特集 東北地方太平洋沖地震が海洋生態系に与えた影響の解明と漁業の復興支援：東北マリンサイエンス拠点形成事業（東北大学・JAMSTEC）による取組とその成果 Part I

2011 年東北地方太平洋沖地震後に採取された生物および 堆積物中のポリ塩化ビフェニル（PCB）

小川奈々子,* 大河内直彦, 野牧秀隆,
力石嘉人,^a 藤倉克則, 北里 洋^b

海洋研究開発機構

Polychlorinated biphenyls (PCBs) in deep-sea organisms and sediments off Tohoku after
the Great East Japan Earthquake in 2011

NANAKO O. OGAWA,* NAOHIKO OHKOUCHI, HIDETAKA NOMAKI,
YOSHITO CHIKARAISHI,^a KATSUNORI FUJIKURA AND HIROSHI KITAZATO^b

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan

1. はじめに

残留性有機汚染物質（POPs）は、難分解性であるとともに有害性をもつ化合物群で、その多くは人為的に合成されたものである。半揮発性の物質が多く、大気を経由して蒸発散と凝集降下を繰り返しながら地球規模に国境を越えて広がるほか、生態系では生物濃縮を通して高次捕食者に濃集していることがしばしば報告されてきた。¹⁾ ポリ塩化ビフェニル（PCB）は、わが国においてカネミ油症事件などの社会問題を引き起こしたことから、その毒性がかつて大きくクローズアップされた。わが国における PCB の製造および輸入は 1975 年に禁止されているものの、それ以前に製造・輸入され、1975 年以降も使用され続けている電気器具などからの汚染は 21 世紀の今も懸念されている。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれにとまなう津波では、東北地方の太平洋沿岸部において回収・保管されていた高濃度の PCB を含むコンデンサーやトランスが多数流出したことが確認されている。²⁾ そこで東北マリンサイエンス拠点形成事業において、海洋研究開発機構では東北地方太平洋沖地震とそれにとまなう津波後の生態系調査の一環として、PCB のモニタリングを行ってきた。本稿ではその結果について報告する。また、食物連鎖を通して PCB がどの程度濃縮しているのかを知るために、得られた生物試料についてアミノ酸の窒素同位体比を元にした栄養段階の推定も実施した。^{3,4)} 本稿には Ohkouchi *et al.*³⁾ の出版以後に測

定された試料についての新たな結果を追加した。なお、より沿岸の海域においては、東京大学大気海洋研究所と東京農工大学のグループが中心になって人為汚染物質のモニタリングが行われているので、^{5,6)} それらも併せて参照されることをお勧めしたい。

2. 試料と方法

本研究で用いた生物試料は、北緯 39 度 06.741 分から北緯 39 度 47.645 分、東経 142 度 04.855 分から東経 142 度 16.212 分で囲まれた海域で採取された（図 1）。生物試料には特に底魚類が多く、それらの採取域の水深は 220 m から 501 m の間に分布している。また堆積物試料については、図 1 に示した 8 地点で採取された表層堆積物を用いた。⁷⁾

魚試料は可食部をサンプリングし、その一部は脂質濃度の測定およびアミノ酸の窒素同位体比の測定に供した。生物試料の栄養段階は、代謝プロセスにおいてグルタミン酸の窒素同位体比が大きく上昇するのに対し、フェニルアラニンの窒素同位体比がほとんど変化しないことを利用した推定式⁴⁾により計算した。残りの試料は、PCB の測定に供した。分析の詳細に関しては、別稿³⁾を参照願いたい。

3. 結果と考察

各種水産生物の可食部における総 PCB の濃度の時間変動を図 2 に示した。多くの生物は底魚類である。図 2

* Tel : 046-867-9804. Fax : 046-867-9775. Email : nanaogawa@jamstec.go.jp

^a 現所属：北海道大学低温科学研究所（Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan）

^b 現所属：東京海洋大学（Tokyo University of Marine Science and Technology, Minatoku, Tokyo 104-8477, Japan）

図1 本研究において報告された試料の採取海域

破線の長方形で囲まれた部分は生物試料が採取された海域を□は堆積物が採取された地点を示す。Ohkouchi *et al.*³⁾より改変。

には本研究で津波後に得られた結果と併せて, Takahashi *et al.*^{8,9)}により津波以前の1994年, 2005年に測定され報告されたものを記した。魚種内または魚種間で多少の差はあるものの, 東北地方太平洋沖地震以降, 環境省の基準値を超えた試料は存在せず, 比較的低い濃度で推移していることが明瞭である。また堆積物についても環境省の基準値を超える高いPCB濃度をもつものは見出されていない。

東北地方太平洋沖地震以前からの時間軸で見ると, 底魚可食部中に含まれるPCB濃度は, 津波を境に増加した傾向は見られず, むしろ長期的には全体として減少傾向にあるように見える(図2)。これは, 国内におけるPCBの生産および使用の禁止が徐々に効果を表していることを反映していると考えられる。

