

北太平洋におけるプラスチック汚染と海鳥への 影響に関する研究

学位論文内容の要旨

【背景】

プラスチックは 1850 年代に発明されて以来、その生産量は増加の一途をたどっている。プラスチックは「軽い」、「耐久性に富む」、「熱に強い」など多くの利点を持つ反面、自然分解しないため、焼却や埋め立てによって廃棄処理されており、適切に処理されないものは最終的に海洋へと流出する。海洋へ流出したプラスチックは長期間にわたって環境中に残留するが、その分布や現存量に関する知見は限られている。また、プラスチックは様々な海洋生物の胃内容物中から見出されるが、中でも海鳥からの報告例が最も多い。海洋環境中のプラスチックから残留性有機汚染物質（Persistent Organic Pollutants, POPs）が検出される。そのため、海鳥はプラスチックを摂食することによって生理的な影響を受けるだけでなく、プラスチックを介した POPs 毒性の影響を受けることが予想される。しかし、プラスチック摂食による POPs の生物体内への移行とその影響については検討されていない。

【目的と方法】

本研究では、北太平洋におけるプラスチック汚染の現状を把握し、プラスチック摂食による海鳥への生理学的、毒性学的影響について調査することを目的とした。はじめに、1993-1996 年と 2000-2005 年にかけて、北太平洋の亜寒帯海域、移行領域および亜熱帯海域において、ニューストンネットを用いたプラスチック採集を行い、これらの海域におけるプラスチックの分布と現存量を調査した。次に、北部北太平洋およびベーリング海中央部において、サケ・マス流し網調査で混獲された海鳥（ミズナギドリ科 3 種とウミスズメ科 4 種）の胃内容物を解析し、プラスチック摂食の有無を調べた。さらに、これらの海鳥のプラスチック摂食量と海鳥の体重、および POPs の中でも特に毒性が強いポリ塩化ビフェニル（Polychlorinated biphenyls, PCBs）の残留濃度との関係性について検討した。また、北太平洋で混獲されたウミスズメ科 6 種、ミズナギドリ目 2 科 7 種（合計 30 個体）の尾腺ワックスと腹腔内脂肪中の総 PCBs 濃度を測定した。加えて、生体から採取できる尾腺ワックスと、腹腔内脂肪中の PCBs 濃度との関係を調べることで、尾腺ワックスが今後の海鳥の POPs 汚染の非侵襲的モニタリング手法として有効であるかを検証した。最後

に、飼育実験によってオオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* の雛にプラスチックを摂食させ、生理学的影響による成長阻害とプラスチックに吸着している PCBs が海鳥へ移行する毒性学的影響について調査した。

【結果と考察】

本研究において、調査全域を平均したプラスチックの個数および重量は、1990 年代が 32174 pieces km⁻²、344 g km⁻² であり、それに比べて 2000 年代は 61541 pieces km⁻²、580 g km⁻² と有意差はなかったものの増加傾向にあった。また、海域間で比較すると、1990 年代と 2000 年代のどちらも、亜寒帯海域に比べて移行領域と亜熱帯海域でプラスチックの個数、重量ともに多くなる傾向が見られた。これは海流等の物理的影響により、北太平洋に漂流するプラスチックが亜熱帯海域に収束するためと考えられた。本研究で採集されたプラスチックの種類は、レジンペレット、製品破片、発泡スチロール、繊維および薄膜状プラスチックであり、個数で見た場合、製品破片が最も多く（1990 年代、2000 年代とも全体の >50%）、レジンペレットが最も少なかった（≤2%）。陸上由来のプラスチック汚染の指標となるレジンペレットは、亜寒帯海域と移行領域で 1990 年代に比べて 2000 年代は減少していたが、亜熱帯海域では増加していた。また、海洋投棄の指標となっている繊維も、1990 年代よりも 2000 年代で増加傾向を示した。

