

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12222

研究課題名(和文) 深海トレーサー散布実験で海底資源開発の影響がおよぶ範囲を評価する

研究課題名(英文) Assessment for environmental impact at deep-sea resource development by tracer experiment

研究代表者

川口 慎介 (KAWAGUCCI, Shinsuke)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員

研究者番号：50553088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本邦は世界6位の排他的経済水域を有し、そこには膨大な海底資源が存在するとされている。しかしこの開発にあたって必須となる環境影響評価の方法論はいまだ確立されていない。本研究では開発の影響がおよぶ範囲を事前に評価するため、難分解性の化学物質のうち、生物の健康に影響を及ぼさないガス成分を海底に散布し、これを追跡することを提案した。当初は海底全般に利用可能な大規模散布実験を想定していたが、法的な問題から現状では実施が極めて困難であると結論するに至った。一方でカルデラ内に形成された熱水鉱床であれば、同評価法が利用可能であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Japan has a broad area of EEZ, in which abundant seafloor resources are likely present. Although the development for the resources has been desired to domestically provide elements for industry from viewpoint of economic national security, it is now difficult due to absence of consensus for appropriate assessment of environmental impact from the development. This project proposes a method to evaluate extent of the impact from the location, where the development processes, to ambient water column by injection of chemical 'tracer'. Through the two years research during the support, I consider that the tracer assessment is applicable to small size of topographic hole like volcanic caldera but very difficult to be applied to deep-sea plane due to domestic legal constraint.

研究分野：海洋科学

キーワード：環境影響評価

## 1. 研究開始当初の背景

2007年7月に施行された海洋基本法には「海洋資源の積極的な開発」が明記されている。陸上資源に乏しい本邦においては、経済的な視点から海洋からの資源獲得に大いなる期待が寄せられている。また同時に、広大な排他的経済水域に眠る海底資源量やその開発可能性を評価することは、資源の大半を諸外国に依存している国家として、重大な国際安全保障案件である。

こうした観点から、海底資源の総量を把握するための海洋調査が鋭意進められているのに対し、その開発可能性(フィージビリティ)の議論は遅れている。議論が遅れていることの一因として、海底資源の開発に先だって行われるべき環境への影響を事前に確からしく評価するための方法論が確立されていないことがあげられる。

環境影響評価には多くの評価基準が存在しうる。現在の海底資源開発の議論では、目にとまりがちな「深海生物の保護」という観点で議論が進みがちである。しかし、現時点で「学術的にも調査が進んでいない深海生態系」を「評価可能なレベルで把握する」ことは非現実的で、そこをゴールに設定しては影響評価事業を推進することはかなわない。

本研究では、人工的に難分解性化学種(以下「トレーサー」と記す)を海底資源開発候補海域に散布し、この拡がりを追跡することで「深海の海流」を把握することを目的とする。ここで便宜上「深海の海流」と呼ぶものは、具体的には「トレーサー散布地点からの距離・方位・経過時間・希釈率」で表現されるトレーサーの四次元分布である。これは開発影響がおよぶ範囲とその程度を擬似的に再現したものであり、環境影響評価の対象域を限定するための明確な指標となる。

なにより、あらゆる評価基準に先立って、「どのような基準で環境影響評価を実施する対象域を設定するか」を決めねばならない。たとえば陸上においては、河川や大気の流れについて観測データや予測モデルシミュレーションが充実しており、これに基づき「対象域」を設定することが可能である。

一方の深海では、深層海水の流向流速に関する観測データが圧倒的に不足しており、たとえば「ある場所で開発に伴い放出される汚染物質がどの方向に流れていくか」という定性的な予測さえも難しい。またこの問題を解決するために「対象域」を設定するための定量的かつ具体的な指標も提案されておらず、その確立から取り組まねばならない状況にある。

## 2. 研究の目的

本研究期間内ではトレーサー法の技術検討とモデル域の「深海の海流」調査を実施することで、トレーサー法を事業として普及しうる手法として確立することを目的とする。本研究は、実際に影響評価を民間事業として展開することを念頭に、全深海に普遍的に存在する「深海の海流」を対象として提案している。「深海の海流」の把握は、「海底火山帯の熱水性鉱床」あるいは「深海平原のレアアース泥」といった異なる種類の海底資源に対して、普遍的に実施できる点で普及可能性が高い。

この「深海の海流」を把握するための手段の構築にあたっては、既存の海洋学的手法の利用で調査が可能であることも念頭に置いている。つまり、まったく新たな技術を確認することを通じて確立する評価手法では、広く普及することは望めない。一方で、すでに海洋学において利用されている手法を転用した環境影響評価手法とすることにより、新たな技術導入・普及の障壁を考慮する必要がなくなり、より早期に、かつ標準化された技術体系によって、環境影響評価手法として確立が可能になる。

## 3. 研究の方法

トレーサー法を用いて深海の環境影響評価をする上で重要なポイントは、トレーサーを適切に散布することにある。本研究では、天然環境において極微量にしか存在せず、また化学反応・生物代謝に対して不活性である六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)を利用することを考えた。

SF<sub>6</sub>は常温常圧の条件下では気体である

が、市販のガスボンベには液化した状態で封入されている。不活性であるSF<sub>6</sub>の分布は、発生源（散布地点）からの流体拡散のみに規定され、流体の動きを追跡する指標となる。

海洋表層で実施するトレーサー法では、船上から直接、海洋表層へとトレーサーを投入できる。一方で、深海中で散布するための容器は、(1)高水圧に耐えて深海までトレーサーを漏れなく運ぶ、(2)海中でトレーサーを適切に放出させるという、相反するような条件を同時に満たす必要がある。大量に散布することを計画するならば、SF<sub>6</sub>は液化ガスとして取り扱うことになる。こうした難点に対し、本研究では次に挙げるアイデアで取り組む。

