

## 北極海における放射能濃度解析

日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 水落 貞晴  
 日本大学教授生産工学研究科 正会員 和田 明

### 1. はじめに

近年、旧ソビエト連邦及びロシア共和国による、北極海（特に、カラ海・バレンツ海）への放射性廃棄物の投棄や原子力潜水艦の沈没事故などの状況が明らかにされ、これらが環境に及ぼす影響などが問題視されている。この事実による影響を評価するには、Regional ならびに Global scale の影響を予測しうる安全評価方法を確立する必要がある。しかし、この海域は極めて狭く、浅いという特性をもっている。その上、冬期には海面のほとんどが海氷に閉ざされてしまう特殊な海であることもあり、海洋特性についてはあまり多くのことが知られていない。

本研究室では、限られたものであるが、この海域の塩分と水温の観測データ及び、いくつかの文献を使用し、ボックスモデル解析法により流動解析を行った。流動解析の結果、現実の流況パターンを確認することができた。そこでこの流動解析に、核種の崩壊、混合、海水中の粒子および海底堆積物との相互作用による沈着、沈降を考慮した放射性物質の濃度計算を行う。濃度分布解析の実施に先立ち Pu239 を対象とし、ベンチマーク感度解析を行い、モデルに含まれる各要因の大きさが海水中及び海底土に及ぼす影響を検討した。

### 2. 放射性核種濃度解析

放射性核種の海水中における濃度解析を行うためには、まず海水流動の把握が必要となるが、北極海の海洋特性において多くのことが知られていない為、数値モデルを使用した流動解析を行った。

計算領域は、図 1 に示すように北極海の中でも放射能汚染が問題視されているバレンツ海・カラ海を中心として北緯 64 度から 83 度、東経 0 度から 120 度と設定する。

放射性核種の海水中における挙動は、水平混合、鉛直混合の他に、放射性核種の放出形態、核種の壊変、海水中の粒子と海底土との相互作用による吸着、沈着が挙げられるため、これらを考慮したモデルが必要となる。また、海洋内部では海洋表面に供給された物質を表層から深層へさらに深層から海底堆積物へ輸送する機構（スキャベンジング）が働くため、この点を重視したモデルの構築を行った。

以下に、上記を考慮したモデルを式 1 に示す。

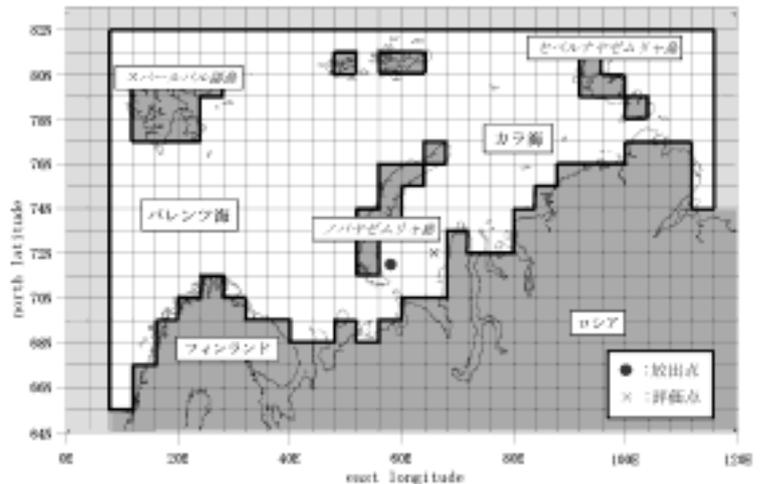


図 1. 研究対象領域

$$\begin{aligned}
 V_i \cdot dC_i/dt = & - \sum_j W_{ij} \cdot C_i - \sum_j W_{ij} \cdot S_i K_d C_i + \sum_j W_{ij} \cdot C_j + \sum_j W_{ji} \cdot S_j K_d C_j \\
 & + \sum_j A_{ji} \cdot K \cdot (C_j - C_i) / L_{ij} - V_i \cdot B \cdot C_i + A U_i \cdot V_{down} \cdot S_u K_d C_u - A_i L \cdot V_{down} \cdot S_i K_d C_i \quad \dots (式 1)
 \end{aligned}$$

キーワード 北極海, 放射性核種, スキャベンジング, 感度解析

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学研究科 TEL 047-474-2420

ここで、 $C_i$ ：ボックス i での核種での溶存態濃度 [Bq/m<sup>3</sup>]、 $V_i$ ：ボックス i の体積 [m<sup>3</sup>]  
 $L_{ij}$ ：ボックス i と j との平均距離 [m]、ボックス中心間の距離  
 $W_{ij}$ ：ボックス i から j への交換流量 [m<sup>3</sup>/s]、 $S_i$ ：ボックス i での SS 濃度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $K_d$ ：核種の分配係数 [m<sup>3</sup>/kg]、 $B$ ：核種の崩壊定数 [1/s]、 $V_{down}$ ：SS の平均沈降速度 [m/s]  
 $K$ ：拡散係数 [m<sup>2</sup>/s]、 $A_{iL}$ ：ボックス i と j の接触面積 [m<sup>2</sup>]、 $N$ ：ボックス数  
 は i 以外の i に接触する全てのボックス j についての和をとることを意味する。

