

研究成果情報

北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます共同調査

ふくわか まさあき

福若 雅章 (西海区水産研究所 資源海洋部)

はじめに

日本で生まれたサケは北太平洋やベーリング海を広く回遊しながら餌を食べ成長し、約4年後の秋に生まれた川に産卵のため戻ってきます(図1)。私は北海道区水産研究所釧路庁舎に勤務していた1998~2012年にほぼ毎年のように調査船に乗り、北太平洋やベーリング海に出かけてサケの調査を行ってきました。何週間も陸地が見えない海域で、しかも夏では深い霧の中で、さけ・ますを獲り調査を続けるという単調な日々が続きます。しかし、たまにイルカが船の周りで遊んだり、アホウドリやエトピリカなど日本では珍しい海鳥が近付いてきたりと楽しいこともあります。調査船を使うと日本から遠く離れたはるか沖合でさけ・ますやその他の生物の調査ができますので、さまざまな研究グループにいろいろな興味を持っていただき共同調査を実施してきました。ここでは、その成果の一端をご紹介します。

ベーリング・アリューシャンさけ・ます国際共同調査 (BASIS)

日米ロ加韓の5か国で締結されている「北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約 (NPAFC 条約)」のもとで計画された BASIS 第 I 期 (2002~2006 年) に、日本は水産庁所属開洋丸、北海道教育庁所属若竹丸 (水研センター用船)、および北海道大学所属おしよ丸を用いて調査を実施しました。北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます調査は、1950年代から流し網を用いて行われてきました。流し網は海中に設置した網に泳いでくる魚が突き刺さったり絡んだりして漁獲する漁具で、沖合域では密な群れを作らないさけ・ますを効率的に漁獲することができます。しかし、流し網はトロール網のように網を曳いた空間がはっきりと分かりません。そこで、BASIS では標準の調査漁具をトロール網と定めて、各国が調査を行いました。日本でも開洋丸がトロール網を用いて調査を行い、トロール網と流し網が漁獲できる魚の大きさの範囲とその選択性の研究 (Fukuwaka et al. 2008, 2009) や、トロール網の調査面積からベーリング海全体に引き伸ばして推定したサケの生物量に関する研究 (Fukuwaka et al. 2010) を行いました。

2002~2004年の3年間に開洋丸は中層トロール網、若竹丸は10種目合い調査流し網を用いてベーリング海中央部の公海域の同じ定点でほぼ同じ時期に調査を行い、漁獲されたサケの尾又長を比較しました (Fukuwaka et al. 2008)。その結果、調査流し網は10種類の目合いが異なる網を組み合わせても、サケの大きさにより漁獲される効率が異なり、大きいほど漁獲されやすいことがわかりました (図2)。このことから、調査流し網を用いて調査をおこなうと大きいサイズのサケの数は過大評価されることとなります。また、各年齢での平均尾又長も過大評価され、とくに高齢群ほどその偏りは大きくなることがわかりました (Fukuwaka et al. 2009)。

