

環境省－PICES 東日本大震災起因海洋漂着物影響評価プロジェクト
(ADRIFT Project) 日本国内成果発表会

特別セミナー

「東日本大震災により流出し、東北沿岸から北太平洋を横断して
アメリカ・カナダに辿り着いた海洋漂流物の物理学と生物学」

2017年5月19日(金) 午後15:30-17:50

東北大学青葉山キャンパス理学研究科合同 A (H-02) 棟1階第3講義室

ADRIFT (Assessing the Debris-Related Impact from Tsunami) Project

Special Seminar on

"Overview of Japanese Tsunami Marine Debris (JTMD)"

Friday, May 19, 2017 (3:30 – 5:50 PM)

Tohoku University

Ministry of the Environment, Government of Japan (MoE)
North Pacific Marine Science Organization (PICES)

はじめに

2011年、東日本大震災発生時に津波により大量の漂流物が太平洋に流出し、一部が北太平洋を横断してハワイやアメリカ、カナダの西海岸まで辿り着きました。漂着物に生息したまま付着していた多様な海洋生物は、日本沿岸からハワイ・北米西海岸に流れ着きました。それらの生物はハワイ・北米西海岸にとっては外来の移入種となり、生態系に影響を与える可能性をもたらしました。

このような状況を踏まえ、環境省では、2014～2016年度の3か年にわたり、北太平洋海洋科学機構（PICES）を通じて、「東日本大震災起因海洋漂着物影響評価プロジェクト」

（ADRIFT Project）を行いました。本調査プロジェクトには、日本、カナダ、アメリカの多くの研究者が参加し、海洋漂流物のモデルシミュレーション、漂着物のモニタリング及び挙動解析、漂着物に付着した無脊椎動物や海藻の多様性に関する解析、外来移入種の「運び屋」としての海洋漂着物のリスクアセスメントなど、様々な調査研究を行ってきました。

今回、本調査プロジェクトで得られた科学的知見を紹介・共有するとともに、日本、カナダ、アメリカの研究者と情報交換や親睦をはかる機会を設けるために、特別セミナーを開催します。

環境省

北太平洋海洋科学機構（PICES）

Preface

In 2011, Great East Japan Earthquake caused huge tsunami, and enormous stuffs were flowed away from coastal areas and partially reached to North America and Hawaii. Many alive marine organisms carried with the drift might bring up potential risk to disturb ecosystems so that they were non-indigenous alien species there.

Under above mentioned situation, MoEJ has conducted an international project to assess impacts of tsunami-sweeping stuffs by collaboration with Canadian, Japanese and US scientists though coordination by North Pacific Marine Science Organization (PICES). In this special seminar, some outcomes are introduced directly by Canadian, Japanese and US researchers.

Ministry of the Environment (MoE)
North Pacific Marine Science Organization (PICES)



2012年6月に米国オレゴン州の海岸に打ち上がった青森県三沢市の漁港の浮き桟橋
Misawa dock landing in Oregon beach in June 2012

写真提供 Photo : Robin Loznak

プログラム

0. 背景説明 (4分) 牧秀明 国立環境研
1. 海洋漂着物の物理学
- a. 漂流物のモデルシミュレーション (18分) 蒲地政文 JAMSTEC
- b. 北米西海岸とハワイにおける漂着状況 (18分) ナンシー・ウォーラス
アメリカ海洋大気庁 (NOAA)
- c. 海岸設置ウェブカメラによる漂着物挙動解析 (18分) 磯辺篤彦 九州大・応力研
休憩 (10分)
2. 漂着物付着生物の生物学
- a. 無脊椎動物 (18分) ジェイムズ・カールトン 米国ウィリアムズ大学
- b. 海藻 (18分) 川井浩史 神戸大・内海域環境教育研究セ
- c. 付着生物の種としてのリスクアセスメント (18分)
トーマス・テリオール カナダ水産海洋省 (DFO)
- d. 移入種の運び屋としての津波漂流物のリスクアセスメント (18分)
キャスリン・クラーク・マレイ カナダ水産海洋省 (DFO)
3. オープンディスカッションとレセプション (18:00-20:00)

Program

- Opening Remarks with brief introduction (4 min) Hideaki Maki
National Institute for Environmental Studies, Japan
- Modeling of Japan Tsunami Marine Debris (18 min) Masafumi Kamachi
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)
- Detection and Shoreline Monitoring (18 min) Nancy Wallace
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA
- Monitoring by webcam (18 min) Atsuhiko Isobe, Kyushu University, Japan
- Invertebrate biodiversity on JTMD (18 min) James Carlton, Williams College, USA
- Algae biodiversity on JTMD (18 min) Hiroshi Kawai, Kobe University, Japan
- Species Risk Assessment (18 min) Thomas Therriault
Fisheries and Oceans Canada (DFO)
- Vector Risk Assessment (18 min) Cathryn Clarke Murray
Fisheries and Oceans Canada (DFO)
- Open Discussion and Reception (6:00 – 8:00 pm) All

講演者および関係者のプロフィール／Profiles of speakers and coordinators

アレキサンダー・ビチコフ 1996年から1999年までPICESの副事務局長、1999年から2014年まで事務局長を歴任。現在は環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクトの特任調整役。

Dr. Alexander Bychkov (bychkov@pices.int) was the Deputy Executive Secretary of PICES from 1996–1999 and the Executive Secretary of the Organization from 1999–2014. He serves now as a Special Projects Coordinator with PICES, and ADRIFT-project, funded by MoE, is one of his primary responsibilities.

