

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 28 日現在

機関番号：10101
研究種目：基盤研究（A）
研究期間：2008～2012
課題番号：20241001
研究課題名（和文）海鳥を食物網と汚染のトレーサーとした海洋生態系モニタリング
研究課題名（英文）Marine ecosystem monitoring using seabirds as a tracer of food web and pollution
研究代表者
綿貫 豊（WATANUKI YUTAKA）
北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授
研究者番号：40192819

研究成果の概要（和文）：海鳥の移動と体組織の汚染物質をつかって汚染分布をモニタリングする新しい手法を開発した。ミズナギドリ類 2 種 130 個体以上をバイオロギング手法で追跡した。繁殖期において、尾腺ワックス中の残留性有機汚染物質濃度は異なる海域で採食する個体毎に異なり、PCBs, DDTs, HCHs でそのパターンが違った。越冬中に生える羽の水銀濃度にも、異なる海で越冬期を過ごす個体毎で差があった。これらの地域差は汚染物質の放出源と拡散によって説明できた。この手法によって海洋汚染を海洋区プランニングで必要とされる空間スケールで測定できる。

研究成果の概要（英文）：We developed a new method to monitor marine pollution using the movement of seabirds and the pollutants in their tissues. We tracked more than 130 individuals of two species of shearwaters using bio-logging techniques. Persistent Organic Pollutant in preen gland oil varied among breeding individuals foraging in the different areas and the trends were different between PCBs, DDTs and HCHs. The mercury in feathers that were replaced in the wintering areas varied among birds wintering in different seas. These regional variations can be explained by the source and dispersion of these pollutants. This technique gives us the spatial pattern of marine pollution at the scale that is required for marine spatial planning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
2009 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2010 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2011 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2012 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
総計	34,500,000	10,350,000	44,850,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：生物海洋・海洋汚染・バイオロギング

1 研究開始当初の背景

外洋域において、海洋汚染は広範囲に及び漁業は大型魚類の減少を招いている。広域かつ中スケールでの汚染・海洋生態系のモニタリングが必要である。衛星画像、船や漁獲統計による手法にはそれぞれ欠点やバイアスがある。これら従来野手法やモデル予測はきわめて強力ではあるが、汚染や高次捕食者の情報収集にはむかない。

海洋生態系の高次捕食者は多くの栄養段階に属する生物を餌とし、それによって汚染物質の生物濃縮をおこなうため、統合的な生態系変動や汚染の指標として使われてきた。体組織の窒素安定同位体比から栄養段階を推定し、また体脂肪中の脂肪酸組成から餌の情報が得られる。体組織に蓄積された重金属などから汚染情報が得られる。しかし、彼らは広範囲を移動するので、ある個体が、いつどこでなにを食べた結果として、例えば高い汚染物質濃度を示すのかはわからない。そのため、どの海域の生態系や汚染の指標となるのかわからないという欠点があった。

一方で、動物に装着した発信機や記録計を利用したバイオリギング技術によって、その移動軌跡と周辺環境を精密に長期にわたり追跡する研究が、国内では東京大学バイオリギング・サイエンス、国外ではたとえば米国の TOPP プログラムなど精力的におこなわれている。これらの研究は生産性の高い場所をアクテブに探し出す高次動物を使う点に特色がある。本研究はこの技術をつかって、あたらしい海洋汚染の海洋生態系変動のモニタリング手法を開発するものである。

2 研究の目的

本研究は、動物に装着した位置記録データロガー（GPS や光記録）によって、個体の移

動軌跡を測定し、その個体の組織の化学マーカー（窒素・炭素安定同位体比や人為汚染物質）を測定することで、高次動物を使った、新しい海洋汚染および生態系モニタリング手法を開発することを目指した。そのため、次の3項目を実施した。

（1）物質循環指標である窒素安定同位体比、餌情報源である脂肪酸組成、海洋汚染物質である残留性有機汚染物質（POPs）のターンオーバーレイトを、海鳥の飼育実験によって組織ごとに明らかにして、異なる組織の測定値から異なる時間スケールでの物質取り込みを推定する方法を確立する。

（2）海鳥個体の移動軌跡と行動を装着型記録計で精密に測定し、装着時と回収時に採取したその個体の異なる組織（血液、皮下脂肪、尾腺ワックス、羽など）の安定同位体比、脂肪酸組成と POPs 濃度やプロファイルを測定する。

（3）高次動物による採食強度およびその汚染度の地図をつかって、高次動物と生態系との相互作用の強度の高い場所、ホットスポットを定義する。

3 研究の方法

（1）窒素・炭素安定同位体比や脂肪酸組成、POPs の回転率や濃縮係数を求めるため、オオミズナギドリ、ウトウの雛の飼育実験を実施し、十分な数の血液、羽毛、尾腺ワックス資料を得た。