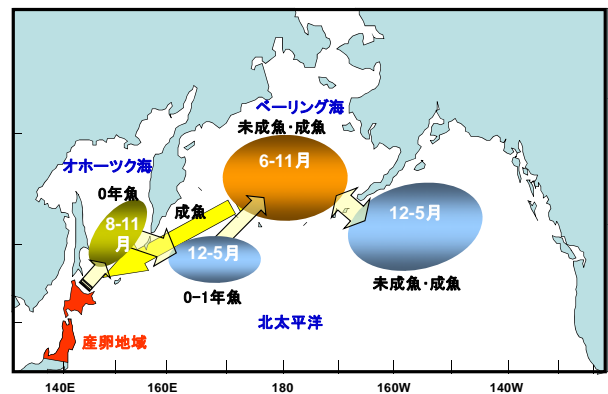


図1. 日本系サケの主要な回遊経路の推定図 (浦和 2000 を改変)。

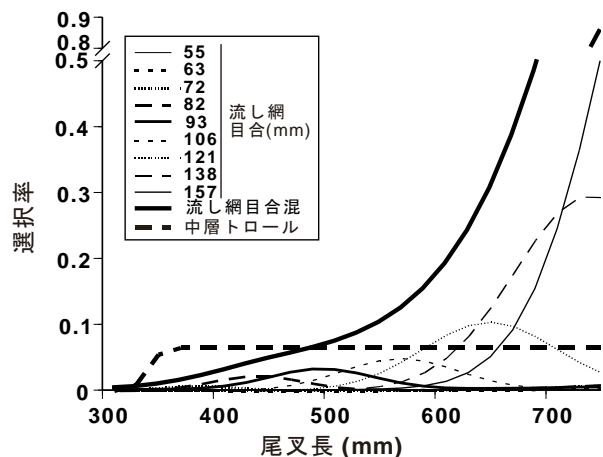


図2. 開洋丸中層トロールと10種目合い調査流し網のサケを対象としたサイズ選択曲線 (Fukuwaka et al. 2008)。

また、日本に回帰して沿岸で漁獲されたり河川で捕獲されたサケは計数され、その一部の年齢が調べられ、回帰資源の予測や評価に用いられています。コホート解析とかVirtual Population Analysisと呼ばれる計算方法を使い生存率を仮定すると、年齢別回帰尾数から海洋域で回遊していたサケの数を大雑把に見積もることができます。このテクニックと、ベーリング海でのトロール網による調査結果、魚体測定結果、母川を調べる研究、年齢査定結果、とトロール網の漁獲サイズ選択性を組み合わせると、ベーリング海でのサケの数と生物量を見積もることができました (Fukuwaka et al. 2010)。他のプランクトン食性種の生物量と比較すると、推定された2002・2003年夏のサケの生物量は1980年代のスケトウダラや中層性魚類の約10分の1であると考えられます (表1)。現在のベーリング海中央部の大型のプランクトン食性魚では、スケトウダラはほとんど姿を消してしまったため、サケとおそらくそれに匹敵する生物量をもつ奇数年級のカラフトマスが最も大量に生息しているということが出来ます。このように、海の生態系はダイナミックに変化しているということを見ることができました。

米国ワシントン大学とのさけ・ますの食性調査

米国のワシントン大学には米国政府からの資金援助により公海さけ・ます調査プログラム (High Seas Salmon Research Program) があり、1953年から日米加漁業条約とNPAFC条約のもとで、北海道大学水産学部、旧遠洋水産研究所や北海道区水産研究所と長期間にわたり、さまざまな共同研究を実施してきました。近年では、日本の調査船に

より食性調査や魚の生息環境を記録できるアーカイバル・タグの装着放流などを行っていました。しかし、米国でのさけ・ます調査の目的が自国資源の管理にシフトしたため、公海調査の予算が減少し、このプログラムはとうとう2013年に廃止されました。

日本ではあまり利用されませんが、米国では河川に回帰したスチールヘッド・トラウト (ニジマスの降海型) は釣りの対象として重要で、また河川環境や野生生物のシンボルとしても注目が集まっています。スチールヘッド・トラウトは北太平洋を広く回遊しますが、沖合での生活についてはほとんど知られていません。そこで、アラスカ湾と中部北太平洋で調査漁獲されるスチールヘッド・トラウトの食性を調べると、北太平洋に多く生息する小型のイカであるヒメドスイカが餌として重要でした (Atcheson et al. 2012a)。また、体成長をモデル化して調べたところ、体成長に適した水温の幅は狭くて、スチールヘッド・トラウトは水温環境の変化に強く影響を受けることが分かりました (Atcheson et al. 2012b)。

日本で産業上もとても重要であるサケについては、食性ととも体の脂質についても調査を実施しました。脂質は、私たちがサケを食べたときの味の決め手の一つとなるとともに、サケにとっては餌の乏しい冬を耐え抜くための一時的なエネルギーの蓄えでもあります。そこで、夏にベーリング海でサケの筋肉中に含まれる脂質が年ごとにどれくらい違うかを調べると、一年ごとに高くなったり低くなったりします (図3中段; Kaga et al. 2013)。