牧秀明 国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境研究センター 海洋環境研究室主任研究員
環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクトの日本側の共同議長とPICESの「海洋環境の質」MEQ委員と「海洋汚染における顕在化問題」作業部会（WG-31）の日本側メンバー。研究対象は内湾環境の貧酸素水塊と炭化水素汚染に係る水質・底質のモニタリング。

Dr. Hideaki Maki (hidemaki@nies.go.jp) is a Senior Researcher at the National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan. He is the Japanese Co-Chair of ADRIFT project, and serves as a member of the PICES Marine Environmental Quality (MEQ) Committee and Working Group on Emerging Topics in Marine Pollution. Recently, he has been monitoring water and sediment parameters relevant to hypoxia and hydrocarbon contamination in coastal sea environments.

蒲地政文 海洋研究開発機構（JAMSTEC）特任技術統括、気象庁気象研究所前副所長、海洋・地球化学研究部元部長 専門は海洋物理で、データ同化と予測手法開発を主な研究対象としてきた。また東日本大震災による海洋漂流物の太平洋横断の予測モデルシミュレーション開発と運用に係わる環境省業務の主要メンバーを務めてきた。

Dr. Masafumi Kamachi (kamachimasa@jamstec.go.jp) is a Project Principal Engineer at Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). He was a former Senior Director for Research Affairs at the Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency. He is a physical oceanographer, leading studies on the ocean data assimilation and prediction, and served a key member of the project for modeling and simulating transpacific behaviors of Japan Tsunami Marine Debris, funded by MoE.

ナンシー・ウォーラス アメリカ海洋大気庁（NOAA）における海洋漂流物に関するプログラム長 このプログラムではアメリカ合衆国における海洋ごみの影響調査、防止、軽減に関する連邦政府としての指導的役割を果たしている。環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクトの米国側の共同議長とPICESの「海洋汚染における顕在化問題」作業部会（WG-31）の米国側メンバーを務める。過去10年間に国立公園における資源保全や合衆国東海岸の沖合い漁業における持続可能な漁獲制限、メキシコ湾における水質改善等の海洋政策に係わる課題に携わってきた。

Nancy Wallace (nancy.wallace@noaa.gov) is the Director of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)'s Marine Debris Program, which is the federal lead for researching, preventing, and reducing the impacts of marine debris in the United States. She is the US Co-Chair of ADRIFT-project, funded by MoE, and serves a member of the PICES Working Group on Emerging Topics in Marine Pollution. Nancy has worked on ocean policy related issues for the past decade. Her work includes

resource conservation with the National Park Service, developing sustainable catch limits for fisheries off the east coast of the United States and efforts to improve water quality in the Gulf of Mexico.

磯辺篤彦 九州大学応用力学研究所教授、環境省－PICES「震災起因海洋漂流物調査」ADRIFTプロジェクト科学チーム委員。主な研究対象は、陸棚沿岸海域における海洋物理と大気－海洋相互作用、海洋漂着・漂流ごみ

Dr. Atsuhiko Isobe (aisobe@riam.kyushu-u.ac.jp) is a Professor at the Research Institute for Applied Mechanics at Kyushu University in Fukuoka, Japan, and a Japanese PST member of ADRIFT-project. His research interests include ocean dynamics in coastal and shelf waters, atmosphere-ocean interaction, and marine debris.

ジェイムズ・カールトン ウィリアム大学（米国マサチューセッツ州）名誉教授（海洋科学）、ミスティック海港博物館（コネティカット州）の海事研究プログラムの名誉指導者。環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクトの科学チームの米国側委員。主な研究分野は地球規模での海洋生物の移入問題（生態系に与える影響、拡散の機構、その管理に関する戦略）と現代における海洋生物の絶滅問題。これまで科学誌「生物学的侵入」の編集長を創設し、海洋保全のためのピューアメリカ科学振興協会特別会員、2013年にカリフォルニア科学アカデミー特別会員メダルを受賞。米国科学アカデミーの海洋生物多様性委員会の共同議長を務め、「国家のための研究課題としての海洋生物多様性の理解」を発行。2011年には、外来生物侵入低減のためのバラスト水の基準設定に関する米国科学アカデミー／全米研究評議会の助言会合の議長を務めた。2007年発行の太平洋沿岸域の海洋生物に関する研究論文集（「カリフォルニア中部からオレゴンにおける感潮域の無脊椎動物」モノグラフ [カリフォルニア大出版]）の執筆・編集を行った。

