

放射性廃液の海洋放出に関する調査研究

1. まえがき

核燃料再処理施設の建設に備えて、原子力委員会は1996年に放射性廃棄物の海洋処分に関する調査研究の実施を決定した。そして、実施方法に関し関連研究機関による検討の場として、(財)原子力安全研究協会に「放射性廃液の海洋放出調査特別委員会(海放特)」が設けられ、委員として所長(塚本憲甫・御園生圭輔)が参加した放射線医学総合研究所(放医研)もその調査研究に積極的に参加することとなった。

この委員会の専門部会の一つ、生物分科会(主査・佐伯誠道)のマスタープランは、「放射性廃液の海水中における挙動」「放射性核種の魚介類への移行濃縮」「住民の食品摂取の実態」「住民被曝の予測」等の実施であった。これらの研究も放医研において推進すべく1968年に設置されたのが、茨城県及び

那珂湊市(現：川口市)の誘致を得て、飼育海洋生物のRIトレーサー実験が可能な日本唯一の施設として1969年に完成を見た臨海実験場(現：那珂湊支所)である。代表的な設備として、50トン水槽をはじめ、それを取巻く10基の1トン水槽及び大小各種の飼育水槽が管理区域内に設置され、従来困難とされた大型海水魚の長期飼育によるRIトレーサー実験が可能となったばかりでなく、重要安定同位元素の定量分析装置も漸次充足され、実験研究の推進が計られた。以下、同施設で実施された研究の概略を述べる。なお詳細については、海洋放射能調査報告書(NIRS-R-3, Oct. 1974)として刊行されている。

2. 放射性廃液の海水中における挙動

核燃料再処理施設から沿岸海水中への放出が予測される放射性核種の挙動を解析する上で重要な因子となるのが、海水中の懸濁粒子と海底堆積物への吸着を表す分配係

数(K_d)と、海産生物への移行濃縮を表す濃縮係数(C_f)である。これらの係数は後述するように各種の要因によって大きく変動し、特に放射性核種の化学形の違いによる差がしばしば指摘されている。なかでも ^{144}Ce や ^{106}Ru はその化学形態別に種々の複雑な挙動を示すことが予測されることから、重点的な実験研究が行われ、 ^{144}Ce の海底への沈降機構が明らかにされた。放射性廃液のなかでも優位を占める ^{106}Ru は主としてニトロシル錯塩の形で放出されると考えられるところから、さらにその錯化合物の形態別に挙動が調べられた。また放射性核種の粒子や底質への吸着が可逆的なものか不可逆的なものか、あるいは底質に移行した核種の底生生物への可給性等についても種々検討が加えられる。

これら放射性核種の海水中における存在形態は、次に述べる海産生物への移行濃縮に関しても重要な因子となる。

3 放射性核種の魚介類への移行濃縮

3.1 濃縮係数

海産生物が放射性核種を取り込む量と体外排出する量とが等しくなり平衡状態に達した時点で、体内濃度と海水中濃度との比をその放射性核種の濃縮係数と定義づけ、海洋放出された放射性核種の魚介類中の最高濃度を予測するパラメータとして、評価における重要因子の一つとして用いられている。濃縮係数を求める手段として、次の3つの方法がある。

① 問題となる放射性核種の海水中及び生物中の濃度を定量し、その比を求める方法。この方法は実際に評価の対象となる現場における濃度分布を把握する点で最も現実的な手段とされ、しばしば採用されている。なかでも放射性降下物に由来する長半減期の核分裂生成物である ^{90}Sr や ^{137}Cs などは、多くの水域で検出され、海産生物による取り込み、排出もほぼ平衡状態に達している

と推定されるところから、数多くの生物種について濃縮係数が算出されている。しかし核実験停止後は他の核種同様、検出が困難となりデータは限られている。一方原子力施設に由来すると考えられる放射性核種が海産生物中に検出される例も報告されているが、その生息する海水中では検出限界以下である場合が多く、濃縮係数の算定は難しい。たとえ測定出来たとしても、濃縮平衡に達していることの確証なしに濃度比を算定することは誤りを招くこととなる。

②問題となる放射性核種の安定同位体の濃度を海水、生物双方について定量し、その比を求める方法。

この方法も実際のフィールドデータを観測する点で現実には即した手法と評価されている。とくに近年高感度の機器分析法が開発されたことにより、従来不可能であった極微量の元素分析定量が可能となり、多くの濃縮係数が与えられる。放射能研那珂湊支所

においてもICP発光分析法等最新の分析技術も駆使して数多くの微量元素の定量が実施され濃縮係数の算定に寄与したが、なお定量困難な元素も多く、ことに生物中の濃度は得られず海水濃度から得られず、他の海域での観測値を用いざるを得ない場合もあって問題を残している。一方すでに触れたように、放射性核種と安定同位体の間に化学形の違いがある場合、異なった係数を得る危険性もあり、注意を要する。放射性核種と安定同位元素との比：比放射能を海水、生物双方について求め比較検討することは、①②の手段に共通する問題点の解決に有効な手段である。