（2）日本で繁殖するオオミズナギドリの索餌範囲を、繁殖期に関しては装着型 GPS データロガーで、1年を通じてはジオロケーター（光記録による日の出・日の入り時刻から毎日の位置を割り出す）をつかってあきらかにし、その個体の尾腺ワックスの POPs と尾羽の水銀濃度を調べた。また尾羽については窒

素・炭素安定同位体比の測定も行った。新潟県粟島、岩手県大島の、山口県宇和島、および沖縄県仲の神島の4カ所で繁殖するオオミズナギドリの採食海域を明らかにした上で、尾腺ワックスの POPs を分析した。繁殖期、越冬期をつうじて、オオミズナギドリのサンプル・行動データを十分な数(100以上)得た。

(3) ハシボソミズナギドリの調査を、別予算もあわせて、進めた。タスマニアで繁殖中のハシボソミズナギドリにジオロケーターを装着し、2シーズンで、計30個体以上を追跡した。皮下脂肪の POPs と脂肪酸組成、風切り羽の水銀濃度と窒素。炭素安定同位体比、血液の窒素・炭素安定同位体比の測定をした。

4 研究成果

(1) オオミズナギドリ雛飼育実験の資料を用いて、摂食した PCBs は数日後にワックスに反映されることがわかった。また、粟島での繁殖個体を GPS 追跡したところ、北海道の工業地帯が点在する沿岸部を利用する個体と、日本海北部を利用する個体があり、6~21日の装着期間中、前者では POPs 濃度が上昇したのに、後者では変化がなく、尾腺ワックスの POPs 濃度は比較的短期間で変化すること、沿岸部に汚染ホットスポットがあるらしいことがわかった。

(2) 日本の粟島、三貫島、御蔵島に繁殖するオオミズナギドリはニューギニア北のビズマーク海、ニューギニア南のアラフラ海、および南シナ海のいずれかで越冬することがわかった。尾腺ワックス中の残留性有機汚染物質(POPs)は、瀬戸内海の宇和島で繁殖するオオミズナギドリでは PCB の濃度が、東シナ海に近い仲の神島の個体では DDT の濃度、日本海で採食する粟島個体では HCH の濃度が

高かった。また越冬地による差もこれに加算されるようで、PCB と DDE 濃度は、南シナ海で越冬した個体の方が、アラフラ海とニューギニア北方海域で越冬した個体より高かった。

(3) タスマニアで繁殖するハシボソミズナギドリは北太平洋西部(南部オホーツク海)と東部(南東ベーリング海)で越冬することがわかった(図1)。越冬海域が違う個体で比較すると、中・長期の汚染を反映すると思われる皮下脂肪中の POPs 濃度には差はなく、脂肪蓄積が少ないであろう、軽い個体では濃縮され、POPs 濃度が高かった。

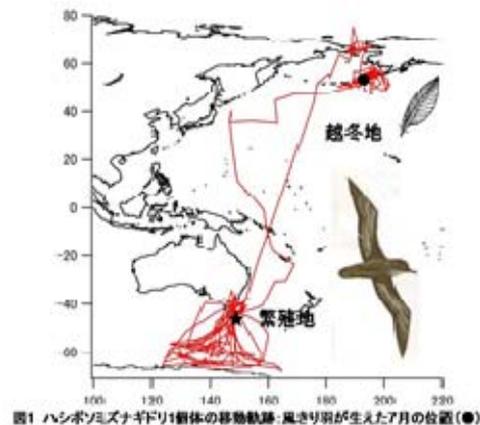


図1

(4) オオミズナギドリとハシボソミズナギドリのそれぞれの飛行羽(前種では再外側尾羽、後種では再外側風切り羽を使った)が、それぞれの種で生える1月および6月の個体ごとの平均位置をつかって、それぞれの個体の羽の水銀濃度や安定同位体比をプロットすることで、500km程度の中規模スケールで汚染地図がかけることがわかった(図2)。ただし、種や羽のタイプの違いをどう標準化するかの問題は残された。栄養段階の指標である窒素安定同位対比と水銀濃度の関係は弱いことが明らかとなった。