北部北太平洋およびベーリング海中央部において、サケ・マス流し網調査で混獲された海鳥 7 種（合計 137 個体）のうち、プラスチックを摂食していた個体は全体の 77%（105 個体）であった。サンプル数が多かったハシボソミズナギドリ *Puffinus tenuirostris* のプラスチック摂食頻度（87.4%）と 1 個体あたりの摂食個数および重量（15 pieces, 0.27 g）を同海域で 1970 年代に報告されているデータ（摂食頻度 <60%; 個数 <5 pieces; 重量 <0.15 g）と比較したところ、増加傾向にあった。これは海洋環境中のプラスチック量の増加を反映していると考えられた。また、ハシボソミズナギドリはプラスチック破片（59%）に次いでレジンペレット（26%）を多く摂食しており、海洋環境中のプラスチック組成と比較してレジンペレットの割合が高かった。ハシボソミズナギドリはニュージーランド周辺で繁殖し、亜寒帯海域およびベーリング海で越冬する。渡りの間に索餌を行うことは稀である。本研究の結果から、亜寒帯海域およびベーリング海におけるレジンペレットの割合は極めて低いことが明らかとなっている。既往の知見では、北半球に比べて南半球では海洋環境中のレジンペレットの割合が高く、南半球で周年生活する海鳥のレジンペレットの摂食頻度が高いことから、ハシボソミズナギドリはレジンペレットを南半球で摂食していると推察された。

プラスチック摂食が海鳥の栄養状態に与える影響を評価するため、混獲個体の胃内容物中のプラスチック個数および重量と海鳥の体重、Body condition index（体重/ふしよ長²）、および体重に対する肝臓重量比との関係を調べたが、明確な傾向は見られなかった。また、海鳥体内中の PCBs 濃度についても検討したが、プラスチックを多く摂食していた個体の PCBs 濃度が必ずしも高いわけではなかった。

尾腺ワックス中の PCBs の各同族異性体濃度と、腹腔内脂肪中の総 PCBs 濃度を用いて

重回帰分析を行った結果、尾腺ワックス中の 3 つの同族異性体濃度を調べることによって、腹腔内脂肪中の総 PCBs 濃度が精度良く推定できることが明らかとなった。

オオミズナギドリの雛を用いてプラスチック摂食実験を行ったところ、本研究で与えたレジンペレット量では、雛の成長や Body condition index について、対照群とプラスチック摂食群との間で顕著な違いは見られなかった。しかし、実験 7 日目にプラスチック摂食群の尾腺ワックス中の総 PCBs 濃度が上昇し、中でも低塩素数の PCBs 濃度は対照群と比べて有意に高くなったことから、プラスチック摂食が低塩素数の PCBs 濃度を一時的に上昇させることが明らかになった。

本研究の結果から、北太平洋ではプラスチック量が長期的に増加しており、同海域におけるプラスチック汚染が進行していることが推察された。また、本研究では、海鳥へのプラスチック摂食の生理学的影響と毒性学的影響は認められなかったが、摂食したプラスチックから PCBs の一部が海鳥体内へ移行することを初めて明らかにした。生体内の PCBs 濃度の上昇によって、生殖機能の阻害や免疫能力の低下が指摘されていることから、プラスチックを摂食する海鳥を含めた海洋生物への影響が危惧される。海洋におけるプラスチック汚染の進行を防止するためにも、プラスチックの海洋への流入経路、海洋中での挙動、残留期間について今後も詳細な調査を継続する必要がある。また、海洋生物の保全の面から、プラスチックを介した海洋生物への POPs 汚染の蓄積を定量的に見積もるために、海洋生物のプラスチック摂食と POPs のモニタリングが不可欠と考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 桜 井 泰 憲

副 査 教 授 齊 藤 誠 一

副 査 准教授 綿 貫 豊

副 査 教 授 高 田 秀 重 (東京農工大学)

学 位 論 文 題 名

北太平洋におけるプラスチック汚染と海鳥への 影響に関する研究

【背景と目的】

プラスチックは 1850 年代に発明され多くの利点を持つため、その生産量は増加の一途をたどっている。しかし、プラスチックは自然分解しないため、焼却や埋め立てによって大量に廃棄処理されているが、適切に処理されないものは最終的に海洋へと流出する。海洋へ流出したプラスチックは長期間にわたって海洋環境中に残留するが、その分布や現存量に関する知見は限られている。プラスチックは、様々な海洋生物の胃内容物中から見出されるが、中でも海鳥からの報告例が最も多い。しかし、プラスチック摂食による生体への影響については未だ不明である。海洋環境中のプラスチックから高濃度のポリ塩化ビフェニル (PCBs) が検出される。そのため、海鳥はプラスチックを摂食することによって生理的な影響を受けるだけでなく、プラスチックを介した PCBs 毒性の影響を受けることが予想される。しかし、プラスチック摂食による PCBs の生物体内への移行とその影響については検討されていない。

