

氏 名	江里口 知 己
国 籍 ・ 本 籍	佐賀県
学 位 の 種 別	博士（学術）
学 位 の 番 号	甲第249号
学位授与の日付	平成27年 3 月19日
学位授与の要件	名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	海洋生物体内の化学物質・放射能濃度の推 定手法に関する研究
論文審査委員	主 査 高 倍 昭 洋
	副 査 田 中 義 人
	副 査 森 裕 二
	副 査 中 田 喜三郎

論 文 内 容 の 要 旨

1.緒言

我が国における化学物質のリスク評価の研究は、2001 年に（独）産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター（産総研）の研究者によって始められた。産総研では、ヒトが生態系に及ぼすリスクが顕在化あるいは顕在化が予測される 25 物質の化学物質について、科学的データに基づく詳細リスク評価書を策定し公開した。このうち、海洋における詳細リスク評価書は、船底防汚塗料に含有するトリブチルスズ（TBT）、そしてその代替物質の一つである銅ピリチオン（CuPT）が対象になった。これらの研究は、アサリ、マガキが海水中に溶解した化学物質濃度（溶存態 TBT あるいは溶存態 CuPT）にどの程度暴露されたかを評価したものであった。しかし、これらの評価書で採用された手法は、暴露濃度のみの評価となっているため、暴露濃度は低いが生物体内に蓄積されやすい難分解性の化学物質に関しては、リスクの懸念がないという評価になってしまう可能性があるという問題点を有していた。人間活動に由来する化学物質あるいは放射性物質が海洋環境に放出された場合、それらの物質がヒトに及ぼす影響を評価するためには、生物が食物連鎖を通し蓄積する物質量を推定することが重要となる。難分解性の化学物質あるいは放射性物質等が蓄積した魚介類をヒトが食した際のリスクを評価する研究が社会的に求められている。本研究では、生物体内の蓄積量を推定する手法の開発を行い、人間活動に由来する化学物質や放射性物質が環境に放出された場合のヒトに及ぼすリスクを定量的に評価する手法の開発を行った。

2.生物蓄積モデルのモデル化

本研究では、環境残留性があり脂肪蓄積性のある化学物質として Co-PCB (コプラナ PCB; Coplanar Poly Chlorinated Biphenyl), 放射性物質のうち放出量が多く半減期が長いことから水産生物への影響, ヒト健康に悪影響を及ぼす可能性が高い放射性セシウムを対象物質とした. 生物体内濃度の推定にあたっては, その魚介類が「いつ」, 「どこで」捕獲されたかという時空間的な要素を考慮する必要がある. 本研究では, 環境水中の化学物質濃度あるいは放射性物質の放射能濃度を 3 次元的に再現可能な数値モデル (3 次元流動モデル, 生態系モデル, 化学物質運命予測モデル) を新たに開発した生物蓄積モデルとリンクして, 時空間的に生物体内に蓄積される物質量が定量的に評価できる手法を開発した.

2.1 化学物質に対応したモデル化

Co-PCB に対応した定式化を行い, 東京湾に生息する生物に適用するためモデルパラメータのキャリブレーションを行った. 対象生物は, ヒトが食す生物で, 数年の寿命を有し高次栄養段階の底生魚類であるマアナゴ (*Conger myriaster*) とした. 本モデルによるマアナゴ体内の Co-PCB 濃度の計算結果と 2009 年 6 月, 7 月に実施した調査結果 ($1.40 \sim 2.77 \text{ pg-TEQ} \cdot \text{g}^{-1}$) から, 摂食取込速度を $0.018 \text{ (day}^{-1}\text{)}$ とすることが適切であると推定された. この値を用いて再現計算を行った結果, 東京湾に生息するマアナゴ体内の Co-PCB 濃度 (調査地点の計算結果; $2.0 \sim 3.0 \text{ pg-TEQ} \cdot \text{g}^{-1}$) 分布が高精度で再現できることを示し, 本推定手法が難分解性化学物質の生物体内濃度の時空間的な分布の解析に有効であることを明らかにした.

2.2 放射性物質に対応したモデル化

放射性セシウム (^{134}Cs , ^{137}Cs) に対応した定式化を行い, 東京湾に生息する生物に適用するためモデルパラメータのキャリブレーションを行った. 対象生物は, 水産有用魚類であり, 数年の寿命を有し採捕しやすい底生魚類のシロギス (*Sillago japonica*) とした. モデルパラメータのキャリブレーションは, 体内濃度の解析に大きく影響を及ぼすパラメータである同化効率について行った. 同化効率は 10%~20%程度を採用すると, 東京湾に生息するシロギス体内 ^{134}Cs , ^{137}Cs 濃度は高い再現性を示した.