Dr. James Carlton (james.t.carlton@williams.edu) is Professor of Marine Sciences Emeritus at Williams College in Williamstown, Massachusetts, Director Emeritus of the College's Maritime Studies Program at Mystic Seaport, Connecticut, and a US member of Project Science Team (PST) of ADRIFT-project. His research is on global marine bioinvasions (their ecosystem impacts, dispersal mechanisms, and management strategies) and on marine extinctions in modern times. He is founding editor-in-chief of the journal Biological Invasions, a Pew Fellow for Marine Conservation, a Fellow of the American Association for the Advancement of Science, and in 2013 received the "Fellows Medal" of the California Academy of Sciences. He was Co-Chair of the Marine Biodiversity Committee of the National Academy of Sciences, which produced Understanding Marine Biodiversity: A Research Agenda for the Nation, and in 2011 he was Chair of the National Academy of Sciences / National Research Council committee advising on setting standards for ballast water to reduce non-native species invasions. Dr. Carlton wrote and edited a monograph on the marine life of the Pacific Coast (Intertidal invertebrates from Central California to Oregon, University of California Press), published in 2007.

川井浩史 神戸大学内海域環境教育研究センター長・教授 環境省－PICES「震災起因海洋漂流物調査プロジェクト」のプロジェクト科学チーム委員。農林水産省－PICES「水生生物移入種」に係わる作業部会メンバーも務めた。専門分野は海藻の進化系統と生態、海藻の越境移入種の生物地理

Dr. Hiroshi Kawai (kawai@kobe-u.ac.jp) is a Professor and Director of the Kobe University Research Center for Inland Seas (KURCIS), Japan, and serves a Japanese PST member of ADRIFT-project. His research is on evolution and phylogeny of macroalgae, and biogeography of non-indigenous macroalgae.

He was also a Japanese member of PICES Working Group on Non-indigenous Aquatic Species, funded by Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (MAFF).

トーマス・テリオール カナダ水産海洋省（DFO）の研究員で様々な水生生物の移入種問題に関わってきた。環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクトのカナダ側の共同議長と PICES 科学評議員の前議長を務めてきた。また農林水産省－PICES「外来水生生物種」に関するプロジェクトの作業部会（WG-21）のカナダ側のメンバーの一員で、プロジェクトの指導を行ってきた。

Dr. Thomas Therriault (thomas.therriault@dfo-mpo.gc.ca) is a Research Scientist with Fisheries and Oceans Canada (DFO) working on a variety of aquatic invasive species issues. He is the Canadian Co-Chair of ADRIFT-project, funded by MoE, and was the former Chairman of PICES Science Board. He was also a Canadian member of PICES Working Group 21 on Non-indigenous Aquatic Species, and led a project funded by Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (MAFF).

キャスリン・クラーク・マレイ カナダ水産海洋省（DFO）の主任生物学研究員。これまで環境省－PICES「2011年東日本大震災の津波起因海洋漂着物影響調査」ADRIFTプロジェクト専任の PICES 客員研究員を務めてきた。ブリティッシュ・コロンビア大学の資源、環境、持続可能性研究所の非常勤教授。研究分野は人間活動と海洋移入生物が生態系に与える蓄積された影響の評価。

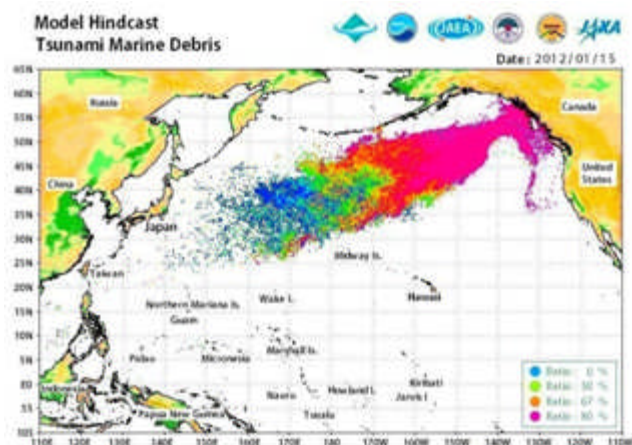
Dr. Cathryn Clarke Murray (cathryn.murray@dfo-mpo.gc.ca) is a Senior Biologist with Fisheries and Oceans Canada (DFO), and was the Visiting Scientist with the North Pacific Marine Science Organization (PICES) on the project “Effects of marine debris caused by the Great Tsunami of 2011 (ADRIFT-project)”, funded by the Ministry of the Environment of Japan (MoE). She is also Adjunct Professor in the Institute for Resources, Environment and Sustainability at the University of British Columbia. Her research encompasses the cumulative effect of human activities on ecosystems, and of the ecology of marine invasive species.