そこで本研究では、北太平洋におけるプラスチック汚染の現状を把握し、プラスチック摂食による海鳥への生理学的、毒性学的影響について調査することを目的とした。

【材料と方法】

1993-1996 年と 2000-2005 年にかけて、北太平洋の亜寒帯海域、移行領域および亜熱帯海域において、ニューストーンネットを用いたプラスチック採集を行い、これらの海域におけるプラスチックの分布と現存量を調査した。次に、北部北太平洋およびベーリング海中央部において、サケ・マス流し網調査で混獲された海鳥 (ミズナギドリ科 3 種とウミスズ

メ科 4 種) の胃内容物を解析し、プラスチック摂食の有無を調べた。さらに、これらの海鳥のプラスチック摂食量と海鳥の体重、および PCBs の残留濃度との関係性について検討した。最後に、飼育実験によってオオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* の雛にプラスチックを摂食させ、生理学的影響による成長阻害とプラスチックに吸着している PCBs が海鳥へ移行する毒性学的影響について調査した。

【結果と考察】

調査全域を平均したプラスチックの個数は、1990 年代が 32,174 pieces /km² であり、それに比べて 2000 年代は 61,541 pieces /km² と有意差はなかったものの増加傾向にあった。また、海域間で比較すると、1990 年代と 2000 年代のどちらも、亜寒帯海域に比べて移行領域と亜熱帯海域でプラスチックの個数が増加する傾向が見られた。これは海流等の物理的影響により、北太平洋に漂流するプラスチックが亜熱帯海域に収束するためと推定された。本研究で採集されたプラスチックの種類は、レジンペレット、製品破片、発泡スチロール、繊維および薄膜状プラスチックであり、製品破片が最も多く (1990 年代、2000 年代とも全体の >50%)、レジンペレットが最も少なかった (≤2%)。

北部北太平洋およびベーリング海中央部において、サケ・マス流し網調査で混獲された海鳥 7 種 (合計 137 個体) のうち、プラスチックを摂食していた個体は全体の 77% であった。サンプル数が多かったハシボソミズナギドリ *Puffinus tenuirostris* のプラスチック摂食頻度 (87.4%) を、同海域で 1970 年代に報告されているデータ (摂食頻度 <60%) と比較したところ増加傾向が認められた。これは近年の海洋環境中のプラスチック量の増加を反映していると考えられた。

プラスチック摂食が海鳥の栄養状態に与える影響を評価するため、混獲個体の胃内容物中のプラスチック重量と海鳥の体重、肥満度 (体重/ふしよ長²)、および体重に対する肝臓重量比との関係を調べたが、明確な傾向は見られなかった。また、海鳥体内中の PCBs 濃度についても検討したが、プラスチックを多く摂食していた個体の PCBs 濃度が必ずしも高いという傾向は認められなかった。

オオミズナギドリの雛を用いてプラスチック摂食実験を行ったところ、本研究で与えたレジンペレット量では、雛の成長や肥満度について、対照群とプラスチック摂食群との間で顕著な違いは見られなかった。しかし、実験 7 日目にプラスチック摂食群の尾腺ワックス中の総 PCBs 濃度が上昇し、中でも低塩素数の PCBs 濃度は対照群と比べて有意に高くなっていたことから、プラスチック摂食が低塩素数の PCBs 濃度を一時的に上昇させることが明らかになった。

本研究では、北太平洋ではプラスチック量が依然として増加しており、同海域におけるプラスチック汚染が進行していることが推察された。また、摂食したプラスチックから

PCBsの一部が海鳥体内に取り込まれることを初めて明らかにした。

上記の内容は、いずれも新知見であり、特に海鳥のプラスチック摂食を通した PCBs 汚染の研究に大きく貢献したものであるとして高く評価される。よって審査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。