

水域の底質から放出されるガンマ線の簡易な計測システム

Simple Field Survey System for Gamma Ray Emitted from Bottom Sediment and Its Application

吉 永 育 生[†]
(YOSHINAGA Ikuo)

島 崎 昌 彦^{††}
(SHIMAZAKI Masahiko)

常 住 直 人^{††}
(TSUNESUMI Naoto)

高 木 強 治^{††}
(TAKAKI Kyoji)

I. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災にともなう東京電力福島第一原子力発電所の事故により、周辺環境へ放射性核種が放出され、農業用ため池の底質には一定濃度で放射性セシウム (Cs) が存在している^{1),2)}。ため池底質中の放射性Csは、場所によって濃度が異なるため³⁾、水域内での面的な分布状況を概略的に調べることは有効である。これまでに底質の放射性Csを直接計測する手法として、たとえばJAEAによるJ-SubD⁴⁾や、シンチレーションファイバーを使った手法が開発されている。J-SubDは検出器に3インチのLaBr₃(Ce)を採用し、エネルギー分解能に優れているが、重量が33kgである。また、シンチレーションファイバーはケーブルで計測するため、測線におけるデータ取得が可能であるが、計測時に多数の作業者を要する。そこで、市販のサーベイメータを利用し、底質中の放射性Csから放出されるガンマ線の値(線量率)を現場で概略的かつ効率的に計測を行う手法を提案する。

II. 方法

1. 計測システムの構成と特徴

はじめに、計測システムは製作の容易さを重視して、できるだけ市販品を活用している。計測システムは、底質のガンマ線を計測する装置、GNSS受信機、およびこれらのデータを表示するPC(OS: Windows系)で構成される(写真-1, 表-1)。ガンマ線を計測するサーベイメータは、内径20cmのアクリルの防水容器に入れて密封する。その際に、発泡スチロールのブロックを使って、サーベイメータを防水容器の中央下部に固定する。防水容器を沈めるために、アクリル容器の外周部にダイビング用の鉛ベルトを巻く。

ガンマ線を計測する場合、検出器に到達するガンマ線の計数が多いほど誤差が相対的に小さい。底質からのガンマ線を計測する場合、水がガンマ線を遮蔽す

る。本装置は、サーベイメータの周辺は空気であるためガンマ線が遮蔽されにくく、ガンマ線のエネルギーを効率よく計測することができる。放射線のエネルギーを0.5 MeV、質量減衰長を水は0.117 m、空気は100 mとし、計測容器のサイズでガンマ線の到達量を求めると、サーベイメータ周辺が空気の場合、到達量は水の場合の約1.6倍となる。

また、測定範囲は防水容器の底面を中心とした領域となり、通常の直径4cmのコアサンプリングに比較して広いので、局所的な放射性Csの分布の偏りに影響を受けにくい。なお、サーベイメータのデータは、本来はUSBケーブルによる出力であるが、到達距離を長くし、防水性を保つため、水中でのデータ転送は変換器を介してLANケーブルを使用している。

計測装置の空中重量は約10kgで、計測中は浮力を受けるため取扱いは比較的容易であり、一連の計測作業は作業員2名で対応できる。外周部の鉛のおもりで重さを調整することで、底質が柔らかい場合でも深く沈み込まず、乱さない状態で計測ができる。また、上面より下面の直径を短くすることで、沈降時に容器が回転したり、転倒することを防いでいる。