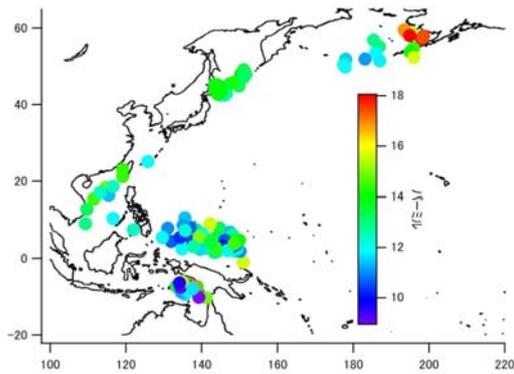


図 2

(5) 汚染物質の地域パターンをこれまでの報告と比較したところ、放出源、拡散と分解によって説明ができそうだ。海鳥の移動追跡データと体組織の汚染物質データを統合することで、沿岸から外洋域における海洋汚染度が、実際の海洋区マネージメントで必要とされる程度の比較的小スケールで測定できることが示された。海鳥の追跡は世界各地でおこなわれているので、本研究で開発した手法を使うことで、汚染の地域パターンが世界規模であきらかになるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 50 件: すべて査読つき)

- 1 Tanaka K, Takada H, Yamashita R, Mizukawa K, Fukuwaka M, Watanuki Y. 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics Marine Pollution Bulletin. 69:219-222 doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.010
- 2 Shiomi K, Yoda K, Katsumata N, Sato K. 2012 Temporal tuning of homeward flight in seabirds. Animal Behaviour 83: 355-359 DOI

10.1016/j.anbehav.2011.11.010

- 3 Watanuki Y, Ito M 2012 Climate effects on breeding seabirds of the Northern Japan Sea. Mar Ecol Prog Ser 454:183-196. doi: 10.3354/meps09627
- 4 Matsumoto K, Oka N, Ochi D, Muto F, Satoh TP, Watanuki Y. 2012 Foraging behavior and diet of Streaked Shearwaters (*Calonectris leucomelas*) rearing chicks at Mikura I. Ornith Sci.11: 9-19
- 5 Yamashita R, Takada H, Fukuwaka M, Watanuki Y 2011 Physical and chemical effects of ingested plastics on short-tailed shearwaters, *Puffinus tenuirostris*, in the North Pacific Ocean. Mar Pol Bull 62:2845-2849. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.10.008
- 6 Toge K, Yamashita R, Kazama K, Fukuwaka M, Yamamura O, Watanuki Y 2011 The relationship between pink salmon biomass and the body condition of short-tailed shearwaters in the Bering Sea: can fish compete with seabirds? Proc. R. Soc B. 278: 2584-2590, doi10.1098/rspb.2010.2345
- 7 Yamamoto T, Takahashi A, Oka N, Iida T, Katsumata N, Sato K, Trathan PN 2011. Foraging areas of streaked shearwaters in relation to seasonal changes in the marine environment of the Northwestern Pacific: inter-colony and sex-related differences. Mar Ecol Progr Ser 424: 191-204 doi: 10.3354/meps08973
- 8 Yamamoto T, Takahashi A, Katsumata N, Sato K, Trathan PN 2010 At-sea distribution and behavior of streaked shearwaters (*Calonectris leucomelas*)

- during the nonbreeding period. *Auk* 127:871-881. DOI: 10.1525/auk.2010.10029
- 9 Ochi D., Oka N., Watanuki Y. 2010 Foraging trip decisions by the streaked shearwater *Calonectris leucomelas* depends on both parental and chick state. *J Ethol.* 28:313-321 DOI 10.1007/s10164-009-0187-3
- 10 風間健太郎、伊藤元裕、新妻靖章、桜井泰憲、高田秀重、Sydeman WJ, Croxall JP, 綿貫豊 2010 海洋環境モニタリングにおける海鳥の役割とその保全 日本鳥学会誌 59:38-54
- 11 綿貫豊 2010 気候変化をもたらすフェノロジーのミスマッチ：海鳥の長期モニタリングが示すこと 日本生態学会誌 60:1-11.
- 12 綿貫豊、高橋晃周、Trathan PN, Wanless S, 坂本健太郎、佐藤克文 2010 深く潜水する海鳥のストローク調節：サウスジョージアムナジロヒメウ・ウミガラス・マカロニペンギンの比較 日本鳥学会誌 59:20-30.
- 13 Ito M, Takahashi A, Kokubun N, Kitaysky AS, Watanuki Y. 2010. Foraging behavior of incubating and chick-rearing thick-billed murre *Uria lomvia*. *Aquatic Biology* 8:279-287 doi: 10.3354/ab00229
- 14 Kokubun N, Takahashi A, Ito Motohiro, Matsumoto K, Kitaysky AS, Watanuki Y 2010 Annual variation in the foraging behaviour of thick-billed murre in relation to upper-ocean thermal structure around St. George Island, Bering Sea. *Aquatic Biology* 8:289-298. doi: 10.3354/ab00243
- 15 Watanuki Y, Ito M, Deguchi T, Minobe S 2009 Climate-forced seasonal mismatch between the hatching of Rhinoceros Auklets and the availability of anchovy. *Mar Ecol Prog Ser*, 393:259-271. doi: 10.3354/meps08264
- 16 Teuten EL, Watanuki Y (11 番目), Takada H (25 番目) 他 22 名. 2009 Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of The Royal Society B* 364:2027-2045 doi: 10.1098/rstb.2008.0284
- 17 Takahashi A, Matsumoto K, Hunt GL Jr, Shultz MT, Kitaysky AS, Sato K, Iida K, Watanuki Y. (2008). Thick-billed murre use different diving behaviors in mixed and stratified waters. *Deep Sea Research II* 55:1837-1845 doi:10.1016/j.dsr2.2008.04.005
- [学会発表] (計 67 件)
- 1 Watanuki Y. Can seabirds be useful as an indicator of human and climate impacts on high sea ecosystem? Gordon Research Conference, Polar Marine Science, Four Points Sheraton Ventura, 10-15 Mar 2013 (Invited).
- 2 綿貫豊 (1 番目) 他 8 名 オオミズナギドリ の越冬海域と尾羽の水銀濃度 生態学会大会、静岡県コンベンションアーツセンター 2013. 3. 8
- 3 Watanuki Y., Yamashita A, 他 7 名 Wintering area of streaked shearwaters and mercury in their tail-feather: oceanic scale monitoring of pollutants. Pacific Seabird Group Annual Meeting, Feb 20-24 2013, Hilton Hotel, Portland.
- 4 Yamashita R, Takada H (2 番目), Watanuki

