

# 堆積物の環境 DNA で探る過去の出来事

## —津波直後のクラゲ大発生を検知—

### 概要

2011 年東北地方太平洋沖地震の際に発生した津波の後の生物群集の変遷を、気仙沼の舞根湾をフィールドに調査してきました。津波の後、クラゲが大量に発生したことは潜水目視観察でわかっていましたが、それ以前の定量的な情報はありません。そこで、堆積物の環境 DNA に注目しました。まず、京都大学舞鶴水産実験所で水槽実験を行い、堆積物には魚の DNA が 1 年間にわたり保存されることを確認しました。続いて、津波から 6 年後の気仙沼舞根湾において、堆積物のコアサンプル（柱状の試料）を採取し、これを層別に分析しました。その結果、石油由来の芳香族炭化水素を多く含む層の直上で、クラゲの DNA の含有量が最大となることが確認できました。気仙沼では、津波の際に多量の石油が流出しています。これもふまえると、津波による一時的な環境劣化で、クラゲの大発生が起きていたことがわかります。本研究は、堆積物の環境 DNA が数年前の環境イベントを定量的に調べる上で有用であることを示した初めての試みです。本成果は、2021 年 8 月 20 日にイギリスの国際学術誌 *Scientific Reports* にオンライン掲載されました。

研究グループの構成員：京都大学 フィールド科学教育研究センター 益田玲爾教授、尾形瑞紀 同大学院生（研究当時、現：ベネッセコーポレーション）、山下洋 同名誉教授、神戸女学院大学 人間科学部 張野宏也教授、神戸大学 人間発達環境学研究科 坂田雅之学術研究員、源利文 同教授、NPO 法人森は海の恋人 畠山信副理事長、東京都立大学 都市環境科学研究科 横山勝英教授

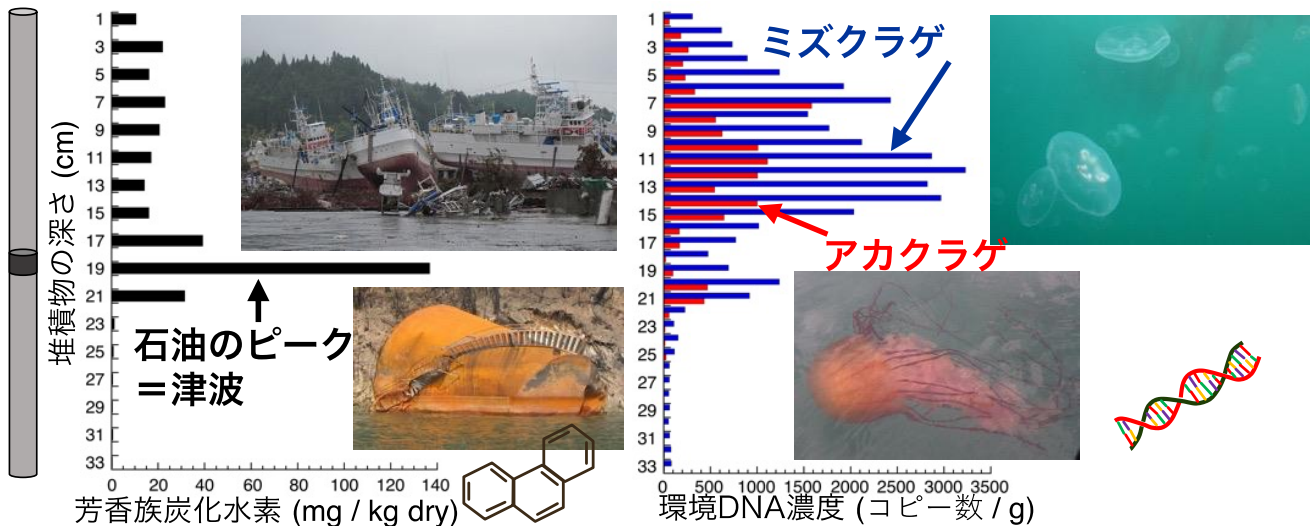


図1 堆積物のコアサンプルを層別に分析し、津波を表すサインの直上でクラゲの環境 DNA が最大となった。

## 1. 背景

2011年5月から2ヶ月に1回、気仙沼市の舞根湾周辺において潜水調査を行い、津波後の海の回復の様子を記録しています(図2)。津波から5年間の変化を取りまとめた前報では、津波による大規模な攪乱の直後、クラゲ類の大量発生があり、以後、寿命の短い生物から長い生物へと徐々に回復する様子を報告しました(Masuda 他 2016 PLoS ONE, 図3)。しかし、津波以前の生態系については、比較可能な情報がなく、「回復したと言えるのだろうか」との疑問が投げかけられてきました。