海洋漂流物のモデルシミュレーション 蒲地政文 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、主に東北地方から太平洋へ流出した大量の海洋漂流物について、数値モデルを用いたシミュレーションによる漂流物分布の予測計算を実施し、その結果から国内外への漂着の可能性や太平洋等外洋での分布状況の把握に関する研究を行ってきた。

この環境省—PICES プロジェクトでは、JAMSTEC を中心とする日本側のモデルグループ、ハワイ大学国際太平洋研究センターIPRC、米国海洋大気庁 NOAA の研究者が協力して、海洋漂流物のモデルシミュレーションを行った。

漂流物のモデルシミュレーションでは、漂流物は、移流拡散過程に従うと仮定して計算された。移流過程では、モデル化した漂流物のタイプとして、海中部分と海上部分の比が重要である。それぞれの部分が海流と海上風の影響を受けて漂流する。海流と海上風には、日米の異なるいくつかのデータセットを用いた。海洋大循環モデルにより計算された海流データ、海上風は日米の現業機関（気象庁及び NOAA）や本プロジェクトの研究グループの天気予報や季節予報の成果が用いられた。また、漂流物の海洋での渦・乱流や海上風の空間分布により漂流物が散らばっていく様子（拡散過程）は、ランダムウォークによって計算している。これらの手法により計算された漂流物分布の例や観測との比較を紹介する。さらに、初期の流出点と漂着点を指定した場合の漂流経路の計算方法とその結果についても紹介する。特に、気仙沼水産試験場調査船「海翔」の沖縄周辺までの漂流経路についても紹介する。



環境省・JAMSTEC・原研・気象研・京都大・JAXA による東日本大震災海洋漂流物のシミュレーション例
Transpacific JTMD behaviour simulated by JAMSTEC, JAEA, MRI, Kyoto University, JAXA and MoE

Modeling of Japan Tsunami Marine Debris (JTMD)

Masafumi Kamachi, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

A drift simulation on the movement of the Japan tsunami marine debris (JTMD) has been conducted by a Japan Modeling Group (JAMSTEC, Japan Atomic Energy Agency, Japan Meteorological Agency -Meteorological Research Institute) in order to examine the positions in the North Pacific, landing positions, and landing date on the coast after the Great East Japan Earthquake occurred on March 11, 2011. The simulation has been done under the Japan National Project and the Ministry of the Environment (MoE)-PICES ADRIFT Project by collaboration with International Pacific Research Center, University of Hawaii and National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. JTMD drifting was calculated on the assumption that their behaviors follow advection-diffusion process. Ratios of submerged and emerged parts of JTMD are crucial for classification of drifting marine debris modeled in the advection process. JTMD drifting is influenced by interaction between actions of ocean current and wind on submerged and emerged parts, respectively. Some different kinds of ocean current and wind data sets provided by USA and Japan were used for the calculation. These

datasets were provided by calculations based on ocean circulation model as outcomes of weather and season forecasts developed by above mentioned organizations which have been involved in ADRIFT project. Diffusion of drifting JTMD by eddy and wind fields (dispersion process) was calculated by random walk. Results of calculated drifting JTMD distribution and comparison between the simulation result and observation data of JTMD will be shown in the talk. Moreover, the calculation method and result to reproduce JTMD pathway by virtually fixing the positions of source and destination of JTMD will be also introduced. In particular, possible drifting pathway of “Kaisho”, a skiff of Kesenuma Fisheries Experiment Station to Okinawa will be also shown.

北米西海岸とハワイにおける漂着状況

ナンシー・ウォーラス アメリカ海洋大気庁 (NOAA)

2011年東日本大震災により発生した津波により、未曾有の莫大な量の漂流物が太平洋に流出した。津波数ヶ月後に、これらの海洋漂流物の北米海岸への影響に対する懸念が広まっていった。米国の連邦と州政府、地方自治体、および非政府組織と学術機関は共に、漂流物の漂着による脆弱な生態系におよぼす影響を制限するべく共に歩み寄っていった。漂流物の発見、漂流予測のためのモデル・シミュレーション、モニタリング、対策の立案、漂着物の撤去、情報交換に精力的に取り組んだ。これらの一連の活動は、日本政府からの寛大な予算的措置により大きな支援を受けた。「海洋ゴミのモニタリングと影響評価プロジェクト」は、海岸に存在する海洋ゴミの量とタイプを報告するための全米におけるパートナーとボランティアが参加する市民によるモニタリング戦略の一つである。大震災後の2012年3月から2016年2月までの4年以上に渡る調査により、全部で211,709個もの漂着物が合衆国の太平洋海岸線上の91箇所で記録された。航空観測をアラスカ州とハワイ、カナダのブリティッシュ・コロンビア州で実施し、海岸に蓄積されていた漂着物を発見し、漂着物の影響を最小限にとどめるために清掃活動を行うための場所を見付けるために活用された。



北米西海岸に打ち上げられた海洋漂着物
Marine debris accumulation in west coast of North America

写真提供 Photo : AirborneTechnologiesInc.

Detection and shoreline monitoring

Nancy Wallace, NOAA

The Great Tsunami of 2011 in Japan washed an unprecedented amount of debris into the Pacific Ocean. In the months after the tsunami, there was a growing concern about the impacts of the debris on North American shorelines. Federal, state, and local agencies as well as non-governmental partners and academia came together and made great strides to limit the effects on sensitive ecosystems from the debris as it arrived. Efforts focused on detection, modeling, monitoring, response planning, removal of debris and communication activities. The effort was greatly supported by the generous monetary gift from the Government of Japan. The Marine Debris Monitoring and Assessment Project is a citizen monitoring initiative that engages partners and volunteers across the United States to report on the amount and types of marine debris on shorelines. Over four years of surveys following the

earthquake and tsunami in Japan (March 2012 – February 2016), a total of 211,709 debris items were recorded at 91 sites on U.S. Pacific shorelines. Aerial surveys were conducted in Alaska, Hawaii and British Columbia that detected accumulations of debris which helped identify areas for targeted removal to minimize impacts from the debris.