位置情報は、単独での測位精度60cmのGNSS受信機で計測する。PCへのデータ通信はBluetoothで

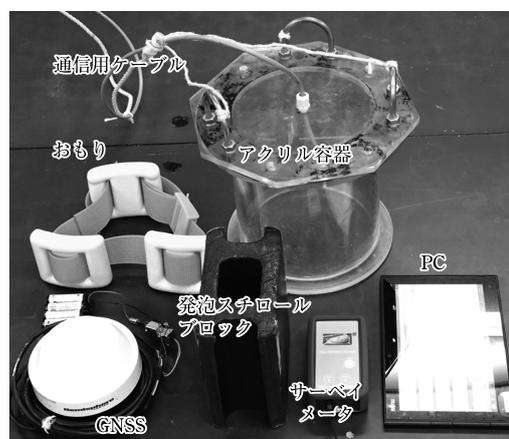


写真-1 使用した主な機材

[†]農林水産技術会議事務局

^{††}農村工学研究所水利工学研究領域



ため池、セシウム、GNSS、サーベイメータ、線量率

行う。PCで受信したガンマ線の値と位置情報は、開発したソフト（GPS & Field Data Viewer）で表示する。ソフトでは、GNSS受信機からのGPRMCもしくはGPGGAフォーマットの位置情報と、サーベイメータから出力されるデータの計測時刻を照合し、移動の軌跡とガンマ線の値をリアルタイムで描画する。描画の際に、WGS84測地系の緯度経度情報は、日本測地系9系の平面座標系に変換している^{5),6)}。

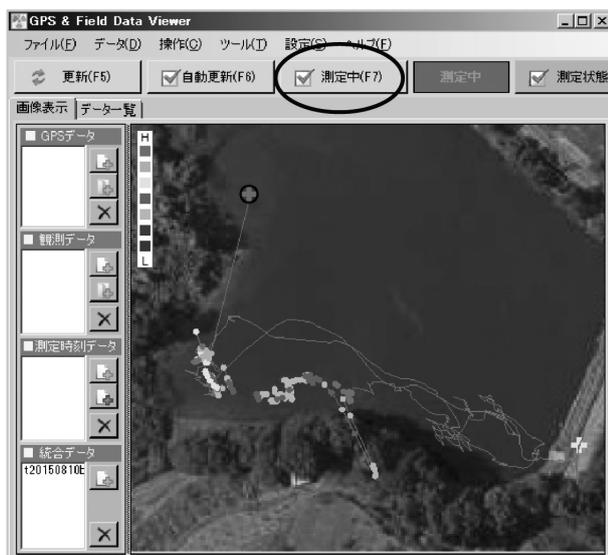
表-1 使用した主な機材（型番など）

機材	型番など
アクリル容器	内径20 cm, 高さ22 cm (突起部含まず), 上面の直径30 cm, 下面の直径26 cm, 円管のアクリル厚さ8 mm, 上下面のアクリル厚さ10 mm
サーベイメータ (CsI検出器)	TC300S, テクノエービー社
発泡スチロールブロック	カッターによる加工が必要
鉛のおもり, ベルト	KA9051, KA9043, GG4601, いずれもGull社
LAN変換アダプタ	USB to RJ45, TitoSoy社
防水パッキン	THA450-16SL, Takachi社
GNSS受信機	A325, Hemisphere社

*サーベイメータは、時刻データと計測データをテキストファイルで出力する仕様であれば、本システムに搭載可能。

2. 計測方法とソフトの使用法

計測作業は地点ごとに実施する。サーベイメータおよびその付属ソフト、GNSS受信機、開発したソフトを起動させた状態で、ボートから計測装置を沈め、底質表層に着底させる。計測装置は底質表層にとどまるため、底質表層におけるガンマ線を計測する。PCに出力されるサーベイメータの計測値を確認し、値が安定したら、ソフトの「測定中」ボタン（図-1の○）を



（国土地理院の地図・空中写真閲覧サービスの画像を背景に表示）

図-1 GPS & Field Data Viewer ソフトの使用イメージ

押し、測定時刻を記録する。これは、サーベイメータは、計測とデータ出力を連続して実施しており、描画の際には、全計測データの中から底質表層における計測データのみを抽出するためである。計測が終了したら、装置を底質から50 cm程度引き上げ、底質を乱さないように注意しながら、次の計測地点へ移動する。

開発したソフトのそのほかの特徴として、過去のデータを重ねて表示できる、任意のjpg画像ファイルを背景として表示できる（図-1）、さらに、一連の計測結果をkmlファイル（GoogleEarthなどで描画できる）に出力することができる。また、描画する計測データのフォーマットが一致していれば、ガンマ線以外のデータを描画することも可能である。

3. 対象としたため池

開発したシステムの動作確認のため、福島県内のため池を対象として現地観測を実施した。ため池の諸元を表-2に示す。

表-2 対象としたため池の諸元

	ため池 A	ため池 B
貯水量 (m ³)	109,800	1,600
最大水深 (m)	4.5	3.0
底質の含水比 (%)	50~200% 平均100%	70~360% 平均200%

