

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14292

研究課題名(和文)原子力・放射線災害初動対応への船舶の活用(海からのアプローチ)に関する基礎研究

研究課題名(英文)Fundamental study on utilization of training ships for initial response to nuclear and radiation disaster (approach from the sea)

研究代表者

小田 啓二(Oda, Keiji)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：40169305

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：原子力発電所が被災した場合の緊急時放射線モニタリングのバックアップシステムとして、船舶を活用したシステムの提案に関するフェジビリティスタディを行った。

まず、練習船を有する商船系大学・高専及び水産系学部がこのプロジェクトへ参画して頂くべくネットワーク作りを行った。また、深江丸関係者対象のレクチャー試行の結果、放射線研修プログラムの効果を検証できた。次に、船舶の放射線防護対策については、ブルーム中放射能と船内線量率分布の定量的な関係を評価した。これは本研究課題の大きな成果のひとつである。最後に、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を完了した。

研究成果の概要(英文)：A feasibility study has been performed about a newly proposed back-up system by using a training ship as a front-line base on the sea for emergency radiation monitoring in case of nuclear accident.

At first, we tried to make a network among maritime universities and colleges in preparation of the ship and manning of the crew member. A comprehensive lecture for them was also checked about radiation and an effect of radiation exposure on human body. In the second subject of the radiation protection process, a qualitative relation was derived between the activity in a radioactive plume and the spatial distribution of the average absorbed dose in the ship, which is considered to be one of most outstanding results in this study. Finally, a selection was carried out about the type and performance radiation monitors and analyzer for radioactive materials under a condition of on-board instruments.

研究分野：放射線安全

キーワード：原子力災害 緊急時放射線モニタリング 練習船

1. 研究開始当初の背景

2011年の福島原発事故においては、津波のためにオフサイトセンターの機能が喪失した。これを受け、建築物構造や設置場所の見直し、代替施設の指定等の対応が考えられているが、このような「多重性」に加えて「多様性」、即ち、別のオプションを持つことが重要であると考えられる。

災害時の船舶の活用については、平成7年の阪神・淡路大震災において我々が学んだ教訓のひとつである。もともと船舶には、大量の緊急物資の輸送や避難者の搬送という運搬性だけでなく、海上を自由に航行する機動性や、発電設備・水・食料・船舶電話が備えられているので自立性(独立性)を兼ね備えている。これらの特徴に着目して、震災地へのアクセス、物資や人の運搬、避難所としての機能、簡易医療施設としての役割等いくつかの研究がなされた(田伏他:神戸大学海事科学部紀要,2004)。東日本大震災後も、内閣府における「災害時における多目的船に関する検討会(平成23年度、平成24年度)」や国交省の「大規模災害時の船舶の活用等に関する調査検討会(平成25年度)」が開催され、海からのアプローチの有効性が指摘されている。

こうした震災の教訓を踏まえた上で原子力・放射線災害への対応について検討した結果、被害を受けなかった地域から船舶を調達し、これに放射線測定器や防護装備等を搭載するとともに、相当数の原子力・放射線の専門家が乗り込むことによって、「海上の前線基地」としての機能を持たせた緊急時対応支援システムの構築という構想に至った。

2. 研究の目的

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。

但し、「船舶を活用した海上前線基地による新たな緊急時対応システムの構築」という最終的な制度設計の完成までは、構想から機器調達、整備訓練など長い時間を要すると思われるが、本研究課題では、その実現性のために解決しておくべき諸課題を明確にし、それらをひとつずつ検討するフェーズビリティスタディと位置づける。上記システムの実現に向けた第一段階として、文部科学省配下の教育機関が現有する施設・設備・研究機器と人的資源の活用を前提として、船舶の出動に伴う管理上の問題、実習等のために設計された船舶内の制限された空間でオフサイトセンターの機能の一部を持たせるためのハード面の問題、運航要員及び原子力・放射線専門家の組織化などソフト面の問題点の洗い出しを行うことを目的とした。