SF<sub>6</sub>の蒸気圧は、船上作業時に想定される40℃では3.3MPaと大気圧より高いが、深海で想定される温度（5℃以下）では1.5MPa以下であり、水圧（たとえば水深500mで5MPa）よりも遙かに低い。

これらを勘案し、(1)両端にバルブを接続した二口100mL金属耐圧容器に液化SF<sub>6</sub>を充填し、(2)海洋投下後、蒸気圧を上回る水圧のかかる水深（たとえば500m以深）で片口のバルブを開くことで内外圧力差を解消して容器圧壊を避け、(3)散布深度でもう片方の口を開き液化SF<sub>6</sub>を放出する、という三段階でトレーサーを散布する。先に開くバルブ側には1/16インチ径のステンレスチューブをコイルしておくことで容器内外の圧力差を免じるとともにトレーサーの不要な漏出を防ぐ。後に開くバルブ側には送液ポンプと微細孔エアストーンを設けSF<sub>6</sub>の溶解を促す。SF<sub>6</sub>は放出当初は液体細粒として漂流し次第に周辺海水へ溶解していくと考えられる。同法は理論的には安価に作成できる。

#### 4. 研究成果

本研究では、初年度である平成27年度にトレーサーとして用いるSF<sub>6</sub>の海水中濃度を分析するため、新たに試料処理法およびガスクロマトグラフ法の確立を実施した。トレーサー散布時にはバックグラウンドレベルよりも数桁高い海水中濃度が期待されるため、従来の低濃度レベルに特化したパ

ージ&トラップ法による分析よりも迅速・簡便に分析が可能なヘッドスペース法を採用した。

ニスキン採水器で採取した試料を、気泡の混入による脱ガスに気をつけながら120mLバイアル瓶へと移し、ブチルゴムガス栓で密閉した後、アルミシールでゴム栓を固定し冷蔵してガス分析まで保存した。実験室においてバイアル瓶に充填した水試料の一部を、SF<sub>6</sub>を含まない高純度ヘリウムガス（ガスクロマトグラフのキャリアガスでもある）で置換し瓶内に気相を作り、瓶を激しく振り液面を攪乱することによって瓶内の気相と液相の間でSF<sub>6</sub>を溶存平衡に至らせしめた。この気相をガスタイトシリンジで採取し、ポラパックカラムで他分子と分離した後に電子捕獲方検出器を用いて検出した。この定量法について、繰り返し精度および導入量とピークエリアの直線性を試験し、良好な結果を得た。

また平成27年度にトレーサー散布容器について製作に取りかかろうとしたところ、ボンベに封入され市販されている液化ガスを、別の容器へと液化ガスのまま移す行為は、高圧ガス保安法第四章（容器等）をはじめとする諸規定による制約があることが判明したため、当初予定していた方法は極めて困難であることを認識した。またSF<sub>6</sub>の大規模散布については、SF<sub>6</sub>のバックグラウンドレベルが海水循環の指標として用いられていることから、その大規模な散布は今後実施しないように、該当する海洋化学コミュニティで合意がなされていることも考慮する必要が生じた。

そこで平成28年度は、当初計画にあった様々な海底資源開発に対応可能な手法開発から方針を転換し、海底熱水活動に付随して生じる硫化物鉱床を対象に特化することとした。比較的小規模かつ半閉鎖的なカルデラ地形が対象であれば、深海で散布するトレーサー（SF<sub>6</sub>のあるいはその代替分子のCF<sub>3</sub>SF<sub>5</sub>）の量を大幅に減らすことが可能であり、少量のトレーサーであれば液化せず気体の状態で輸送・散布することが出来る。

これまでに調査が行われ十分な知見が累積している沖縄トラフ鳩間海丘熱水域を例に、条件検討を実施した。鳩間海丘頂部の

火口は、半径 300m・比高 300m を円柱として概算するとその容積は 100 ギガリットルとなり、ここにトレーサー 0.01 モルを撒布し均一に拡散すると仮定すると、その濃度は 100,000 fmol/L となる。これは平成 27 年度に確立したヘッドスペース法 GC-ECD 分析法で十分に検出可能な濃度である。

ここで気体トレーサー 0.01mol は 1 気圧において約 0.2L 相当であり、たとえば本邦の熱水科学コミュニティで広く利用されている圧力保持採水器の採水ボトルの容積 (0.15L) と同等である。この事実は、採水器のボトルをトレーサー撒布容器の本体として利用できることを示している。採水ボトルは真空・密閉状態で水深 2,000m まで降下しても圧壊しなかった実績があり、1 気圧相当のトレーサーを封入した状態で深海まで輸送する頑強性が保証されているのみならず、通常の採水器としての利用時にはペリスタポンプを介して周辺の液体を吸入・吐出しているため撒布能力も保証されている

平成 28 年度には、すでに高品位あるいは一定以上の量のコバルトリッチクラストやレアアース泥の存在が知られている伊豆小笠原海溝海域において、トレーサー撒布前のバックグラウンド濃度レベルを把握しておくための海水試料採取を実施した。海溝内の超深海域まで網羅する海水試料を採取し、海洋研究開発機構において保存している。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

・川口慎介, 海底資源開発の環境影響評価と地球化学研究, 2015 年度日本地球化学会第 62 回年会, 横浜国立大学常盤台キャンパス(神奈川県横浜市), 2015 年 9 月 16 日, 基調講演.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川口 慎介 (KAWAGUCHI, Shinsuke)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員

研究者番号: 50553088