海岸設置ウェブカメラによる漂着物挙動解析

磯辺篤彦¹、岩崎慎介¹、加古真一郎²、片岡智哉³、油布圭¹、チャーリー・プライボン⁴、トーマス・マーフィー⁵

¹九州大学、²鹿児島大学、³東京理科大学、⁴サーフライダー財団 オレゴン地区、⁵オレゴン州立大学ハットフィールド海洋科学センター

2011年3月11日に発生した東日本大震災の津波により、大量の漂流物が沿岸域から発生した。そして、その一部は北米西海岸に漂着したとの報告が数多くある。また、これらの漂着物に付着した外来海洋生物による生態系への影響が懸念されている。国際共同プロジェクト(Assessing the Debris Related Impact From Tsunami: ADRIFT)では、米国オレゴン州のニューポートにある海岸に設置した Web カメラから得られた画像をもとに、漂着ゴミ量の時系列調査を行った。もとより解像度の粗い Web カメラ画像の海岸漂着物から、震災関連のものを特定することは困難である。本研究では、太平洋全域を対象とした粒子追跡モデルと衛星海上風データセットを用いて、Web カメラより得られた海岸漂着ゴミ量と、震災漂流物の漂着量を関連付けることを試みた。

ウェブカメラを、2015年4月より2017年3月までの2年間、オレゴン州ニューポートの海岸高台に設置した。ウェブカメラで捉えた、漂流物（ほとんどが流木）が嵐の前後で増減する状況を写真に示す。このように海岸の一部を日中の一時間毎に自動撮影し、散乱する漂着物の画像をインターネットで配信するシステムを構築した。画像より漂着物の個数を読み取り、2年間に及ぶ毎時の漂着数時系列を作成した。その時系列を周辺の風況（人工衛星風データ）及び海況（海洋同化プロダクトの与える表層海流データ）と比較することで、海岸における漂着—再漂流を制御する環境因子を割り出した。海岸における漂着物の増加は、秋季から冬季にかけて顕著であり、これは、南風が連吹して岸向きの表層海流が卓越する沿岸沈降発生期に該当した。また、海岸に打ち上がった漂着物は、岸向きの強風が大潮期に吹く wind setup の機会に海へと再



ウェブカメラが捉えた嵐の前後の漂流物の増減

Debris dynamics captured by webcam before and after storm

漂流するようである。

上記の漂着—再漂着過程を人工衛星風データと関連づける「サブモデル」を作成し、3.11の三陸沖から北米西海岸に漂流する仮想粒子（震災漂流物を模した）の輸送モデルに組み込んだ。これによって、発生から漂流、そして漂着と再漂着を経た、震災漂着物の北米海岸での現存量算定を行なった。計算結果によれば、3.11漂流物の北米への漂着量は、推算流出量150万トンの1~2%程度（15,000–30,000トン）で、米国とカナダの国境周辺1000km程度の範囲に特に漂着が集中したことが示唆された。

Monitoring by webcam

Atsuhiko Isobe¹, Shinsuke Iwasaki¹, Shin'ichiro Kako², Tomoya Kataoka³, Kei Yufu¹, Charlie Plybon⁴ and Thomas Murphy⁵

¹Kyushu University, ²Kagoshima University, ³Tokyo University of Science, ⁴Surfrider Foundation Oregon region ⁵Oregon State University, Hatfield Marine Science Center

Particle tracking models (PTMs) are capable of computing debris motion in the ocean circulation. However, it is difficult to determine by the PTMs alone if modeled particles in the ocean are washed ashore onto the land, because the stranding must be dependent on nearshore processes that might not be resolved in modeled ocean currents (hence, PTMs) sufficiently. Also, re-drifting processes of stranded particles into the ocean should be incorporated into the PTM; otherwise the estimate of debris quantity on beaches remains unreliable. The webcam monitoring on a beach in Newport, OR provides us with a simple scenario of stranding/re-drifting processes: the debris on the beach increased during the downwelling-favoring winds, and rapidly decreased under the onshore-winds at spring tides by re-drifting. The PTM in the present study consists of two models: one is a PTM to reproduce the tsunami-debris motion in the North Pacific using an ocean reanalysis product (ocean circulation) and satellite-derived winds (leeway drift), and the other is a “sub-model” to give the criterion whether the modeled particles are washed ashore on the neighboring land grid cell, and whether they return to the oceanic domain from the land. The satellite-derived winds on the grid cells neighboring the land boundary were used for the criterion in the sub-model. An attempt in the present study is to evaluate the abundance of the modeled particles (which can be approximately converted to tsunami-debris weight) washed ashore on the land during the past five years.

