

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の事故を受けて、我が国の原子力災害に対する防災体制の見直しが行われた。地域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放射線モニタリングカー等による測定結果を集約し、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、陸上のモニタリングポストや放射線モニタリングカーが運用停止に陥るような大規模災害や、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。

このように、整備された陸上交通網の多くが震災により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ため、迅速な対応が困難となる。すなわち、ここでのタイムロスは人命のみならず、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。そこ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、「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、迅速な初動対応に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. これまでの研究成果

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きた。

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付加

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これまでの研究成果を記す。

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った。

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しており、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。そこで海事商船系大学高専懇談会や商船系・水産系学部を有する大学に本プロジェクトの趣旨を説明するとともに、それぞれの機関が保有する練習船の緊急時対応に関する情報や、運航状況を収集した。また、自動船舶識別装置を利用して各機関所属練習船の現在位置情報を表示するシステムを構築し、いざ発災したサイトに最も早く対応できる練習船がどこにいるか可視化した。

一方で災害対応できる船舶が用意できたとしても、それを動かす要員がいなければ運航できない。特に放射線被ばくに対して十分な知識がない場合には、不安を感じる船舶運航要員もいると考えられる。そこで災害対応に協力頂ける船舶運航要員を対象とした放射線教育のための研修プログラムを策定した。図1に船舶関係者のためのプログラム例を示す。放射線研修は2日間で放射線に関する基礎知識から実際の活動現場への応用までを効率よく学ぶことができるように設定した。1日目の午前は、放射線の基礎知識から被ばくによる人体影響、放射線防護の基本から被ばく・汚染対策といった、放射線が関係する災害や事故に対応する上で必要となる基礎的な事項を座学形式で学ぶ。午後は、防護装備の着脱から施設・設備の養生方法を実体験したり、放射線源を用いた遮へい材の放射線遮へい能力の確認実験や体表面汚染の検査を行ったりする体験型実習を通して、より実践的に放射線への対応方法を学ぶ。2日目は、船舶運航要員に特化して、海上での事故の歴史、福島原発事故の海洋への影響と現状、放射性物質の海上輸送の現状、海上での防災対策などを学び、押さえておくべき海上と放射線の関わりを知ることとする。これらの研修プログラムで船舶運航要員の放射線に関する疑問点を解消し、災害対応に対しての不安を軽減することができるようにした。

時 間	講 義 タ イ ト ル	内 容
1日目		
第1日：放射線を知る		
9:00 - 9:30	0:30	開講式/プレテスト
9:30 - 9:40	0:10	休 憩
9:40 - 10:40	1:00	放射線の基礎と人体影響
10:40 - 10:50	0:10	休 憩
10:50 - 11:50	1:00	放射線防護と汚染対策
11:50 - 12:50	1:00	昼 食
12:50 - 16:20	3:30	実習: 遮へい実験、防護装備の着脱、施設設備の養生、放射能汚染検査
B		
2日目		
第2日：対応を知る		
9:00 - 10:00	1:00	被ばく事故の歴史(第5福電丸の事例など)
10:00 - 10:10	0:10	休 憩
10:10 - 11:10	1:00	東電福島第一原子力発電所事故の海洋への影響
11:10 - 11:20	0:10	休 憩
11:20 - 12:20	1:00	放射性物質の海上輸送の現状
12:20 - 13:20	1:00	昼 食
13:20 - 14:20	1:00	海上での防災対策(伊方原発を例に)
14:20 - 14:40	0:20	総合討論
14:40 - 15:00	0:20	ポストテスト/閉講式

図1 放射線研修プログラム

2. 2 船舶への海上前線基地機能の付加

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」として運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した。

練習船が災害対応に出動するときには、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とする必要がある。しかしながら、通常の練習船には線量率レベルを知るための放射線モニターは設置されていないため、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が重要である。そこで実際に神戸大学附属練習船「深江丸」に船外モニターを設置し（図2）、神戸大学深江キャンパスから和歌山県御坊火力発電所までの実航海実験で運用した（図3）。また、モンテカルロシミュレーションコード EGS5 を用い、深江丸の上空に事故時に放出される可能性のある揮発性及び気体状核種（ヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137）をプルームとして仮定し、その形状（幅・高さ）と高さを変え、船舶内の線量率分布を計算した。この EGS5 の結果と船外モニターを組み合わせることで、船外モニター数値を見ておけば、おおよその船内の線量率が予測でき、個人線量計と組み合わせることで、急な環境変化にも対応できる準備を整えた。