ため池 A では、2014年12月4日と5日に、面的な分布の把握を目的とした計測を実施した。また、底質は、2013年10月17日に表層0~6 cmを7地点（4反復）でコアサンプラーによって採取した。

ため池 B では、底質の線量率と放射性Cs濃度との比較検討を目的として、2014年10月29日にシステムによる計測を7地点で実施し、翌30日に同一地点で底質をエクマンバージ採泥器で採取した。

採取した底質は、前処理の後、ガンマ線スペクトロメトリー法により放射性物質量を定量した。Cs濃度は、¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計量であり、放射線量の減衰を考慮し、システムによる計測日の値に換算している。

III. 調査結果

1. ため池内の面的な分布

ため池 A における調査結果を図-2に示す。なお、白黒で印刷する都合上、開発したソフトとは異なるソフトで描画している。計測した線量率の大小を、○の大きさに示している。

調査時には、1時間で約30地点の計測が可能であった。これまでの調査³⁾では、ハンディGPSの液晶画面で地点を確認し、緯度経度とガンマ線の値（線量率）を野帳に記録しており、水域におけるガンマ線の

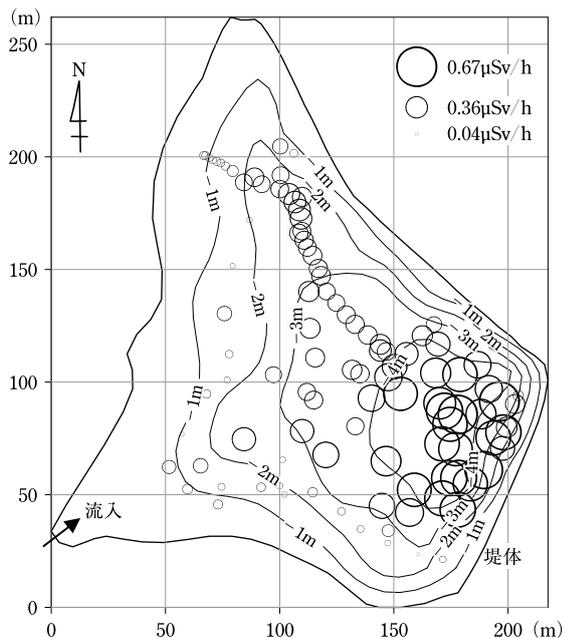


図-2 ため池 A の深浅図と調査結果

面的な分布傾向を把握するのが容易ではなかった。開発したシステムでは同一画面に位置情報と計測値の大きがカラー表示されるため、水域内の面的な分布傾向の把握が容易で、調査地点を効率的に選定することができた。

調査の結果、流入に近い西側よりも堤体に近い東側が、また、堤体近傍では南側より北側が、高い線量率を示し、全体として深い領域にて高い値を示していた。Cs は土粒子の中でも粒径の細かい粘土などに吸着されやすく、細かい粒径は深い領域に堆積しやすい⁷⁾。調査結果は、この知見と一致している。

また、各計測地点の水深と線量率の関係を図-3 に示す。底質の線量率は、水深が大きくなるに従って増加するが、深さ 150 cm 以下の浅い領域では小さくバラツキも大きい。深さ 200~300 cm の領域ではあまり変化せず、300 cm を超えて最深部にかけて急激に値が上昇する。なお、点線で囲んでいるのは、右岸側

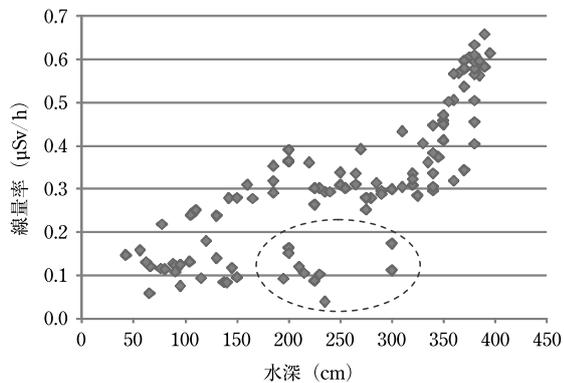


図-3 ため池 A における水深と線量率の関係

の岸に近い地点（図中の Y 座標がおおよそ 50 m 以下）での計測結果である。右岸側では、直径 10 cm 以上の大きな石が多数点在しているのを、水位低下時に目視確認しており、石によってガンマ線の値が低くなったと考えられる。