そこで本研究では、堆積物の環境DNAを利用することで、津波以前と以後のクラゲの発生量を比較することを試みました。環境DNAは、水中や土壌などの環境中に生物が残したDNAの総称で、これを検出することで、対象とする生物の存在を明らかにし、生物量の指標とすることができます。水中の環境DNAについては研究が進んでいるものの、堆積物の環境DNAに関する知見はわずかです。まず水槽実験により、堆積物に対象生物のDNAが長期にわたって保存されることを確かめました。次に、気仙沼舞根湾で堆積物のコアサンプルを採取し、層別にクラゲ類の環境DNAを定量しました。

## 2. 研究手法・成果

**水槽実験** 水槽の底に海底で集めてきた堆積物を敷き、ここでマアジを2週間飼育しました。このマアジを取り除いた後、水槽の海水と堆積物を1年間にわたり採取しました。その結果、海水からはマアジを除去した翌日にはDNAが検出されなかったのに対し、堆積物からは1年後にもマアジのDNAが検出されました(図4)。このことから、堆積物中では少なくとも1年は生物のDNAが保存されることがわかります。

**堆積物コアサンプルの採取と分析** 2017年5月、気仙沼舞根湾内外の4地点で、3本ずつの堆積物コアサンプルを潜水により採取しました(図2、5)。市民ボランティアらの協力のもと、これらをすみやかに厚さ1cmずつの層別に切断しました(図6)。試料は京都大学舞鶴水産実験所に持ち帰り、環境DNA分析に用いました。また試料の一部は、神戸女学院大学に送り、芳香族炭化水素の分析に用いました。

堆積物を採取した4地点のうち、水深23mと最も深かったSt.3では、安定して長いコアサンプルがとれました。これらではいずれも、芳香族炭化水素のピーク、すなわち津波を表す層の直上で、ミズクラゲとアカクラゲの環境DNAが多く検出されました(図7)。この結果は、津波による大きな環境変化の直後にクラゲが大発生したことを反映していると考えられます。

## 3. 波及効果、今後の予定

最近注目されている環境DNA技術が、過去の生物を調べる上で有効であることが本研究からわかります。特に、数年前の生態的なできごとを再現する上で、海底の堆積物の環境DNAが有用であることを示したのは、本研究が初めてです。今後、堆積物の環境DNAを、クラゲ以外の生物についても分析したいと考えています。

## 4. 研究プロジェクトについて

本プロジェクトは下記の研究費の支援を受けました。科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST (益田・源)、三井物産環境基金(畠山・横山)、笹川科学研究助成(尾形)、日本学術振興機構 科学研究費助成事業 基盤研究B(益田・源)

### <研究者のコメント>

気仙沼舞根湾での潜水調査に始まり、長期にわたる飼育実験、堆積物の環境 DNA を検出する最新の技術とこれによるクラゲ大量発生の検知、気仙沼の石油流出の痕跡を示す化学分析と、多くの研究者が参加しての学際的な論文となりました。東日本大震災と大津波から、我々が学ぶべきことはまだまだあるように思います。

### <論文タイトルと著者>

タイトル：Environmental DNA preserved in marine sediment for detecting jellyfish blooms after a tsunami

(海底堆積物の環境 DNA により津波後のクラゲ大発生を検知)

著者：Mizuki Ogata, Reiji Masuda\*, Hiroya Harino, Masayuki K. Sakata, Makoto Hatakeyama, Katsuhide Yokoyama, Yoh Yamashita, Toshifumi Minamoto \*：責任著者

