

船舶を活用した海上移動型放射線モニタリングシステムの開発 (海の道からのアプローチ)

(受託者) 国立大学法人神戸大学

(研究代表者) 小田啓二 大学院海事科学研究科

(再委託先) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、

独立行政法人国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校、国立大学法人福井大学

(研究期間) 平成 27 年度～29 年度

1. 研究の背景とねらい

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島原発）の事故を受けて、我が国の防災体制の見直しが行われた。住民の放射線防護の観点からは、緊急時モニタリングセンター（EMC）に陸上に設置されているモニタリングポストや自動車搭載放射線モニター等による測定データを集約し、災害対策本部が避難指示を出すことになっている。しかしながら、交通網が遮断されるような大規模災害時や、原子力事故直後の炉内状態の把握のためには、出来るだけ早期の放射線データの取得が不可欠である。

しかしながら、近代的に整備された陸上交通網の多くが震災によってダメージを受けると、震災地域や事故区域へのアクセスが困難となる。ここでのタイムロス人命のみならず、原子力発電所の健全保持に決定的なダメージを与えることは、福島原発事故からも明らかである。このような状況下で原子力施設の多くが沿岸部に集中している我が国では、もうひとつの経路、即ち「海の道」の利用が有効であると考えられる。海上での放射線モニタリングは、複雑な地形による影響がないため、陸上でのモニタリングに比べて有効なデータを提供できる。そこで、本研究課題では、被害を受けなかった地域から船舶を派遣し、これに放射線測定器や防護装備等を搭載するとともに、原子力・放射線の専門家が乗り込むことにより海上の前線基地としての機能を持たせた「緊急時放射線モニタリング（ERM）バックアップシステム」を提案する。

この船舶を活用した海上移動型放射線モニタリングシステムを実現するためには、緊急時に必要な測定機器や補修機器等ハードの整備と運航要員に対する十分な放射線教育訓練プログラムを準備し、原子力災害時に速やかに船舶を利用した災害対応を実施することが可能な仕組み作りとチーム編成を確立しておく必要がある。本研究課題では、迅速な初動対応が必要な原子力災害対策のオプションのひとつとして、船舶を活用した支援システムの実現に必要な諸課題（例えば、対応可能な船舶の運航計画、搭載する放射線測定機器等の選択と開発、乗組員への事前放射線教育等）に取組み、ERM 支援システムのプロトタイプ設計を行うとともに、附属練習船を発電所に派遣する航海実験とその結果の考察を通して、国・関係省庁等への提言をまとめることを目標とした。

2. 研究の進捗状況

目標を達成するために以下の 3 つのテーマを設定し、各々のテーマについて研究を進めている。

テーマ 1. 船舶を活用した新システムの設計

テーマ 2. 船舶への海上前線基地機能の移植

テーマ 3. 海上移動型モニタリングシステムの開発

以下に、それぞれのテーマの進捗状況を記す。

2. 1 船舶を活用した新システムの設計

テーマ1では原子力災害時に船舶を海上前線基地として緊急時放射線モニタリングを行う制度の全体設計を行う。

我が国の原子力発電所サイトの近くには練習船を有する商船系大学・高専及び水産系学部が多く存在する。事前にこれら大学・高専の理解が得られるならば、発災したサイトに最も早く到着できる練習船が急行するというネットワークが整備できる可能性がある。昨年は海事商船系大学高専懇談会で紹介し、高知大学、鹿児島大学、及び、長崎大学、今年は北海道大学を順次訪問し、本プロジェクトの趣旨を説明するとともに、保有する練習船の運航状況、及び、緊急時の対応に関する情報を収集した。

船舶がチャーターできたとしても、それを動かす要員がいなければ運航できない。放射線被ばくに対して不安を感じる船舶運航要員（臨時職員含む）を対象とした放射線教育のための研修プログラムの策定が重要である。そこで、再委託先である量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（以下、放医研）の人材育成センターが中心となり、同じく再委託先である大島商船高等専門学校の協力を得ながら、高専生や船舶関係者に対して放射線教育と研修を試行した。図1に受講者のアンケート結果を示す。受講中の反応及びアンケート結果から、より効果的な研修プログラムとするためには、基礎知識に関する事前学習を組み込むこと、及び、身のまわりの放射性物質からの放射線測定実習をより多く取り込んだ内容とすること、等の改善点を確認した。

学生

- ・いろいろなものの放射線を測るのがおもしろかった。
- ・放射線について考えたことがほとんどなかったので学べてよかった。
- ・（講師から受講生に対しての）質問がとてもよかったと思います。自分は大体間違えていたので知ることができて良かったと思います。もう少し講習を受けたいとも思いました。
- ・実際に放射線量を測定する実験があり、身近なものにも結構含まれているのだと思いました。
- ・原発の事故の後からよく耳にする問題として、正しい知識を得るのにとっても良い講座だと思いました。