2. 線量率と底質の Cs 濃度の比較

図-4 に、ため池 A と B における線量率と底質の Cs 濃度を比較した結果を示す。乾燥重量当たりの Cs 濃度と、含水比から求めた湿潤重量当たりの Cs 濃度を表す。回帰直線は、ため池 A と B の乾燥重量当たりの Cs 濃度と線量率の関係（破線）、ため池 A と B の湿潤重量当たりの Cs 濃度と線量率の関係（直線）を示している。

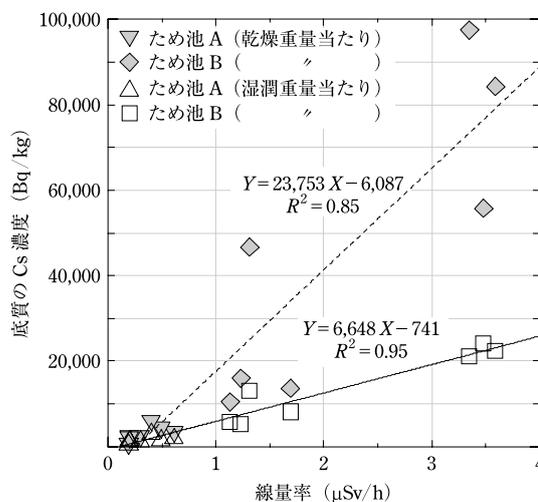


図-4 線量率と Cs 濃度の比較（ため池 A と B）

図-4 の結果より、対象とした 2 つのため池では、線量率と表層の Cs 濃度間に正の相関関係があり、この計測手法は、ため池底質の概略的な調査法として妥当であることを示している。線量率と Cs 濃度の比較において、乾燥重量当たりと湿潤重量当たりでは、回帰直線の傾きが大きく異なる。特に、ため池 B の底質は、含水比が平均で 200% と、水の占める割合が高く、2 つの回帰曲線の傾きが 3 倍ほど異なる結果となった。

得られた線量率の値から底質の Cs 濃度に換算する場合、湿潤重量当たりの Cs 濃度と比較するほうが望ましい。底質は、含水比が高くなると土の体積比は大きく低下する。たとえば含水比が 100% から 300% になると、土の体積比は約 28% から約 11% になり、湿潤密度は約 1.4 g/cm³ から約 1.15 g/cm³ に低下する⁸⁾。湿潤重量当たりの Cs 濃度は、底質中の土の体積比を反映しているため、含水比が異なる底質同士を比較する場合には適した指標と言える。

なお、ガンマ線の減衰長は底質の密度に左右される

が、その変化の割合は小さい。前述の条件でサーベイメータに到達するガンマ線を概算すると、含水比100%が300%になると、密度が低下することで到達するガンマ線は約9%増加する。しかし、土の体積比の変化に比べると、この増加割合は小さいことから底質の密度変化による減衰長の違いは考慮する必要性は低い。

IV. おわりに

市販のサーベイメータなどを使って、水域底質から放出されるガンマ線の値（線量率）を計測するシステムを開発した。2名の作業員で計測できる簡易なシステムであり、開発したソフトを使うことで、現地リアルタイムでガンマ線の値を確認することが可能であり、Csの面的な分布傾向の把握や、ホットスポットの抽出を効率よく実施できる。また、開発したソフトは近々公開を予定している。

本システムは底質中の放射性Csから放出されるガンマ線の値（線量率）を現場で概略的かつ効率的な計測に主眼をおいた計測手法であるため、以下が留意事項である。①表層のみを計測対象としており、底質の深さ方向は計測できない。②使用したサーベイメータの特性上、計測結果から¹³⁴Csと¹³⁷Csの核種別の値を得ることは難しい。③バックグラウンドの補正を行っていないため、水深が浅い場所では、周辺からのガンマ線が検出器に到達し、過大な計測結果となる可能性がある。そのため、水深30cmより深い水域を対象としている。④線量率をCs濃度に換算する場合、湿潤重量当たりのCs濃度との相関を調べることが望ましく、線量率が低い場合は計測誤差が大きくなりやすいことに注意する必要がある。