漂着物付着生物の生物学 —無脊椎動物—

ジェイムズ・カールトン ウィリアムズ大学

2011年東日本大震災により発生した津波により流出した漂流物が海流によって2012年に太平洋中央部と西部に出現し始めた。2012年から2017年までの間に650以上の漂流物が北米西海岸に漂着し、それらは全て東北地方沿岸から来た津波により流されたものであり、それらが運んできた海の生き物の研究を行ってきた。300以上の無脊椎動物（それに2種類の魚類）が生きたまま数千kmもの航海を経て生き残っていた。幾つかの生物種は震災後6年経った2017年現在も浮遊物に乗って漂着しつつある。ハマグリ・アサリやホタテ貝の近縁種、カキ類等の軟体動物、甲殻類、ゴカイ等の環形動物、皮殻無脊椎動物類（ヒドロ虫やコケムシ）が主な生物種であった。こうした漂流物に「乗船」した生物は、数年掛けて遠く離れた海岸に漂着するまで北太平洋上のどこをさまよっていたかを我々に語ってくれている。



Invertebrate biodiversity on JTMD

James T. Carlton, Williams College, USA

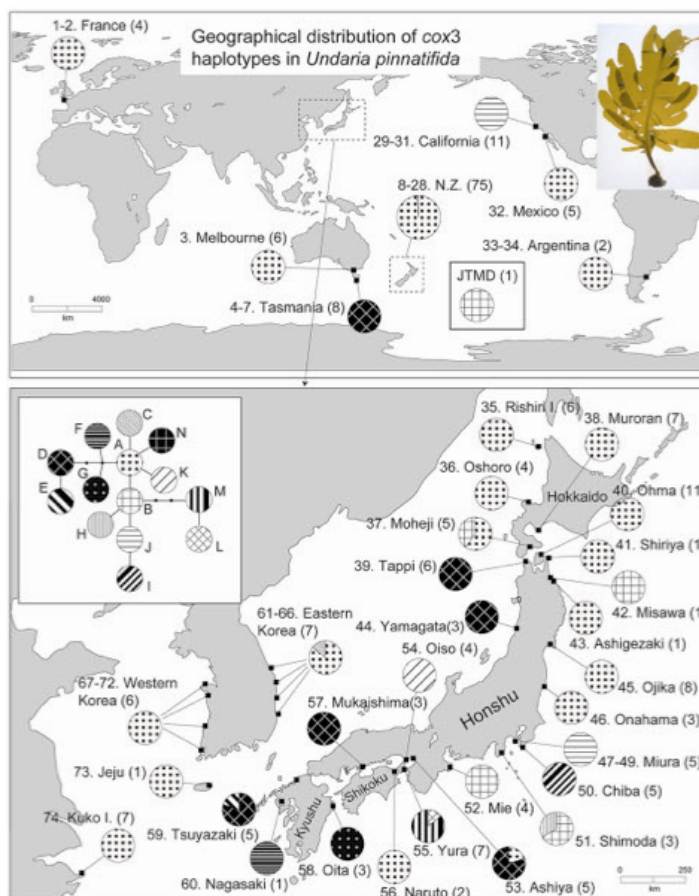
Rafted objects from the Great Earthquake and Tsunami of 2011 began appearing in the Central Pacific and Western Pacific Ocean in 2012, having been carried by ocean currents. Between 2012 and 2017 more than 650 such items washing ashore in North America and Hawaii, all from the Tohoku coast, and all generated by the tsunami, have been studied for the marine life that they carried. More than 300 species of invertebrates (and two fish species) arrived alive, having successfully survived an ocean voyage of 1000s of kilometers. Some species -- still on their ocean voyage after 6 years -- are still arriving in 2017 on these floating items. Mollusks (including clams, oysters, and scallops), crustaceans, worms, and small encrusting invertebrates (such as hydroids and bryozoans) comprise the majority of the species. Often, the species "aboard" these drifting objects tell us the story of where they traveled over the years across and around the North Pacific Ocean before landing on distant shores.

漂着物付着生物の生物学 —海藻—

川井浩史¹、ゲイル・ハンセン²、羽生田岳昭¹ : (¹神戸大・内海域セ、²オレゴン州立大)

東日本大震災から6年を経た後も、東日本大震災に伴う津波に起因すると考えられる漂流物が北米大陸西岸に漂着している。それらには多くの海産生物が着生しており、現地の生態系に与える影響が危惧されている。なかでも津波から1.5~2年後に漂着した大型浮桟橋にはこれまで例がないほど多様で多数の海藻類が付着しており、それらの多くは成熟していたことから、現地に定着・繁殖するリスクが高いと考えられた。一方、ブイなどの小型漂流物は、着生する海藻類の種類は少なく、小形のものが多いが、漂着頻度が高いことからやはり、これらを介して移入が引き起こされるリスクが高いと考えられた。そこで津波漂流物に着生する海藻類の種多様性、頻度及び生態を明らかにし、また今後の移入種モニタリングのための基礎資料を得ることを目的として、主に米国オレゴン州とワシントン州に打ち上げられた漂流物に着生していた海藻類を対象に形態学および複数の遺伝子マーカーを用いた分子系統学的解析を行った。その結果、津波漂流物上に着生する約50種の海藻類を確認した。これらの多くは東北地方で採集されたものと遺伝的に同じか非常に近く、日本に由来するものであることが確認された。このうち一部の種類、例えばマコンブ、アカバなどは北米西岸には分布しておらず、またワカメ、ムチモ、ツルツルなどはすでに一部の海域に外来種として移入しているが、津波漂流物が漂着した海域には拡散していない。このため、これらの種の