③問題となる放射性核種をトレーサーとして添加した水槽中で飼育した海産生物中の核種濃度を水中濃度と比較する方法。

この方法は実験水槽中で生物による標識放射性核種の取り込み、排出を逐次観察することとを可能とし、特に大型水槽を用いる

ば、大型魚のRI濃縮、排出実験が可能となる大きな利点を有している。那珂湊支所では、50トン水槽1基、1トン水槽10基をはじめ、大小各種の水槽を用いたトレーサー実験が行われた。例えば、大型水槽では、青森県沿岸海域で捕獲される主要な魚種とされているヒラメやクロソイなどの大型魚を活魚輸送して水槽に収容し、重要放射性核種の取り込み定数、排出定数、さらに濃縮係数や生物学的半減期などの生物濃縮パラメータを、多核種同時投与法を用いたトレーサー実験によって求めることができた。

大型水槽実験は、比較的大型の海産生物を出来る限り自然条件に近い環境下で長期飼育観察する事を可能とするが、それでも実験期間には限りがあり、成魚による骨中のSrの取り込みなどは平衡状態を見極めるまでの観測が困難な場合もある。また長期飼育期間中、海水を清浄に維持するための濾過装置も濾材へのトレーサーの吸着と

言う問題も起す。その他にも自然環境の模倣には限度があり、室内実験の結果も現場に適用する際に考慮が求められる所以である。

3.2 濃縮係数の変動要因

従来より内外の研究者により報告されてきた濃縮係数には、極めて大きな変動巾が見られることが多く、適用に際して如何なる数値を採用すべきかも決定するためにはその変動をもたらす要因の解明が求められる。前述した濃縮係数算定法のそれぞれに付随する問題点に起因する変動のほか、海水の塩分濃度や水温、光など環境側に起因する外的要因と、生物の雌雄や成長段階など生物自体に起因する内的要因が挙げられる。海水中における挙動について述べた通り、放射性核種によっては溶存以外に懸濁物と結合した粒子状での存在などがあり、海水中濃度も濾過海水について求めよか否かによって当然濃縮係数は異なる。ただし

添存形のみが生物への可給態とは限らない場合など、未処理海水中濃度の適用も考えなければならぬ。一般に海産生物の代謝活動は周辺温度の上昇によって促進されることから知られているが、代謝活動と密接な関係にあると考えられる魚肉への ^{137}Cs の濃縮が水温 10°C の上昇によって約2倍に増進されるのに対し、表面吸着が主体と考えられる ^{106}Ru の海藻による濃縮は光の影響を殆んど受けないことがわかった。海藻以外の海産生物による放射性核種の取り込みについては、海水からの直接摂取のほか、餌を通しての消化管吸収を考慮しなくてはならない。これらの経路が優位を占めるかは元素によって異なり、例えばセラメでは筋肉部への ^{137}Cs の濃縮に両経路がほぼ等しいと示していることがフィールド調査でもトレーサー実験でも明らかにされている。海水のみを標識したトレーサー実験では見落さぬかもしれない食物連鎖経由の濃縮にも充分な

配慮が必要なことかわかった。

3.3 元素の特異的生物濃縮

トレーサー実験や安定同位元素分析の結果から、生物種によって特定の元素も特定の臓器や組織に特異的に濃縮する現象が見出された。たとえば頭足類のマダコの持つえら心臓による ^{60}Co の高濃縮やニ枚貝のワスレガイの腎臓への ^{54}Mn の高濃度蓄積などで、その部位を含むか否かで濃縮係数は大きく変動する。これらの生物種の食品としての重要性や量的な問題から、被曝線量の評価への寄与は小さいと思われがちだが、海洋環境放射能のモニタリングに際しては重要な指標生物とすることに注目すべきであろう。なおこれらの濃縮現象については、臓器、組織の中で如何なる分子量をもつ成分との結合であるか、濃縮のもつ生理・生態学的意義などについて種々の検討が加えられることがなお解明されない点も多く残されている。

4. 食品消費の実態調査

海洋に放出された放射性核種の挙動を解析することは、それが如何に住民の身体に影響と及ぼすかを評価する上で不可欠の要素であるが、とくに海産生物の放射能汚染は、動物性蛋白質の多くを魚介類に依存している日本国民にとって極めて重要な関心事と言わなければならない。そこで魚介類摂取による人体の内部被曝線量を予測評価する上で欠かせないのがその摂取量の把握であり、それを目的とした住民による食品消費の実態調査が戸別訪問による聞き取りによって積極的に実施された。その結果は魚類、海藻類、貝類、頭足類、甲殻類とに分類され、青森県に設置された大型原子力施設の安全審査にも反映されている。

5. 住民被曝の予測

海産物の摂取による住民の実効線量当量 D_s (ミリシーベルト/年) は、次の式によって計算される。