一方、海底では海洋中の浮遊粒子の堆積が進行している。堆積物中には放射性核種が吸着しており、それが堆積層に深く埋め込まれた場合には、放射性核種が再び海洋中に戻ることはないと考えられる。OECD/NEA によるサイト適合性評価においては海底部を境界層、生物擾乱層、拡散層の 3 層に分け、更に境界層では、海水層と粒子層の 2 層に分けたモデルを使用した。

3. 感度解析

海洋中の核種は、スカベンジングの影響を受けるため、このスカベンジングを支配する分配係数(Kd 値)、懸濁物質の海水中濃度(SS 濃度)、沈着率の 3 つを感度解析を行う際のパラメータとして解析を行った。パラメータの範囲は、表 1 に示すように case1 を基本ケースとし計 7 ケースで検討を行った。

また、核種の放出点は旧ソ連によって原子力潜水艦が放棄された Novaya Zemlya 島の東部に位置する東経 58 度、北緯 71.5 度の地点で、放出形態は 1TBq/Year を 10 年間放出とさせた。

表 1 感度解析のケース

	分配係数Kd (cm <sup>3</sup> /g)	SS濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	沈着率Vsed (mm/y)
case1	1 × 10 <sup>5</sup>	10	1
case2	1 × 10 <sup>4</sup>	10	1
case3	1 × 10 <sup>6</sup>	10	1
case4	1 × 10 <sup>5</sup>	1	1
case5	1 × 10 <sup>5</sup>	100	1
case6	1 × 10 <sup>5</sup>	10	0.1
case7	1 × 10 <sup>5</sup>	10	10

4. 感度解析結果

図 2 は評価地点(東経 65 度・北緯 72 度)における計算結果である。

Kd 値を変更すると、W 層から P 層への移行に大きな変化が見られた。SS 濃度を変更するとスカベンジングの作用が大きく変化する。沈着率を変更した際には、底質中の存在量に相違が見られる。

以上より、どの case でも粒子層において核種濃度の最大値を表し、生物擾乱層以下は徐々に濃度が薄くなっていることから、スカベンジング効果を受けた粒子は海水中においてはある程度の速度で沈降するが、粒子層以下の海底土の層では沈降速度も急激に減速し海水層と比べゆっくり埋没していくことが分かる。

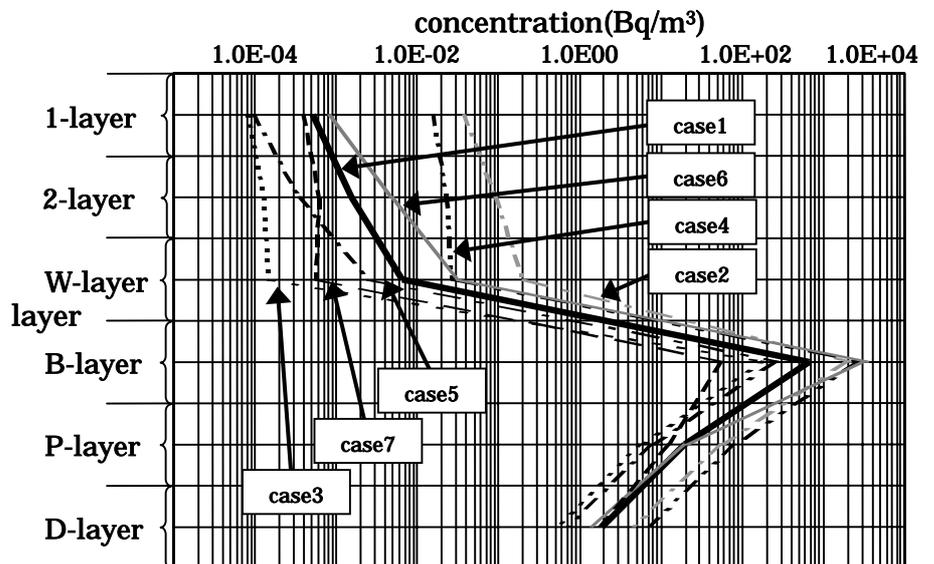


図 2. 放出開始から 10 年後の感度解析結果 (N72° E65°)

5. おわりに

今回、Pu-239 によるベンチマーク感度解析により各パラメータによるスカベンジング効果への影響、さらには鉛直方向における核種の濃度変化の特徴もとらえられることができた。

参考文献

・和田明, 高野泰隆, 山本讓司: 北極海(カラ海・バレンツ海)の海洋特性 海洋汚染に関して, 第 3 回地球環境シンポジウム講演集, pp.67~72, 1995