- Y (8 番目) 他 5 名. Persistent organic pollutants (POPs) in preen gland oils from streaked shearwaters during wintering area. PICES Annual Meeting, 2012, Oct 12-21 International conference center Hiroshima (Invited).
- 5 Ito A, Yamashita R, Takada H (3 番目), Watanuki Y (14 番目) 他 10 名. POPs in the preen gland oil of Streaked Shearwaters breeding on the islands in Japan reflect marine pollution in western North Pacific. PICES Annual Meeting, 2012, Oct 12-21 International conference center Hiroshima
- 6 高橋晃周 (1 番目)・伊藤元裕・鈴木優也・綿貫豊 (4 番目) 他 5 名 ウトウの渡り・越冬生態 日本鳥学会大会、東京大学弥生キャンパス 2012.9 14-17
- 7 Yamashita R, Takada H (2 番目), Watanuki Y (14 番目) 他11名. Global POPs monitoring using seabirds preen gland oil. Poster, PSG 39th annual meeting, 2012 Feb 7-11, Turtle Bay Resort, Hawaii
- 8 Yamamoto T, Takahashi A, Oka N, Iida T, Katsumata N, Sato K, Trathan PN. Foraging areas of streaked shearwaters in relation to seasonal changes in the marine environment of Northwestern Pacific. PICES 2011 Annual Meeting. October 14-23, 2011, Khabarovsk' s official reception house, Russia
- 9 Sato K. Scaling of swim speed and stroke frequency in aquatic animals. Plenary lecture, 1st International Conference on Fish Telemetry, Hokkaido University conference hall, Sapporo, Japan, June 12-18, 2011.
- 12 Watanuki Y, Ito M. Responses of three

species of seabirds breeding at Teuri Island, northern Japan Sea, to local climate fluctuation (Invited), 1st World Seabird Conference, 8 Sep 2010, Victoria conference center, Canada.

10 Sato K, Watanuki Y. Scaling of wing and foot stroke cycle in diving and flying seabirds. IOC symposium, 28 Aug 2010, Campos do Jordao convention center, Brazil.

11 綿貫豊 気候変化によるフェノロジーマツチ・ミスマツチが海鳥の雛成長の年変化を説明する 第2回日本生態学会大島賞受賞記念講演 2009.3.20 岩手県立大学盛岡

[図書] (計1件)

綿貫豊 2010 海鳥の行動と生態：その海洋生活への適応 生物研究社、東京 pp317

[その他]

ホームページ

<http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~s16802/Watanuki2012.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

綿貫 豊 (WATANUKI YUTAKA)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授
研究者番号：40192819

(2) 研究分担者

佐藤 克文 (SATO KATUFUMI)

東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号：50300695

高橋 晃周 (TAKAHASHI AKINORI)

国立極地研究所・准教授

研究者番号：40413918

岡 奈理子 (OKA NARIKO)

山階鳥類研究所・研究員

研究者番号：30203962

高田 秀重 (TAKADA HIDEHIGE)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：70187970