このパターンはカラフトマスの豊不漁のパターンと逆になっているようです。サケの食性を調べると脂質を多く含む甲殻類プランクトンは偶数年

表1. ベーリング海海盆域に優占するプランクトン食性ネクトンの生物量推定値 (Fukuwaka et al. 2010)。

種群	生物量(千トン)	海域	年
サケ	742, 617	海盆	2002, 2003
	146-685	西部ベーリング海	2002-2006
スケトウダラ	1140-7626	海盆	1985-1991
	198-2396	ボゴスロフ	1988-2007
	2.4-710	西部ベーリング海	2002-2006
キタノホッケ	366-887	アリューシャン列島周辺	1991-2006
	3.6-282	西部ベーリング海	2002-2006
中層性魚類	5921	中・西部ベーリング海	1989
	0.16-282	西部ベーリング海	2002-2006
中層性イカ類	592-1302	中・西部ベーリング海	1989-1990
	123-334	西部ベーリング海	2002-2006

によく食べられ、脂質をあまり含まず水分とタンパク質が多いクラゲやオタマボヤは奇数年に多く食べられています(図4)。カラフトマスは甲殻類プランクトンを主に食べ、あまりクラゲやオタマボヤを好んで食べません。そこで、カラフトマスが多い年には、甲殻類プランクトンが先に食べられてしまうせいか、あるいはサケがカラフトマスに遠慮しているのか、脂質の多い甲殻類プランクトンをサケがあまり食べなくなり、脂質が低下するものと考えました。

北海道大学水産学部との海鳥調査

北海道大学水産学部もおしよ丸でさけ・ます調査を実施していることから、多くの共同調査を実施しています。とくに、流し網にかかる海鳥については、北洋漁業がまだ盛んなころから共同で調査を行ってきました。海鳥も魚と同様に海の中にいるプランクトンや小魚などを餌にしています。その中には、アホウドリのように海の表面で餌を獲るものやオロロン鳥として知られるウミガラスやエトピリカのように海に潜って餌を獲るものがあります。海に潜って餌を獲っている海鳥は、魚と同じように漁網にかかって水中で息ができなくなり死んでしまうことがあります。北太平洋やベーリング海でも調査流し網にミズナギドリ類、ウミガラス類、ツノメドリ類などがかかってしまうので、その標本を利用し、栄養状態やプラスチックごみの誤食、汚染物質の蓄積状態などを調査しています。

ベーリング海で調査流し網にもっとも多くかかる海鳥は、ハシボソミズナギドリです。この海鳥はカラフトマスと同様に甲殻類プランクトン、とくにオキアミ類を主な餌にしています。ですから、カラフトマスと餌をめぐる競争関係にあります。しかし、鳥と魚が競争するという事は想像しにくいせいか、これまであまり調べられてきませんでした。ところが、この共同調査で、ハシボソミズナギドリの栄養状態(体重と肝臓重量)は、サケと同様にカラフトマスの豊漁年に低下してしまうことが分かりました(図3下段;Toge et al. 2011)。ハシボソミズナギドリは、サケと異なり、カラフトマスが多い年も餌を変化させずオキアミ類を主に食べていました(図4下段)。このことから、カラフトマスの豊漁年にハシボソミズナギドリの栄養状態が悪いのは、カラフトマスによってオキアミ類が食べられ少なくなったために、ハシボソミズナギドリの餌が少なくなったためと考えられました。

