射性物質濃度への変換の概要

6. 測定結果の精度

前述のように、「みなそこ」では放射性物質濃度の設定層厚による算出誤差は避けて通れない。また、土壌の密度も設定と実際に差がある可能性がある。その他、本システムでの測定誤差には表2に示すようなものがある。

表2 測定結果に及ぼす誤差の大きさ

誤差要因	誤差の大きさ
設定層厚	概ね30%以内
土壌の設定密度	概ね10%以内
NaI(Tl)センサーの計数誤差	カウント数により変動 (例)・1% @ 20,000 カウント ・10% @ 500 カウント
水底からの浮き	浮き高さを計算で補正
他の放射性物質の混入	時と場所によって変動 (例)・K-40のコンプトン散乱 ・Bi-214, Ac-228等

そこで、「みなそこ」で求めた水底土の放射性物質濃度のデータ信頼性を検証するために、同時にサンプリングした水底土のゲルマニウム半導体検出器による分析値との比較検証を行った。その結果を図7に示す。

表2のような誤差があるにもかかわらず、図7に示す相関関係が得られていることから、「みなそこ」による濃度の算出方法については、十分な信頼性があるものと考えられる。

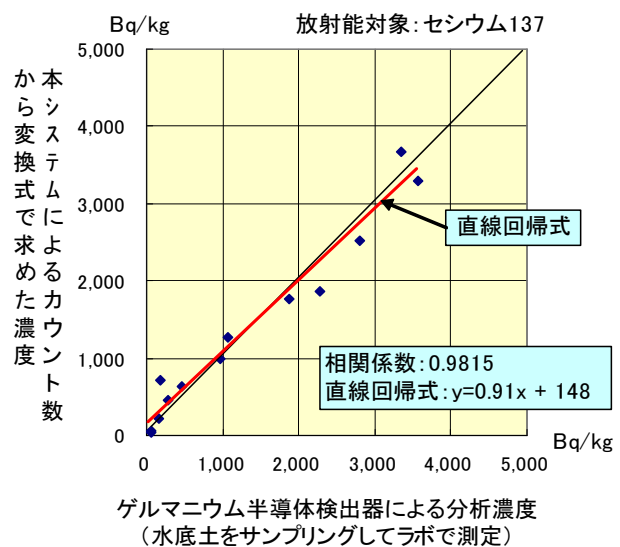


図7 「みなそこ」による算出濃度とゲルマニウム半導体検出器による分析結果の相関図

7. 調査状況

「みなそこ」を用いた調査例を図8～11に示す。これらは独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所との共同研究の一環で、栃木県の中禅寺湖で実施した調査である。



図8 調査用ボート



図9 「みなそこ」水中部の水中投入

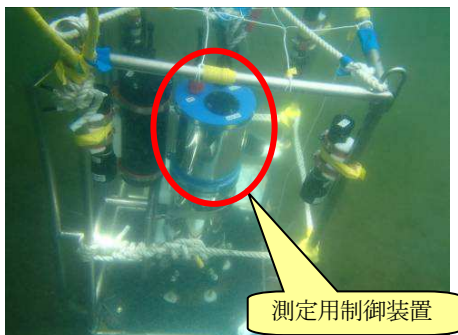


図10 着底状況

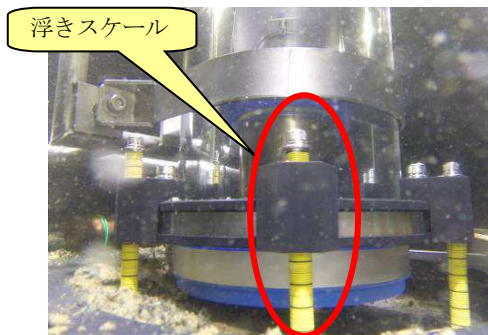


図11 水中カメラによる着底状況のモニタリング写真 (水深152m)

8. 「みなそこ」の特長

本システムの特長は以下のような点にある。

- ① NaI(Tl)が測定するガンマ線のカウント数から、水底土の放射性物質濃度 (主にセシウム137およびセシウム134) をBq/kgあるいはBq/m²として算出可能
- ② 調査現場においてリアルタイムで濃度が算出できるので、臨機応変の調査が可能
- ③ 水底におけるNaI(Tl)センサーの着底状況をモニタリングしながらの測定が可能
- ④ 水底土上面にNaI(Tl)センサー底面が密着していなくても浮きスケールで乖離距離が測定できるので、後にデータ補正が可能
- ⑤ 小型軽量 (空中重量32kg) なので、数人乗りボートでも測定が可能
- ⑥ 水深200mまでの測定が可能
- ⑦ 「みなそこ」水中部に測定用制御装置が内臓されているので、ボートからの切り離し測定が可能 (吹送流や潮流でボートが流される場合でもボートの移動に左右されない)
- ⑧ その他、リアルタイムで水中の映像をモニタリングしながら測定する「リアルタイムカメラ」も開発済み (ただし、このシステムは観測船から水中部を切り離せない)

9. 今後の展開

弊社では、前述のように多少の誤差はあるものの、十分な精度で水底の放射性物質濃度を算出できるシステムが完成したと考えている。今後、福島県等のため池、湖沼、河川、ダム、海域等の放射性物質濃度の解明が進んでいない場所に対して、「みなそこ」が実態解明に貢献できれば幸いである。

10. 謝辞

「みなそこ」は、公益財団法人若狭湾エネルギー研究センターの「拠点化計画促進研究開発事業補助金」によって開発させていただきました。ここに、厚く御礼申し上げます。

<引用文献>

- (*) ため池の放射性物質対策技術マニュアル基礎編 (平成26年11月 農林水産省)