移入は沿岸環境に大きな影響をおよぼす可能性が高い。一方、一部の種類、たとえばセイヨウハバノリ、マツモ、スジメなどは同じ種が日本と北米西岸の何れにも分布しているが、遺伝的には異なっていることが確認された。したがって、これらの種であっても、移入が起こると現地の海藻類に遺伝的なかく乱を引き起こす可能性が示された。これまでの調査では、津波漂着物によって現地の海岸に移入・定着したと考えられる海藻類は確認されていないが、今後も継続した漂着物や沿岸生態系の調査が必要であると考える。



太平洋（上）と日本沿岸（下）におけるワカメ (*Undaria pinnatifida*) の *cox3* 遺伝子型の分布

Algae biodiversity on JTMD

Hiroshi Kawai¹, Gayle Hansen² and Takeaki Hanyuda¹

¹ Kobe University Research Center for Inland Seas, ² Oregon State University, HMSC-EPA

Recognizable debris from the Great Tohoku Earthquake and Tsunami (JTMD) have so far been arriving on Northeast American shores for more than six years since 2011. Often healthy marine lives are attached on JTMD, especially a big dock landing in Oregon beach 2012 was found to bear unprecedentedly diverse and abundant macroalgae, and there is a potential risk that they may disturb coastal ecosystems by settlement and reproduction because most of macroalgae on the dock were mature. On the other hand, although small pieces of JTMD such as buoy bear only less-diverse and small-type of algae, their landing frequencies are high so that potential risk of invasion via small JTMD pieces seems to be also high. To elucidate species-diversity, frequency and life mode of them as well as to get fundamental data for hereafter non-indigenous species (NIS) monitoring, we have monitored the macroalgae on JTMD which were mainly landed in Oregon and Washington, and identified them by morphology and by using genetic markers. We have identified ca. 50 macroalgal species on JTMD and found that these are genetically identical or very similar to those from natural habitats in Tohoku, which implies that JTMD-associated algae species are originated from Japan. Some taxa such as *Saccharina japonica* and *Neodilsea yendoana* have not been distributed in North America yet and although *Cutleria cylindrica*, *Grateloupia turuturu* and *Undaria pinnatifida* have already invaded into some areas of North America as NIS, these taxa have not been found in locations receiving JTMD. On the other hand, JTMD-associated *Petalonia fascia*, *Analipus japonicas* and *Costaria costata* are genetically distinct between NW (Asia including Japan) and NE Pacific (North America) populations, and their introductions to NE Pacific coasts may cause genetic disturbance to the local populations. So far new macroalgae invasion and settlement via JTMD have not been found. However, further persistent monitoring and assessment of JTMD and coastal ecosystem are needed.

付着生物の種としてのリスクアセスメント

トーマス・テリオール カナダ水産海洋省 (DFO)

2011年の大震災により発生した海洋漂流物は、北米とハワイ沿岸に日本の生物種がたどり着くことを可能にした前例の無い「運び屋」としての役割をはたした。これまで330種もの海藻類、無脊椎動物、魚類が、採取された600以上の漂流物から見つけ出されている。これらの生物種の大部分は日本産のものであり、北米とハワイには現在見付かっておらず、それらの移入種としての危険性（リスク）は不明である。これらの生物種が漂着した地点における生態系にどのようなリスクをもたらす可能性が有るのかを調べることは、施策と管理を行う者に情報を提供するために重要である。本講演では大震災により発生した海洋漂流物に付着していた無脊椎動物と海藻類のリスクを「カナダ海洋生物移入種検査ツール

(CMIST)」という既存の選択レベルシステムにより評価を行った結果について紹介したい。このツールでは、漂流物が辿り着いた地点の生態系に移入種が侵入する可能性と、侵入が招いた事態の度合の点数付けを行い、評価を行う者の不確実性（バラつき）を含んでいながらも、リスク全体の点数付けを行うことが出来る。北太平洋周辺の様々な気候などで分けられる生態系区分（エコリージョン）において、いくつかの危険性の高い無脊椎動物と海藻類が同定された。これらの中には、全世界でよく知られた移入種であるムラサキイガイ

(*Mytilus galloprovincialis*) やワカメ (*Undaria pinnatifida*) が含まれており、評価対象となった生態系区分において既に移入の履歴を有している。他の種、例えばキヒトデ (*Asterias amurensis*) 沿岸に生息するイソガニ (*Hemigrapsus sanguineus*) は評価対象となった多く、

あるいはどの生態系区分においても未だ侵入していない。しかし、評価対象となった大部分の種は比較的低～中程度のリスクを有しているのに留まると考えられたが、その原因の一部は他の地域における移入の履歴やその影響に関する情報不足によるものであるかも知れない。北カリフォルニア生態系区分は最も高い移入リスクを抱えており、その一方、アラスカ湾はその気候区分の違いから、最も低いリスクしか受けないという結果になった。以上の結果は、利害関係者や一般市民への注意喚起と生物相のモニタリング調査に有益な情報を与え得るものと考えられる。