また、海鳥は海に浮いている小さなプラスチックごみを餌と間違えて食べてしまうようです。調査流し網にかかって死んだ海鳥の胃を開けると

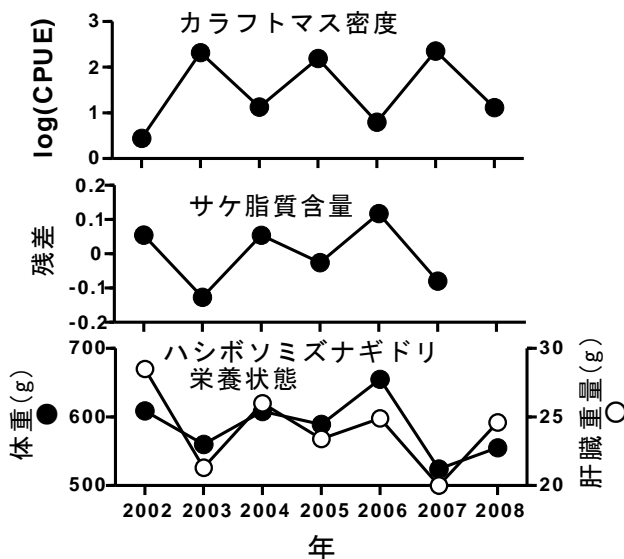


図3. ベーリング海中央部における2002~2008年のカラフトマス密度(尾/調査流し網30反;上段)、対数変換したサケ脂質含量(g/筋肉10g)の尾又長への回帰直線からの残差(中段)、およびハシボソミズナギドリの体重(g)と肝臓重量(g)(下段)(Toge et al. 2011, Kaga et al. 2013)。

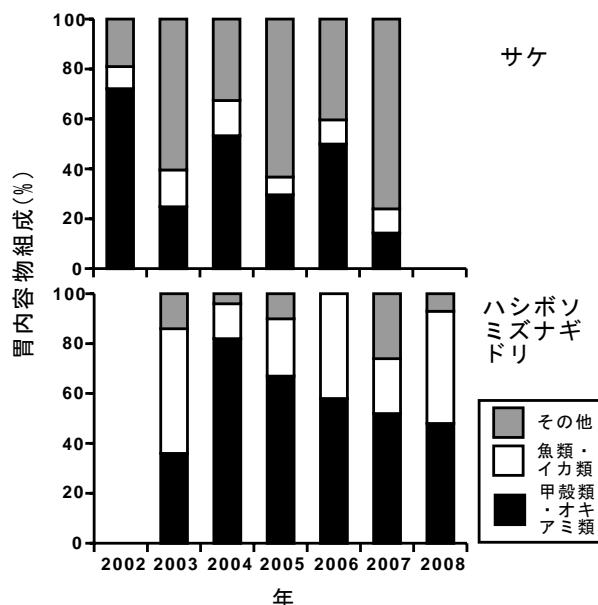


図4. ベーリング海中央部における2002~2008年のサケ(上段)とハシボソミズナギドリ(下段)の胃内容物組成(Toge et al. 2011, Kaga et al. 2013)。

多くのプラスチックごみが出てきます(Yamashita et al. 2007, 2011, Tanaka et al. 2013)。プラスチックは容易には分解されないで、長く海に浮いている厄介なごみですが、鳥のおなかの中では少しずつ分解され、その成分が鳥の体内に取り込まれます。実際に、調べた海鳥の体からプラスチック由来の有機化合物が検出されまし

た (Yamashita et al. 2007, 2011, Tanaka et al. 2013). それらは、海鳥の体内でも、分解が遅いのでどんどん蓄積していくことが考えられます。しかし、その毒性について十分に調べられているわけではありません。陸から遠く離れた海で餌をとる海鳥たちにも、私たち人間が作り出した汚染物質が取り込まれているというのは恐ろしいことだと思います。プラスチックごみはリサイクルに回すように努力しましょう。

北海道大学理学部とのサケ成熟生理調査

日本のサケは、数年を海で過ごした後、産卵のために自身が生まれた川に戻ってきます(図1)。では、いつどのようにして帰ろうと決めるのでしょうか?産卵のために帰るのですから、性成熟と関係しているのに違いありません。すでに、鱗から推定した体成長の分析により、産卵する前の年の体成長が性成熟に関係があることが分かっています (Morita and Fukuwaka 2006)。そこで性成熟が始まる機構を調べるには、海で生活しているときに長期間にわたって調べる必要があります。このことから、北海道大学理学部と共同して、サケがまだ海で回遊しているときから川を遡上するまで、サケの成熟生理を調べることにしました。