3.東京湾における放射性物質の解析

キャリブレーション結果で得られたモデルパラメータを利用し, 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故から 2013 年 8 月 31 日までの東京湾内に生息するシロギス体内の ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能濃度について, 生物蓄積モデルにより時空間的な解析を行った. 前提条件として必要となる東京湾内の海水中, 底泥中の ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能濃度は, 化学物質運命予測モデルにより時空間において高い精度で計算できた. 計算された時空間の東京湾内の ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能濃度を利用し, シロギスの体内の ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能濃度の解析を行った. 本モデルによって計算された採捕地点の ^{134}Cs の体内濃度は, 2011 年 6 月より徐々に上昇し, 2011 年 12 月 24 日で $0.29 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ となり, その後徐々に減少する傾向を示した. この傾向は, 本研究で実施した調査結果 (2012 年 8 月 9 日; $<0.13 \sim 0.22 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2013 年 6 月 17 日; $<0.067 \sim <0.096 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) と一致した. ^{137}Cs の体内濃度は, 2011 年 7 月より徐々に上昇し, 2013 年 2 月 3 日で $0.34 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ となり, その後減少傾向を示した. この傾向は, 本研究で実施した調査結果 (2012 年 8 月 9 日; $0.27 \sim 0.34 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2013 年 6 月 17 日; $0.16 \sim 0.19 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2014 年; $0.16 \sim 0.27 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) と一致した. 東京湾に生息するシロギス体内の ^{134}Cs , ^{137}Cs

の放射能濃度の時空間分布が本モデルによって解析できることを明らかにした。

4. 今後の課題と展望

本モデルによって計算された時空間的な生物体内の化学物質濃度分布あるいは放射能濃度分布は、ヒトが化学物質あるいは放射性物質が蓄積した生物を食した際のリスクを評価するために利用できることを示すことができた。

Co-PCB について、日本におけるダイオキシン類の基準値 (TDI) との比較を行った。本モデルによって計算された採捕地点のマアナゴ (体内 Co-PCB 濃度 $3\text{pg-TEQ}\cdot\text{g}^{-1}$) を体重 60kg の成人男性が毎日 100g 食べ続けたと仮定すると、 $5\text{pg-TEQ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ となり TDI ($4\text{pg-TEQ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$) を超えた。同条件 (60kg の成人男性が 100g 食べ続けた) で再考した場合、マアナゴ体内濃度が 2.4 以下と計算された海域で採捕したマアナゴであれば TDI 以内であった。

放射性セシウムについては、放射性セシウムが蓄積した魚介類をヒトが食した際の内部被ばく総線量の算出に本モデルの結果が利用できる。内部被ばく総線量は、ヒトが摂取した摂取量 (Bq) に実効線量係数 ($\text{mSv}\cdot\text{Bq}^{-1}$) を乗じることによって算出できる。本モデルで計算された荒川河口のシロギス (体内の ^{137}Cs の放射能濃度 $45\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) を 1 年間毎日成人男性が 200g 食べ続けたとすると、内部被ばく線量は 0.04 (mSv) となる。原子力安全委員会は、食品の被ばくに対する年間の許容できる総線量 (介入線量レベル) を 5mSv (飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他の各食カテゴリに 1mSv を割り当てた合計値) としている。この肉・卵・魚・その他の値の許容値 1mSv と本モデルで推定した内部被ばく総線量を比較するとかなり小さいことがわかる。本モデルの結果がヒトに対するリスク評価に利用できることを示した。

本研究では、四季平均された流れ場、有機懸濁物質濃度分布を利用して、海水中、底泥中の放射性セシウムの放射能濃度を再現し、シロギス体内濃度を計算したが、経年変化を考慮した流れ場、有機懸濁物質濃度分布を利用することが望ましい。今後、2011 年 3 月から現在までの経年的な河川流量、河川負荷量および気象要素を考慮した流れ場、有機懸濁物質濃度分布を利用することで、本モデルによる高い精度の解析が可能になる。また、本モデルは「いつ」、「どこで」という時空間的な体内濃度の予測ができるため、行政担当者がモニタリング計画を策定する際のバックグラウンドデータとして本モデルの結果が利用できる。東京湾に生息する生物体内の化学物質濃度あるいは放射性セシウムの放射能濃度をモニタリングするための調査・分析を継続して行い、本モデルの精度向上を図っていきたい。

論文審査の結果の要旨

江里口知己氏は人間活動に由来する化学物質が湾岸域の環境やヒトに及ぼす影響を評価する手法として、生物体間の相互作用を考慮したシミュレーションを開発し、以下のような重要な知見を得た。

(1) 生物蓄積モデルの開発

従来の 3 次元流動モデル、生態系モデル、化学物質運命予測モデルに新たに生物蓄積を考慮したモデルを開発した。

(2) 化学物質に対応したモデル化

環境残留性があり脂肪蓄積性のある Co-PCB (コプラナ PCB ; Coplanar Poly Chlorinated Biphenyl) に注目して、東京湾に生息する底生魚類マアナゴへの Co-PCB 蓄積を時間的・空間的に評価できる手法を開発することを目的とした。具体的には、マアナゴを捕獲して、マアナゴ体内の Co-PCB 濃度を実測した。東京湾の海水中の Co-PCB 濃度や海水の流れとともに、生態系 (植物プランクトン、動物プランクトン、子魚、マアナゴ) の生物蓄積に関するパラメーターの評価を行った。これらの値を用いて計算した結果は東京湾に生息するマアナゴ体内の Co-PCB 濃度分布と高精度で一致し優れたモデルであることを明らかにした。

(3) 放射性物質に対応したモデル化

2011 年 3 月の東北大地震に伴う東京電力原子力発電所の事故で放出された放射性物質 (セシウム、 ^{134}Cs および ^{137}Cs) の魚類 (シロギス) への蓄積を予測するモデルを開発することを目指した。そのため、東京湾に生息するシロギスを捕獲し、体内の ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 濃度を測定した。上記モデルを用いて、東京湾に生息する生物に適用できるパラメーターの評価を行った。これらの値を用いて計算した結果、東京湾に生息するシロギス体内の ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 濃度を高精度で再現・予測できることを明らかにした。

以上、江里口知己氏の論文は、学位論文としての条件を備えていると評価できる。従って、学位を授与することを妥当なものと判断する。