生物試料の栄養段階とPCB濃度との比較を図3aに示した。イラコアナゴの一部が共に高い栄養段階(4.5)とPCB濃度($47\text{--}51\text{ ng g}^{-1}$)を示し, 低い栄養段階(2.7)をもつイソギンチャクでPCB濃度が低い値(0.1 ng g^{-1})を示した。これらを除けば栄養段階が高い生物ほどPCB濃度が高いという明確な傾向は見られない。PCB濃度の水深別の分布では, 堆積物において水深

800–900 mの試料が300–550 mの試料より若干高い値を示す一方, 生物試料では水深と関連した傾向は認められない(図3b)。³⁾これらの結果は, 食物連鎖や生息域の水深等の差異は, 本研究海域の底魚PCB濃度分布を規定する上での最も重要な要因ではないことを示唆している。

4. おわりに

現時点では, 三陸沖で採取された底魚類などの生物試料には, 東北地方太平洋沖地震による津波にともなうPCB汚染の兆候はみられない。しかし高濃度のPCBを含むコンデンサーやトランスが津波によって多数流出したことは事実であり, それが沿岸部に堆積している可能性も十分に考えられる。それらの金属容器の腐食が時間とともに進み, その結果PCBを高濃度で含む油分が海水中に拡散してくるという懸念は残されたままである。¹⁰⁾この海域におけるPCB汚染は今後も注意深く見守っていく必要がある。

謝 辞

本研究は文部科学省海洋生態系研究開発拠点機能形成

図2 西暦1994年以降の東北沖で採取された生物試料および堆積物試料中に含まれるPCB濃度の時系列変動。縦の太い点線は東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波の発生時期を示す。東北地方太平洋沖地震以前のデータは Takahashi *et al.*^{8,9)} 2012–2014年のデータは Ohkouchi *et al.*³⁾を参照。

図3 東北沖で採取された a) 生物試料の PCB 濃度と栄養段階, b) 生物試料と堆積物試料中の PCB 濃度の水深別分布。栄養段階は Ohkouchi *et al.*³⁾を参照, PCB 濃度は Ohkouchi *et al.*³⁾のデータにそれ以降のデータを追加。

事業「東北マリンサイエンス拠点形成事業（海洋生態系の調査研究）」の支援を受けて実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 1) Kelly BC, Michael G, Ikonomou G, Blair JD, Morin AE, Gobas FAPC. Food web-specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science* 2007; **317**: 236–239.
- 2) 東日本大震災のPCB廃棄物への影響について（第9報）。環境省産業廃棄物課。2012。
- 3) Ohkouchi N, Shibata H, Nomaki H, Ogawa NO, Chikaraishi Y, Goto T, Fujikura K, Kitazato H. A monitoring result of polychlorinated biphenyls (PCBs) in deep-sea organisms and sediments off Tohoku during 2012–2014: temporal variation and the relationship with the trophic position. *J Oceanogr* 2016; **72**: 629–639.
- 4) Chikaraishi Y, Ogawa NO, Kashiyama Y, Takano Y, Suga H, Tomitani A, Miyashita H, Kitazato H, Ohkouchi N.

- Determination of aquatic food-web structure based on compound-specific nitrogen isotopic composition of amino acids. *Limnol Oceanogr: Methods* 2009; **7**(11): 740–750.
- 5) Ogawa H, Anazawa K, Obata H, Shirai K, Murakami-Sugihara N, Takada H, Suzuki-Mashio A, Mizukawa K, Minami H. Distribution and fluctuation of land-derived environmental pollutants in Otsuchi Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2017; **83**: 648–651. (in Japanese).
- 6) Mizukawa K, Hirai Y, Sakakibara H, Endo S, Okuda K, Takada H, Murakami-Sugihara N, Shirai K, Ogawa H. Spatial distribution and temporal trend of anthropogenic organic compounds derived from the 2011 East Japan Earthquake. *Arch Environ Contam Toxicol* 2017; **73**(2): 185–195.
- 7) Nomaki H, Mochizuki T, Kitahashi T, Nunoura T, Arai K, Toyofuku T, Tanaka G, Shigeno S, Tasumi E, Fujikura K, Watanabe S. Effects of mass sedimentation event after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on benthic prokaryotes and meiofauna inhabiting the upper bathyal sediments. *J Oceanogr* 2016; **72**(1): 113–128.
- 8) Takahashi S, Tanabe S, Kawaguchi K. Organochlorine and butyltin residues in mesopelagic myctophid fishes from the western North Pacific. *Environ Sci Technol* 2000; **34**: 5129–5136.
- 9) Takahashi S, Oshihoi T, Isobe T, Ramu K, Ohmori K, Kubodera T, Tanabe S. Contamination by persistent organohalogen compounds in deep-sea fishes from off the Pacific coast of northern Japan. In: Fujita T (ed) Deep-sea Fauna and Pollutants off Pacific Coast of Northern Japan. *National Museum of Nature and Science Monographs* No 39, 2009; 737–755.
- 10) Tanabe S, Subramanian A. Great eastern Japan earthquake — possible marine environmental contamination by toxic pollutants. *Mar Poll Bull* 2011; **62**: 883–884.