

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 Teerapong Duangdee

研究内容の要旨

有明海奥部西側に位置する諫早湾では、同湾南側に隣接する島原半島にある雲仙普賢岳の火山活動により周辺環境に放出された水銀の一部が流入し、植物プランクトンがそれを吸収して生物濃縮する。その植物プランクトンの一部は枯死して粒状有機物として海底に堆積し、その有機物の分解により水銀のみが堆積物中に残存し、蓄積して、もう1段階の生物濃縮が発生する。一方、湾内には海底に生息する底生生物を主要な餌源とする魚類が多数生息する。これらの魚類の体組織からは、水中を浮遊・遊泳する生物を主要な餌源とする魚類と比較して、いずれもはるかに高い総水銀量が検出されている。特にアカエイ (*Hemitrygon akajei*) の成魚からは最高値 3,700 ng g⁻¹d.w. に達する高レベルの値が検出され、水中で遊泳する生物を主要な餌源とする魚種と比較して 10 倍を超える高い値に達している。そこで、本研究ではアカエイの生態特性に焦点を当てて、同湾から幼魚から成魚に至る 22 個体を捕獲し、その餌資源を胃内要物分析から明らかにするとともに、これらの標本の体組織の炭素・窒素安定同位体分析を通して食物網における栄養段階を調べ、体組織の総水銀含量の変化を追跡して、成長とともにこの種の体組織に水銀が高濃度に蓄積していくメカニズムを明らかにすることを研究の目的とした。また、総水銀には人に大きな健康被害をもたらす毒性の高い有機水銀（メチル水銀）も含まれる。諫早湾でアカエイとともに採集・捕獲した合計 6 種の無脊椎動物および魚類を加えて、これらの 7 種の水棲生物の標本をもとに、海底から餌生物を通してこれらの生物に水銀が蓄積していく過程に関して、無機水銀および有機水銀に区別してその過程を追跡し、沿岸域で採集・捕獲された水棲生物を食糧として利用する際の人の健康への影響について評価することを、本研究のもう 1 つの研究目的とした。

1. アカエイにおいて成長に伴う摂食習慣の変化がもたらす加速度的な総水銀の生物濃縮

本研究で捕獲された 22 個体（20 個体は雌）の標本を用いて体幅と体重の関係を求め、過去のアカエイの成長に関する研究例の結果から判断して、体幅 56～65 cm（体重約 6～10 kg）の成熟した雌の齢は約 10～15 年に達すると推定された。この成長過程において、未成熟雌（体幅 16～33 cm，体重 2 kg 未満）の個体では、体幅と体組織の総水銀含量の間に有意な相関関係は認められなかったが、全 20 雌個体の体幅と体組織の総水銀含量の間には、幾何級数的な増加曲線状の有意な関係が認められ（ $y=160.0e^{0.03x}$, $r^2=0.683$, $n=22$: x =体幅、 y =体組織の総水銀含量）、成長とともに加速度的に体組織に総水銀が蓄積することが判明した（未成熟個体の総水銀含量 309 ± 76 ng g⁻¹ d.w.、成熟個体の総水銀含量 869 ± 268 ng g⁻¹ d.w.）。しかしながら、成熟した個体の窒素安定同位体比（ $\delta^{15}N$ ）の値は未成熟個体よりも -0.7 ‰ 低く、同一の食物網に位置しながら、栄養段階が低下するにもかかわらず、総水銀含量の生物濃縮は加速度的に進行するという特異な現象が明らかとなった。

本研究で採集したアカエイ雌 20 個体の標本の胃内要物分析の結果、小型の未成熟個体は堆積物表面に生息するエビ類やカニ類を主要な餌指源（約 75%）としているのに対して、成熟個体は二枚貝類のアサリやシズクガイ、多毛類などの堆積物中に生息する底生生物を餌として好む（約 70%）ことが判明した。これらの堆積物に内在する生物は、総水銀含量が粒状有機物の堆積とその有機物の分解によって高められた堆積物を直接摂食したり、その堆積物中で水銀に曝露されることにより、体組織の総水銀含量が堆積物表在性の生物よりも高くなる。また、アカエイの未成熟個体は口器の構造が弱く、軟らかい表在性の甲殻類を主として摂食するのに対して、成熟個体は菌の発達によって硬い殻を持つ貝類を摂食することが可能となる。それらの結果として、総水銀含量の高い堆積物内在性の底生生物を主要な餌指源とすることで、成長に伴う加速度的な総水銀の体内蓄積が起きていた。ところが、これらの生物は第一次消費者であり（エビ類やカニ類などの甲殻類は第二次消費者）、それを主要な餌指源とする場合、食物網における栄養段階は低下する。そのため、アカエイでは、食物網における栄養段階が低下するにもかかわらず、体組織の総水銀含量は加速度的に上昇するという現象が起きていた。

2. 閉鎖性沿岸浅海域の底生生物を餌指源とする食物網において、水銀が上位の栄養段階の生物に転送されていく時の特性について

採集したアカエイを含む合計 7 種の無脊椎動物および底生生物を主要な餌とする魚類は、炭素・窒素安定同位体比の分析から、同一の食物網に含まれる種であり、第一次および第二次～第三次の間に位置する消費者の栄養段階に位置していることが判明した。第一次消費者であるアサリでは体組織の総水銀含量が $74.3 \pm 16.7 \text{ ng g}^{-1} \text{ d. w.}$ で、その約 23 %が有機水銀であった。これに対して、第二次消費者と第三次消費者の間に位置する魚類（アカエイなど）では、平均総水銀含量が $200 \sim 627 \text{ ng g}^{-1} \text{ d. w.}$ に増加するとともに、有機水銀の占める割合が約 93～98 %に増加した。このことは、食う一食われる食物連鎖の関係において、餌生物から捕食者側に有機水銀が選択的に転送されていることを示している。そのため、日本の魚介類の水銀暫定基準値で、総水銀含量 ($0.4 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ w. w.}$) では本研究で調査した 7 種のいずれも十分に低い値を示しているが、有機水銀含量 ($0.3 \text{ } \mu\text{g g}^{-1} \text{ w. w.}$) では、アカエイの成熟雌の大型個体（体重 6.5～8.6 kg）の体組織の値はほぼその値に匹敵していた。このことは、日本に置いて火山由来の自然条件で沿岸浅海域で発生する水銀の生物濃縮過程においても、人の健康に影響を与えうるレベルに達する可能性が指摘される。沿岸浅海域における底生生物を主要な餌とする魚類への有機水銀の生物濃縮に関しては、大きな関心を払う必要がある。

以上のように、本研究は、火山活動という自然現象で環境中に放出された水銀でも、その火山周辺の沿岸浅海域では、海底を経由した生物濃縮過程を通して底生生物を餌とする魚類には高濃度の水銀が蓄積されることを明らかにするとともに、有機水銀という観点では今後さらに人の健康への影響にも注視する必要があることを明らかにした。これらの知見は十分な学術的新規性を有し、学位論文として相応しい研究成果が得られていると評価される。

最 終 試 験 の 結 果 の 要 旨

申請者氏名 Teerapong Duangdee

成 績 ・ 合 格

審査委員一同は、令和3年8月16日、本論文申請者に対し論文の内容および関連事項について試験を行った結果、博士（環境共生学）の学位を受けるに必要な学識を有する者と認め、合格と判定した。

主査 熊本県立大学・教授

堀 裕 昭



副査 熊本県立大学・教授

小 林 淳



副査 熊本大学・特任教授

有 薮 幸 司