アメリカ西海岸に漂着した船から見付かったイシダイ
Striped Beakfish found in a boat landing in North America
写真提供 Photo : Travis Haring

Species risk assessment

Thomas W. Therriault, Fisheries and Oceans Canada (DFO)

Marine debris from the Great Japan Tsunami of 2011 represents a novel transport vector for Japanese species to reach Pacific North America and Hawai'i. So far more than 330 species of algae, invertebrates and fish have been identified associated with Japanese tsunami marine debris (JTMD) on the 600+ debris items intercepted. Most of the species encountered are native to Japan, not currently present in North America or Hawai'i, and their invasion risk is unknown. It is important to characterize the risk these species may pose to receiving ecosystems to inform policy and management decisions. Here we characterize the risk of invertebrate and algal species associated with JTMD using an established screening-level risk assessment tool – the Canadian Marine Invasive Screening Tool (CMIST). This tool scores both the probability and consequences (impacts) of an invasion for receiving ecosystems, to generate an overall risk score that encompasses assessor uncertainty. Higher-risk invertebrate and algal invaders were identified for different ecoregions around the North Pacific. Some of these species are well-known global invaders, such as the mussel *Mytilus galloprovincialis* and the seaweed *Undaria pinnatifida* which already have invasion histories in some of the assessed ecoregions. Others like the sea star *Asterias amurensis* and the shore crab *Hemigrapsus sanguineus* have yet to invade many (or any) of the assessed ecoregions. However, most of the species assessed were considered relatively low to moderate risk, perhaps in part due to a lack of invasion history and documented impacts elsewhere. The Northern California ecoregion had the highest median invasion risk while the Gulf of Alaska had the lowest, likely due to the reduced climate match with this ecoregion. These results provide critical information that can be used to inform monitoring activities and raise awareness with stakeholders and the public.

移入種の運び屋としての津波漂着物のリスクアセスメント

キャスリン・クラーク・マレイ カナダ水産海洋省 (DFO)

2011年に生じた大津波による海洋漂流物は移入種導入の可能性をもたらした。私達は日本の津波による海洋漂流物と他の海洋生物の運び屋とを比較しつつ、リスク評価を行った。北太平洋におけるこれまでに良く知られた移入種の7つの運び屋として、養殖、船舶のバラスト水と船体付着、レクリエーション用ボート、海産物や観賞用生物の貿易、釣り餌が挙げられる。これらの「運び屋」は移入の過程に応じて8つの要素により比較評価した。この要素には、運び屋への付着、運び屋担体当たりの種と生息数の多さ、運び屋担体の個数、生存可能性、運ばれている期間の長さ、環境への放出、放出された環境との適合性が含まれる。津波漂流物は、運び屋としての個数の多さ、環境への付着生物の放出という二つの要素において高リスクと判定された。他の要素については低・中程度と判定された。評価対象となった他の運び屋にはもっと高いリスクを示したものがあつた。これまで私達の調査では、北米とハワイにおいて津波漂流物から見付かった生き物の移入は見られていない。多くの津波漂着物に付着していた生物種は、少なくとも一つの北西太平洋の生態域（エコリージョン）で震災以前に見付かつており、



オレゴン州の海岸に漂着した浮き桟橋に付着していた海藻

Macroalgae on dock landing in Oregon beach

写真提供 Photo : Robin Losnak

また既に他の運び屋に付着していることが知られている種と重複している。以上の比較から、津波漂流物は比較的低リスクの運び屋であると結論付けた。一方、津波で漂流物が流出したことに起因する生物種の移入の可能性は残されているが、他の運び屋も北西太平洋域で移動し続けており、津波漂流物以外の多くの手段による生物種の移入を除いて津波漂流物に由来する生物種の将来の移入を見極めるのは非常に困難であると考えられる。

Vector risk assessment

Cathryn Clarke Murray, Fisheries and Oceans Canada (DFO)

The influx of debris from the Great Tsunami of 2011 carried with it the possibility of introduction of invasive species. We conducted a risk assessment to compare Japanese tsunami marine debris to other vectors, or carriers, of marine species. There are seven well-known vectors of invasive species currently operating in the North Pacific: aquaculture, commercial ballast water, commercial hull fouling, recreational boating, seafood trade, ornamental trade, and bait. Vectors were compared according to eight variables relating to the invasion process. Variables include entrainment with the vector, species richness per shipment, number of shipments, abundance per shipment, survivorship potential, shipment duration, release to environment, and environment match. Tsunami debris scored high in two variables: number of shipments and release to environment. All other variables were scored low or medium. Each of the other vectors assessed included more high ranked risk variables. No introductions of tsunami debris species have been detected in our surveys of North America and Hawaii. Many of the species associated with tsunami debris items have previously been introduced to at least one ecoregion in the Northeast Pacific and there is overlap with the species known to be associated with other vectors. From this comparison, we conclude the tsunami debris is a relatively low risk vector. While there remains the possibility of an introduction resulting from this event, the other vectors continue to operate in the Northeast Pacific and any future introductions will be difficult to definitively assign to tsunami debris and rule out their introduction by a number of other means.