性成熟の機構は、各種のホルモンにより制御されています。そこで、夏のベーリング海に回遊している成熟していないサケと成熟途中のサケ、冬のアラスカ湾に回遊している成熟していないサケの、性成熟に関係するホルモンの血中の量とその産生の目安として脳の各部位での遺伝子の発現を調べました (Onuma et al. 2009a, b, 2010a, b, c)。その結果、冬季にはその年に成熟するサケでは、性成熟に関係するホルモンのうちもっとも早く産出されるホルモンのひとつである性腺刺激ホルモン放出ホルモンの遺伝子発現レベルが脳内ですでに高まっており、その前に性成熟が始まっていたことが分かりました。おそらく、産卵する一年前の秋ころにその年の夏の体成長に影響を受け、性成熟の引き金が引かれるのではないかと、想像しています。

おわりに

これまで紹介した共同調査のほかにも、海が荒れる冬季に水産庁が持つ2千トン級の調査船開洋丸により日米韓の4か国共同で北太平洋でサケ幼魚の調査を行ったり (Fukuwaka et al. 2007; Sato et al. 2007)、養殖さけから野生さけ・ますへの感染が問題になっているサケジラミの寄生率調査をカナダと共同で行ったり (Beamish et al. 2007)、バイオ・ロギング (生物に環境センサーと記憶装

置を搭載したデータ・ロガーを装着し生息環境や行動などを調べる研究方法)の先進的研究を行っている日本の国立極地研究所とサケがベーリング海から日本まで回遊する速度を計測したり (Tanaka et al. 2005)、と多くの共同調査を実施しました。現在でも、陸地から200海里(約360km)以遠の公海域でさけ・ますを漁獲して調査を行っているのは日本の調査船(北海道区水産研究所所属北光丸と北海道大学水産学部所属おしよろ丸)だけです。貴重なデータを利用し精力的に調査が継続されていることと思います。

共同調査では多くの科学者が貴重なデータ、標本と調査時間を奪い合うこととなります。首席調査員は、調査船出港の何か月も前から調査員間で調査内容や要求を調整し、さらにそれを船のスタッフと調整し、乗船すれば日々の調査活動の調整をしなければなりません。結局、自分の調査活動を犠牲にしなければいけないこともしばしばです。しかし、それらの調査活動が実を結び論文として出版されると、ほっと安心したような、また誇らしげな気分になります。今後も、北海道区水産研究所が多くの研究機関と共同調査を実施し、日本のさけ・ますに関する知見を増やしていくことを期待しています。

最後になりましたが、調査に参加してくださった調査船の乗組員、調査員として乗船して下さった科学者、実習あるいは補助調査員として調査に協力いただいた生徒・学生の皆様に感謝申し上げます。また、さけ・ます調査船調査は水産庁事業として長く継続され、現在も水産庁国際資源評価等推進事業のなかの補助事業として実施されております。この事業を主管されております水産庁漁場資源課国際資源班の歴代の職員の皆様にも感謝申し上げます。

引用文献

- Atcheson, M.E., Myers, K.W., Davis, N.D., and Mantua, N.J. 2012a. Potential trophodynamic and environmental drivers of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) productivity in the North Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.*, 21: 321-335.
- Atcheson, M.E., Myers, K.W., Beauchamp, D.A., and Mantua, N.J. 2012b. Bioenergetic response by steelhead to variation in diet, thermal habitat, and climate in the North Pacific Ocean. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 141: 1081-1096.
- Beamish, R.J., Neville, C.M., Sweeting, R.M., Jones, S.R.M., Ambers, N., Gordon, E.K., Hunter, K.L., and McDonald, T.E. 2007. A proposed life history strategy for the salmon louse, *Lepeophtheirus*