3. 研究の方法

目標を達成するためには、協力船舶・運航要員の登録とネットワークの整備、船舶職員に対する十分な放射線教育プログラムの策定、通信基地としての役割も考慮したブリッジの設計、被ばく低減のための船内構造(遮へい等)の設計、必要な測定機器や補修機器等の選択とパッケージ化、放射線専門家・技術者の組織化、など多くの課題の検討が必要である。そこで、これらを以下の3つのテーマに分類し、研究を進めた。

- (1) 船舶を活用した新システムの設計
- (2) 船舶への海上前線基地機能の移植
- (3) 海上移動型モニタリングシステムの開発

以下に各テーマの研究成果の概要をまとめる。

(1) 船舶を活用した新システムの設計

本テーマ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扱った。

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。まず、海事商船系大学高専懇談会で紹介し、東京海洋大学、高知大学、鹿児島大学、長崎大学及び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・研修プログラムの策定が重要である。そこで、神戸大学研究基盤センターアイソトープ部門と大島商船高等専門学校の協力を得ながら、レクチャー内容を検討するとともに、大島商船高専生、神戸大学学生や船舶関係者に対して放射線教育と研修を試行した。受講中の受講者の反応及び実施後の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。

さらに、法的支援の観点から、既存の原子力防災体制へ組み込むことの可能性の検討を追加した。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) 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た。

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、通常の教育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ので、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1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ブ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。

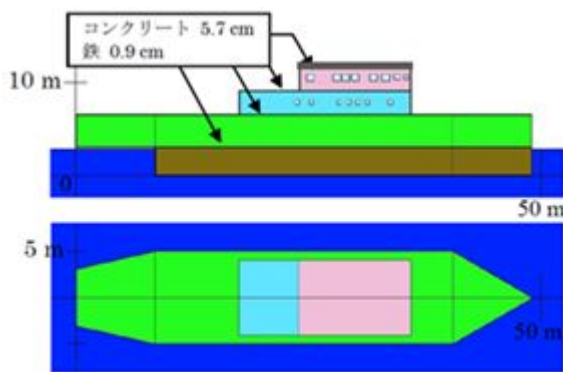


図1. 深江丸を模擬したモンテカルロ計算体系

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線を対象とした。図2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の線源がブルーム状で存在すると仮定し、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。ブ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。

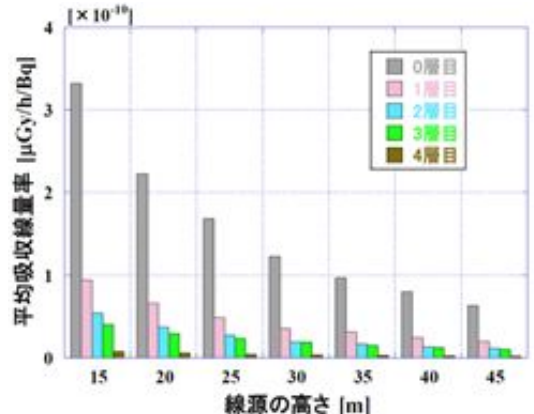


図2. 平均吸収線量率分布の計算結果の一例

(3) 海上移動型モニタリングシステムの開発

海上前線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た。

まず、無人飛行体は無人飛行機、無人ヘリ、及び、マルチコプターを候補として検討した。各無人機のメリットとデメリットを表1にまとめる。

表1. 無人飛行体候補の比較

	メリット	デメリット
無人飛行機	<ul style="list-style-type: none"> 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(5km) 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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長い(5km) 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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(1km)

別途開発動向を調査してきた走行型放射線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。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条件からマルチコプター(ドローン)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3は無人飛行体に搭載する小型線量計の最有力候補であるTC300L(a)と、Cs-137及びCo-60の標準線源を測定した結果(b)である。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。