開発した本システムが、原発事故災害からの復興にわずかながらでも貢献できることを願う次第です。

サーベイメータのソフトの改変に小原裕二氏（(株)テクノエーピー）より、GPS & Field Data Viewerの開発に寺田徹氏（(株)テクス）より、それぞれご協力を得ました。計測装置の作成および現地観測の実施に当たり、農村技術支援チームの野口克行氏、寺川浄司氏、石島正人氏のご協力を得ました。また、本研究はJSPS 科研費（挑戦的萌芽研究 25660195）の助成を受けました。

現地観測の実施に当たり、関係機関のみなさまには多大なるご協力を頂きました。深く御礼申し上げます。

引用文献

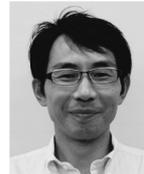
- 1) 農林水産省：ため池の放射性物質対策技術マニュアル基礎

編全体版, <http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/saigai/pdf/141119-01.pdf> (参照2015年2月27日)

- 2) 環境省：河川・湖沼等における放射性物質に係る知見の整理, <http://www.env.go.jp/jishin/jishin/rmp/conf/12/mat02.pdf> (参照2014年9月5日)
- 3) 吉永育生, 島崎昌彦, 常住直人, 高木強治：ため池底質におけるCsの堆積状況と粒径別Cs濃度の比較, 水土の知 81(9), pp.19~22 (2013)
- 4) 眞田幸尚, 高村善英, 卜部 嘉, 土田清文, 西澤幸康, 山田勉, 佐藤義治, 平山弘克, 西原克哉, 伊村光生, 石田睦司, 石橋 聖, 佐瀬隆聡, 鈴木元和, 森 英治, 米澤重晃, 鳥居建男：水底のin-situ放射線分布測定手法の開発, JAEA-Research 2014-005, pp.1~67 (2014)
- 5) 石井大輔：緯度・経度から平面直角座標系への変換について, 九州大学応用力学研究所技術レポート7, pp.85~90 (2006)
- 6) 飛田幹男, 河瀬和重, 政春尋志：赤道からある緯度までの子午線長を計算する3つの計算式の比較, 測地学会誌 55(3), pp.315~324 (2009)
- 7) Konitzer, K. and Meili, M. : Retention and horizontal redistribution of sedimentary Chernobyl ¹³⁷Cs in a small Swedish forest lake, Marine and freshwater research 46(1), pp.153~158 (1995)
- 8) 山中 稔, 松浦慎一, 長谷川修一, 森下一男：香川県内ため池底泥の物理化学的性質, 平成17年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp.906~907 (2005)

[2015.8.17.受理]

吉永 育生 (正会員)



1972年 熊本県に生まれる
1995年 京都大学農学部卒業
農林水産省農業工学研究所などを経て
2015年 農林水産省農林水産技術会議事務局研究
専門官
現在に至る

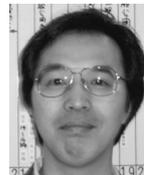
略 歴

島崎 昌彦 (正会員)



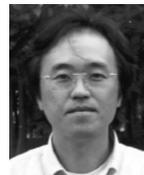
1965年 兵庫県に生まれる
1989年 神戸大学大学院農学研究科修了
農林水産省農業工学研究所などを経て
2012年 農研機構農村工学研究所水利工学研究領
域主任研究員
現在に至る

常住 直人 (正会員)



1963年 千葉県に生まれる
1985年 東京農工大学農学部卒業
農林水産省農業土木試験場などを経て
2011年 農研機構農村工学研究所水利工学研究領
域主任研究員
現在に至る

高木 強治 (正会員)



1960年 福岡県に生まれる
1984年 九州大学農学部卒業
農林水産省農業土木試験場などを経て
2011年 農研機構農村工学研究所水利工学研究領
域上席研究員
現在に至る