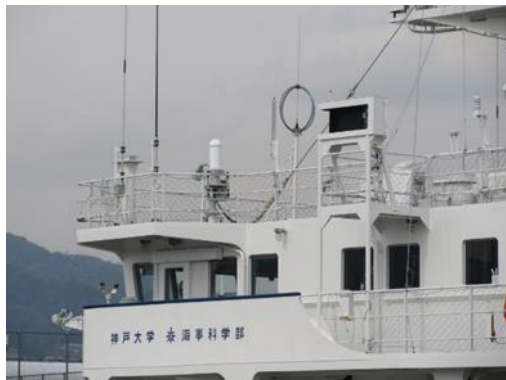


図2 深江丸に設置した船外モニター

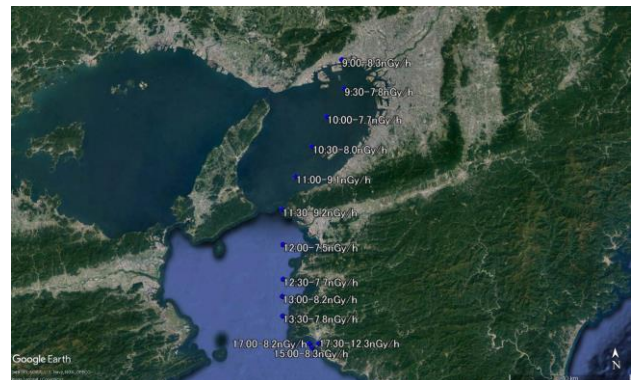


図3 航行中の放射線モニタリング結果

また、船舶運航のために船員が船橋に留まらなくてはならず、被ばく低減のためには、半面・全面マスク、防護服の着用と、外気を船内にできるだけ流入するのを防ぐため、送風口に HEPA フィルターやチャコールフィルターを取り付けること必要だと確認した。

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と無人小型ボートによるモニタリングの可能性について検討した。まず、ドローン及び小型ボートに搭載するために、放射線測定器（TC-300）を選定した。本測定器は線量測定とエネルギースペクトラム計測ができ、さらに計測位置情報や時間情報を併せて無線通信により、船舶上の制御コンピュータに設置するホストコンピュータへ転送共有するシステムを作成した（図4）。現在市販されている多くのドローンは、基幹部品であるオートパイロットが海



図4 ドローン搭載用線量計一式

外製であり、特にオートパイロットは、加速度計やジャイロ스코プなどの各種センサーを用いて機体の状態を把握し、状況に応じて方向舵や補助翼などを自動で操作するシステムである。さ

らに、GPS 信号による飛行場所や時間のデータを自動記録し、機体がネットワークに繋がれた機体制御用端末とペアリングすると、オートパイロット内のデータは自動的に海外メーカーのサーバーへ送信されることになる。本事業ではドローンに放射線測定器を搭載し、原子力発電所周辺のモニタリングを行うことを想定しており、セキュリティの観点から国産メーカーのドローンを採用した（図 5）。実際に航海実験で船舶からドローンを飛ばしモニタリングを実施したが、発着を行なえるスペースの確保、気象条件による制約、急な風による影響に対する対策が必要なことが明らかになった。特に、発着スペースは、小さくとも 2 メートル四方の平面スペースが必須であり、急な風による影響を受け不安定な状況になるドローンを操縦するために十分な訓練を積んでおく必要がある。



図 5 測定中のドローン

一方で、災害の規模により発電所に船舶が近づけない時には、時間的制約があるドローンより駆動時間の長い小型ボートに測定器を搭載しモニタリングする可能性もある。小型ボートの選定には、可能な限り制御可能距離と航続時間が長いものが適しているが、それらを十分満たすものは非常に高価である。小型ボートによるモニタリングの可能性を検討するため、全長 1.4m の測量用小型ボートを選定した。この小型ボートは航続時間が 210 分でドローンの 7 倍以上航続できる。そこで和歌山県御坊市沖で船体にドローンでも使用した線量計を積み込み、モニタリング実験を実施した。線量率やスペクトル値も母船に Wi-Fi 通信で数百メートルの距離であるが送信できることを確認した。



図 6 線量計を搭載した小型ボート



図 7 航行中の小型ボート

3. 今後の展望

原子力災害時のバックアップシステムとして船舶の活用を検討し、海上の前線基地となる船舶のネットワークの拡大（教育機関だけでなく官民の船舶）、船舶運航要員の確保、乗船者の放射線被ばく対策、ドローンや無線小型ボートによる放射線モニタリング領域の広域化など、より実用的なプロトタイプの作成を目指す。