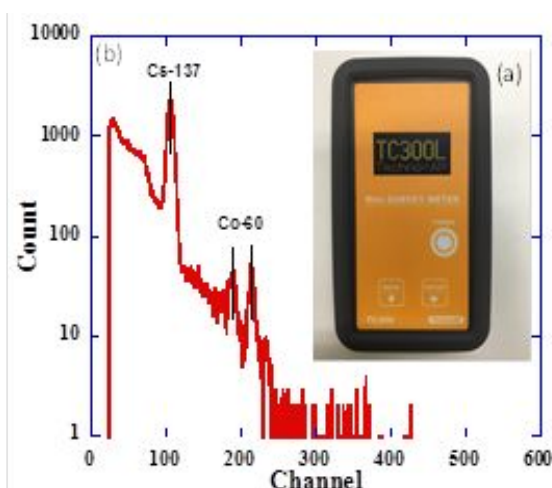


図3．ドローン搭載用小型線量計(a)と測定された線スペクトル(b)

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、無人小型ボートを經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。

4．研究成果

テーマ1においては、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作りを行った。特に水産系大学・学部所有の船舶は、出勤時間が長いという問題もあり、これらを考慮した船舶、船員、測定機器などの登録制度の完成が課題として残された。また、放射線研修プログラムについては、大島丸及び深江丸関係者対象のレクチャー試行の結果、ほぼその効果を検証できたと考えられる。

テーマ2における船舶の放射線防護対策については、ブルーム中放射能と船内線量率分布の定量的な関係を評価できたことは、本研究課題の大きな成果のひとつであると考

えている。今後は、より精度を上げた計算を継続するとともに、体内被ばく対策を含めた安全管理対策をまとめる必要がある。また、船舶関係者の協力を得て、提案する安全対策が実際の運航作業へ及ぼす影響についても併せて行うべきであろう。

テーマ3においては、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た。本研究課題後の第二段階の設計では、それらのパッケージ化、マルチコプターの問題点の改良、及び放射線測定器を搭載した無人飛行体の測定システムの構築が主テーマになるであろう。

以上のように、当初予定していた第一段階としてのフェジビリティスタディは、ほぼ完了したと言えよう。別予算で実施される次の段階では、上述のように明らかになった検討課題に加えて、総合システムチェックとして、実際に放射線測定システムや防護装備等を搭載した練習船に各チーム及び放射線専門家が乗船し、原子力発電所周辺まで航行するという実験を行う必要がある。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

小田 啓二、“船舶を活用した災害対応活動支援～海からのアプローチ～”，ESI-NEWS, 査読無、Vol.34, No.1, 2016, pp.1-11

K. Umetani, H. Oofuji, M. Kanasaki, Y. Mori, K. Oda, “Proposal of Utilization of Training Ships for Emergency Radiation Monitoring in Nuclear Disaster”, Proc. 12th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, 査読無, 2017, pp. 336-337

H. Oofuji, K. Umetani, M. Kanasaki, Y. Mori, K. Oda, “Calculation of Dose Rate Distribution in the Training Ship for Maritime Mobile Radiation Monitoring System”, Proc. 12th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring, 査読無, 2017, pp. 338-339

〔学会発表〕(計10件)

小田 啓二、“原子力災害時における船舶活用の提案”，日本原子力学会2016年春の年会、2016.3.28、東北大学（宮城県）

大藤 広暉、梅谷 圭吾、金崎 真聡、小田 啓二、“海上移動型放射線モニタリングシステムに用いる船舶内の線量率分布の計算”，日本保健物理学会第49回研究発表会、2016.7.1、弘前文化センター（青森県）

大藤 広暉、梅谷 圭吾、森 豊、金崎 真聡、小田 啓二、“海上移動型放射線モニタ

リングシステムに用いる船舶内の線量率分布の計算”、日本放射線安全管理学会第15回学術大会、2016.12.4、岡山大学津島キャンパス（岡山県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 啓二 (ODA, Keiji)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号：40169305

(2) 研究分担者

矢野 吉治 (Yano, Yoshiji)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号：10174567

(3) 研究分担者

石田 廣史 (Ishida, Hiroshi)
大島商船高等専門学校・教授
研究者番号：60031473

(4) 研究分担者

若林 伸和 (Wakabayashi, Nobukazu)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号：60242351

(5) 研究分担者

岩崎 寛希 (Iwasaki, Hiroki)
大島商船高等専門学校・教授
研究者番号：70149970

(6) 研究分担者

宮本 昌明 (Miyamoto, Masaaki)
神戸大学・研究基盤センター・准教授
研究者番号：70278604