- salmonis* in the subarctic Pacific. *Aquaculture*, 264: 428-440.
- Fukuwaka, M., Sato, S., Takahashi, S., Onuma, T.A., Sakai, O., Tanimata, N., Makino, K., Davis, N.D., Volkov, A.F., Seong, K.B., and Moss, J.H. 2007. Winter distribution of chum salmon related to environmental variables in the North Pacific. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Tech. Rep.*, 7: 29-30.
- Fukuwaka, M., Azumaya, T., Davis, N.D., and Nagasawa, T. 2008. Bias in size composition of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) caught by a gillnet with a geometric series of mesh sizes, and its correction using gear intercalibration. *ICES J. Mar. Sci.*, 65: 930-936.
- Fukuwaka, M., Davis, N.D., Azumaya, T., and Nagasawa, T. 2009. Bias-corrected size trends in chum salmon in the central Bering Sea and North Pacific Ocean. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Bull.*, 5: 173-176.
- Fukuwaka, M., Sato, S., Yamamura, O., Sakai, O., Nagasawa, T., Nishimura, A., and Azumaya, T. 2010. Biomass and mortality of chum salmon in the pelagic Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 403: 219-230.
- Kaga, T., Sato, S., Azumaya, T., Davis, N.D., and Fukuwaka, M. 2013. Lipid content of chum salmon *Oncorhynchus keta* affected by pink salmon *O. gorbuscha* abundance in the central Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 478: 211-221.
- Morita, K., and Fukuwaka, M. 2006. Does size matter most? The effect of growth history on probabilistic reaction norm for salmon maturation. *Evolution*, 60: 1516-1521.
- Onuma, T.A., Sato, S., Katsumata, H., Makino, K., Hu, W.W., Jodo, A., Davis, N.D., Dickey, J.T., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2009a. Activity of the pituitary-gonadal axis is increased prior to the onset of spawning migration of chum salmon. *J. Exp. Biol.*, 212: 56-70.
- Onuma, T.A., Makino, K., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2009b. Elevation of the plasma level of insulin-like growth factor-I with reproductive maturation prior to initiation of spawning migration of chum salmon. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1163: 497-500.
- Onuma, T.A., Makino, K., Katsumata, H., Beckman, B.R., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2010a. Changes in the plasma levels of insulin-like growth factor-I from the onset of spawning migration through upstream migration in chum salmon. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 165: 237-243.
- Onuma, T.A., Ban, M., Makino, K., Hu, W.W., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., and Urano, A. 2010b. Changes in gene expression for GH/PRL/SL family hormones in the pituitaries of homing chum salmon during ocean migration through upstream migration. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 166: 537-548.
- Onuma, T.A., Makino, K., Ando, H., Ban, M., Fukuwaka, M., Azumaya, T., and Urano, A. 2010c. Expression of GnRH genes is elevated in discrete brain loci of chum salmon before initiation of homing behavior and during spawning migration. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 168: 356-368.
- Sato, S., Seeb, L.W., Seeb, J.E., Fukuwaka, M., Takahashi, S., and Urawa, S. 2007. Origins of young chum salmon in the North Pacific Ocean during the winter: rapid estimates by SNP markers. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Tech. Rep.*, 7: 31-32.
- Tanaka, H., Naito, Y., Davis, N.D., Urawa, S., and Fukuwaka, M. 2005. First record of the at-sea swimming speed of a Pacific salmon during its oceanic migration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 291: 307-312.
- Tanaka, A., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar. Pollut. Bull.*, 69: 219-222.
- Toge, K., Yamashita, R., Kazama, K., Fukuwaka, M., Yamamura, O., and 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.
- 浦和茂彦. 2000. 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, 5: 3-9.
- Yamashita, R., Takada, H., Murakami, M., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2007. Evaluation of noninvasive approach for monitoring PCB pollution of seabirds using preen gland oil. *Env. Sci. Technol.*, 41: 4901-4906.
- Yamashita, R., Takada, H., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2011. Physical and chemical effects of ingested plastic debris on short-tailed shearwaters, *Puffinus tenuirostris*, in the North Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.*, 62: 2845-2849.