海事職員

- ・とても勉強になりました。ありがとうございました。

技術職員

- ・放射線に興味を持ち、もっと勉強したいと思います。

図1. 放射線レクチャー後に実施したアンケート(感想欄)の結果

法的支援の観点から、提案するシステムが既存の原子力防災体制へ組込むことが可能であるか検討した。福島原発事故後に改訂された「原子力災害対策指針」の確認及び現時点での原子力防災体制の調査を行い、それらの問題点や改良点がないか検討するとともに、船舶を活用した「海上の前線基地」という観点を導入した場合の有効性と問題点を整理した。また、国の行政機関や原発立地県の担当者と原子力災害時の船舶を用いた避難のあり方について意見交換を実施し、さらにすべての原発立地県の防災計画を調べた。船舶の活用については、自治体の一部では、住民避難のひとつの手段として考えられており、さらに海上保安庁の船舶で海上放射線モニタリングを実施する計画を有していることを確認した。

2. 2 船舶への海上前線基地機能の移植

テーマ2では事前登録された教育機関附属練習船を「海上前線基地」として転用するために不可欠な改造、補強、及び、整備項目の各々について検討することを目的としている。

現時点での計画では、あらかじめ線量率レベルを設定しておき、それを超えた場合には、それ以上原子力発電所に近づかないことにしている。しかしながら、通常のエducational機関附属練習船には放射線モニターは設置されていない。そこで、適切な船外モニターを設置し線量率を監視することと、船内に避難スペースを確保することについて検討した。乗船者の被ばく管理という観点から、上空に放射線核種がブルーム状に浮遊していると仮定して、その形状（幅・厚さ）と高さを

変えて、船舶内の線量率分布を計算した。計算にはモンテカルロシミュレーションコード EGS5 を用い、神戸大学所有の練習船「深江丸」を図 2 に示すように簡略化した後、各層における平均吸収線量率を計算した。船舶船橋の上部に船外放射線モニターを設置すると仮定し、船舶の内部を 8 分割（上下 4 層×左右）した空間と船橋の上部の計 9 か所について、船外の放射性核種を含むプルーム中の単位放射能当たりの平均吸収線量率を計算した。それぞれの空間を仕切る鉄の厚みは 0.9 cm とし、床面には 5.7 cm のコンクリートを加えた。想定する放射線として、I-131 や Cs-134、Cs-137 といった代表的な核種の γ 線を対象とした。図 3 に計算結果の一例を示す。これは船舶上空 15 m に厚さ 5 m の Cs-137 の線源がプルーム状に存在すると仮定し、線源の高さを変化させた時の各層での平均吸収線量率を示したグラフである。0 層目は船橋の上部に対応している。プルームの高さが高くなるにつれて、平均吸収線量率が低くなっていること、また、0 層目から 4 層目にかけて平均吸収線量率が低くなっていることがわかる。さらに、0 層目と 1 層目の平均吸収線量率の比はおおよそ 0.3 となり、4 層目は船体・水による遮断効果が大きいいため、極めて低い値となった。このことから深江丸では緊急時の避難場所として 4 層目が適していることが明らかとなった。その他、必要な整備として、船内で被ばく管理を行うための放射線測定器（サーベイメータ、個人線量計）の選定と通信機器の動作確認と電源も含めた機器設計を終了した。

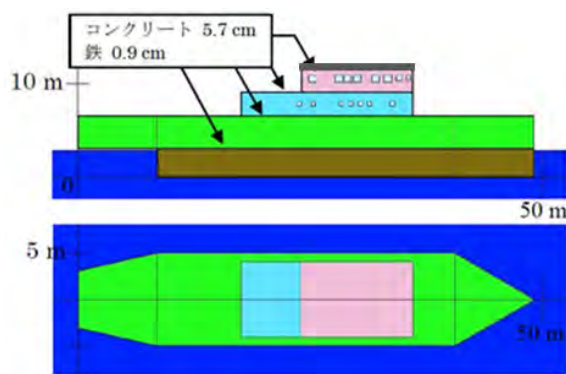


図 2. 練習船深江丸を単純化した体系

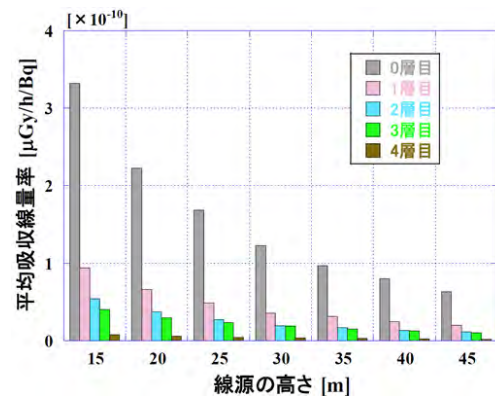


図 3. 平均吸収線量率とCs-137線源の高さの関係

2. 3 海上移動型モニタリングシステムの開発

海上基地として船舶を活用する場合、線量率によっては船舶が原子力発電所に近づけない場合も考えられる。そこでテーマ 3 では近接可能な位置でのモニタリングに加えて、無線操縦の無人飛行体に搭載した測定器によるモニタリング、さらにその飛行継続時間・距離によっては、母船からの無人小型ボートを経由した方式も併せて検討している。

表 1 無人飛行体のメリットとデメリット

	メリット	デメリット
無人飛行機	・飛行時間が長い ・ペイロードが大きい ・多少の風に影響されない ・無線操縦可能距離が長い(5 km)	・滑走路(数百m)又はカタパルトが必要 ・価格が高い ・操作が難しい ・(機種によりパイロットが必要)
無人ヘリ	・飛行時間が長い ・ペイロードが大きい ・ホバリング可能 ・無線操縦可能距離が短い(5 km)	・価格が高い ・操作が難しい ・(機種によりパイロットが必要) ・離着陸にスペースを必要とする
マルチコプター	・価格が安い ・操作が容易 ・ホバリング可能 ・離着陸を小スペースで可能	・飛行時間が短い ・風に影響される ・ペイロードが小さい ・無線操縦可能距離が短い(1 km)

現在、無人飛行体は無人飛行機、無人ヘリ、及び、マルチコプターを検討しており、表1に各無人機のメリットとデメリットをまとめる。放医研で開発してきた走行サーベイシステムの技術を応用し、小型・軽量だけでなく、通信方法や他の計測機器への接続可能性など幅広く検討した。この中で船舶での利用を考えると無人飛行機や無人ヘリは離着陸スペースを確保することが困難である。さらに、放射線測定器を搭載しリアルタイムでデータ通信が可能という理由からマルチコプターが最も有力であると判断した。しかしながら、ペイロードが小さい、風に影響されやすい、飛行可能時間が短い、等の検討課題が残された。図4は無人飛行体に搭載する小型線量計 TC300L (図4(a)) と、Cs-137 及び Co-60 の標準線源を測定した結果である(図4(b))。TC-300L は線量率測定とスペクトル測定ができ、無人飛行体に搭載するための大きさや測定感度も問題ないと判断した。また、線量計とパソコンを Wi-Fi でつなぎ、離れた場所でリアルタイムの線量率データを取得できることを確認した。一方で、この方式ではスペクトルデータをリアルタイムに取得することが困難であることを確認した。

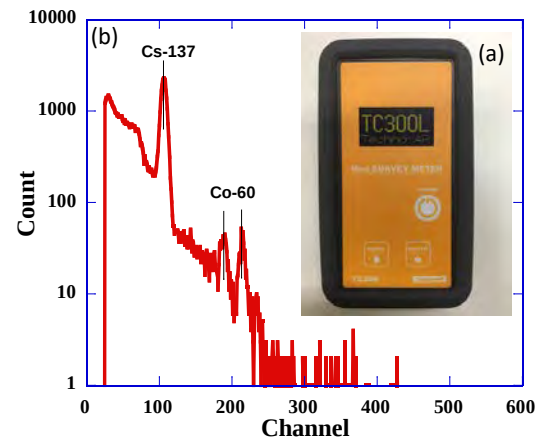


図4. TC300L線量計のパルス波高分布 (a) (b)

災害の規模により船舶が原子力発電所に近づけないことも想定される。そこで、母船から直接無人飛行体を飛ばすことができない場合に備えて、無人小型ボートを経由して無人飛行体を飛行させる方法も併せて検討した。国内外で市販されている無線操縦可能な全天候型ボートについて調査した結果、転覆時の対応、何らかの自律航行の可能性、取扱容易性、投入・揚収簡便性などの条件も付加すべきであるとの結論に至った。

3. 今後の展望

練習船を有する商船系大学・高専及び水産系学部はこのプロジェクトへ参画して頂くべくネットワークを作り、船舶、船員、測定機器などの登録制度を完成させる予定である。また、放射線研修プログラムを改善し、神戸大学附属練習船「深江丸」の職員に受講してもらい、その効果を検証する。

船舶の放射線防護対策は引き続き検討する必要がある、加えて船外モニターの動作試験、体内被ばく対策を含めた安全管理対策をまとめる。船舶関係者の協力を得て、実際にまとめた安全対策が航行に支障をきたさないかの調査も併せて行う。

船舶への搭載という条件を考慮した放射線測定器の選定は終了しており、現在、それらのパッケージ化を行っている。また、今年度明らかになったマルチコプターの問題点を改良し、放射線測定器を搭載した無人飛行体の測定システムを構築する。

最終年度には、総合システムチェックとして、放射線測定システムや防護装備等を搭載した「深江丸」に各チーム及び放射線専門家が乗船し、原子力発電所（或いは代替としての火力発電所）周辺まで航行し、ロールプレイを行う予定である。この航海実験の結果を分析するとともに、国・自治体等の緊急対策担当者や国内外の防災関連分野の専門家を招待したシンポジウムにおけるディスカッションを踏まえ、最終的な提言をまとめる。