掲載誌：Scientific Reports

DOI：10.1038/s41598-021-94286-2

### <参考図表>

写真撮影・作図はいずれも益田

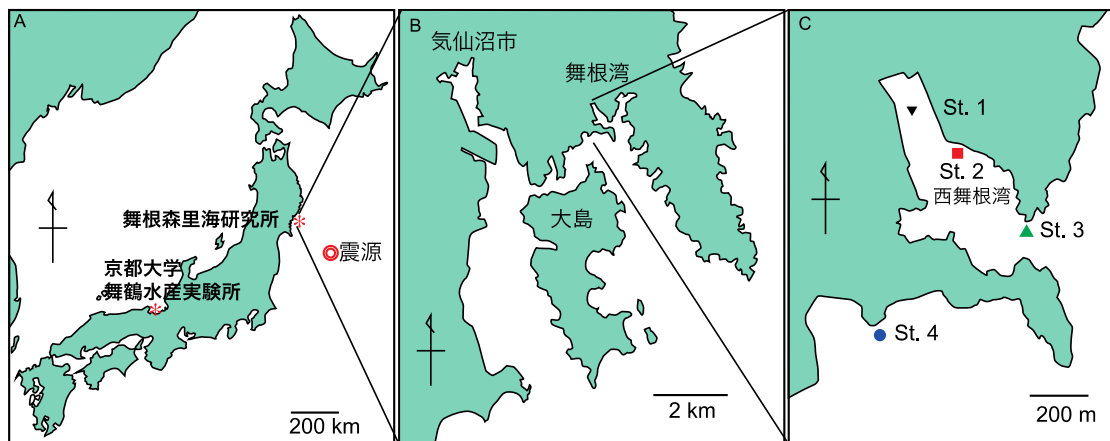
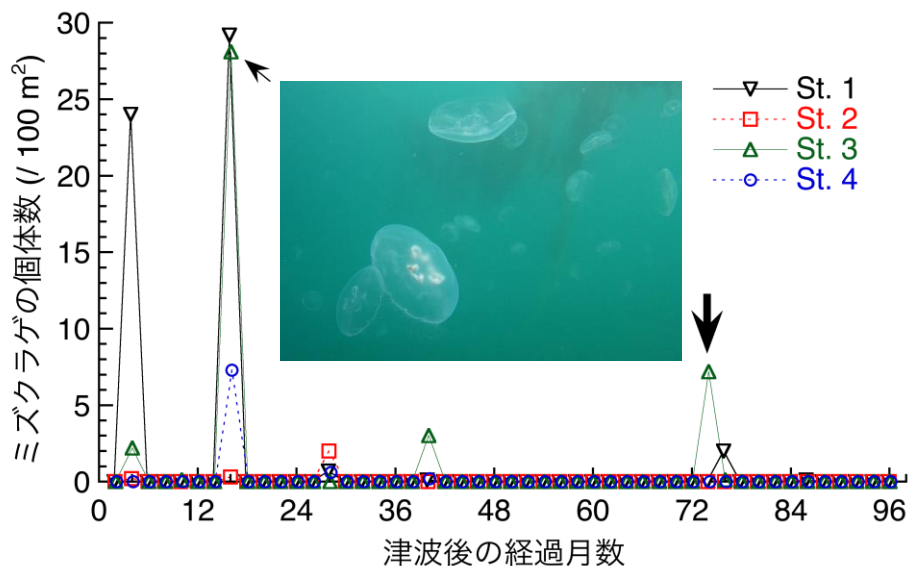


図2 調査地点の地図

図3 津波から8年間にわたる目視調査におけるミズクラゲの出現個体数。挿入写真は津波から1年4ヶ月後に撮影。下向き矢印は堆積物の採取時。なお、8年目以降、ミズクラゲは潜水中に見られていない。



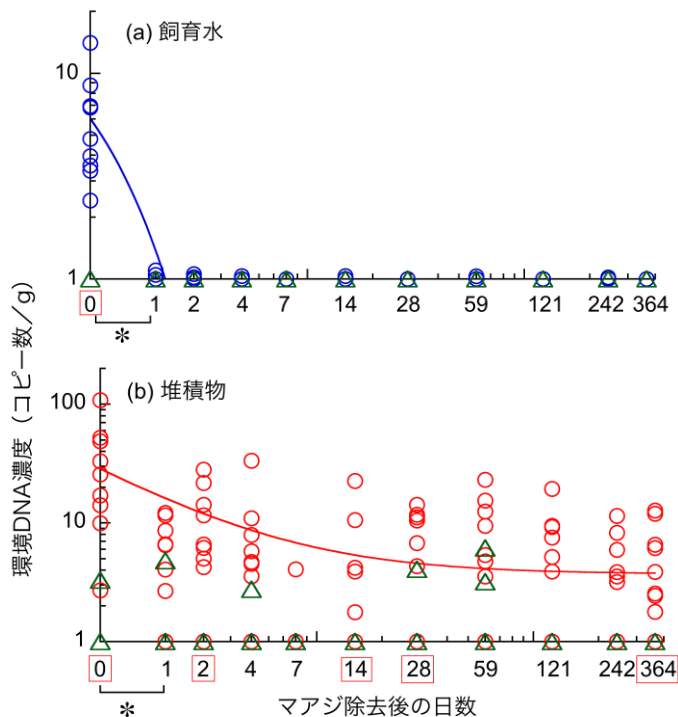


図4 水槽実験の結果。飼育水に含まれる DNA は魚を除去した翌日には検出できなくなるが、堆積物からは 1 年後にも検出できた。なお、\*は連続する 2 回の採取日での有意差、枠で囲った数字は魚を収容していない対照区との有意差を表す。



図5 潜水による堆積物コアの採取。



図6 堆積物コアの切断作業。アースウォッチジャパン主催事業の市民ボランティアおよび気仙沼高校の生徒さんらに手伝って頂いた。

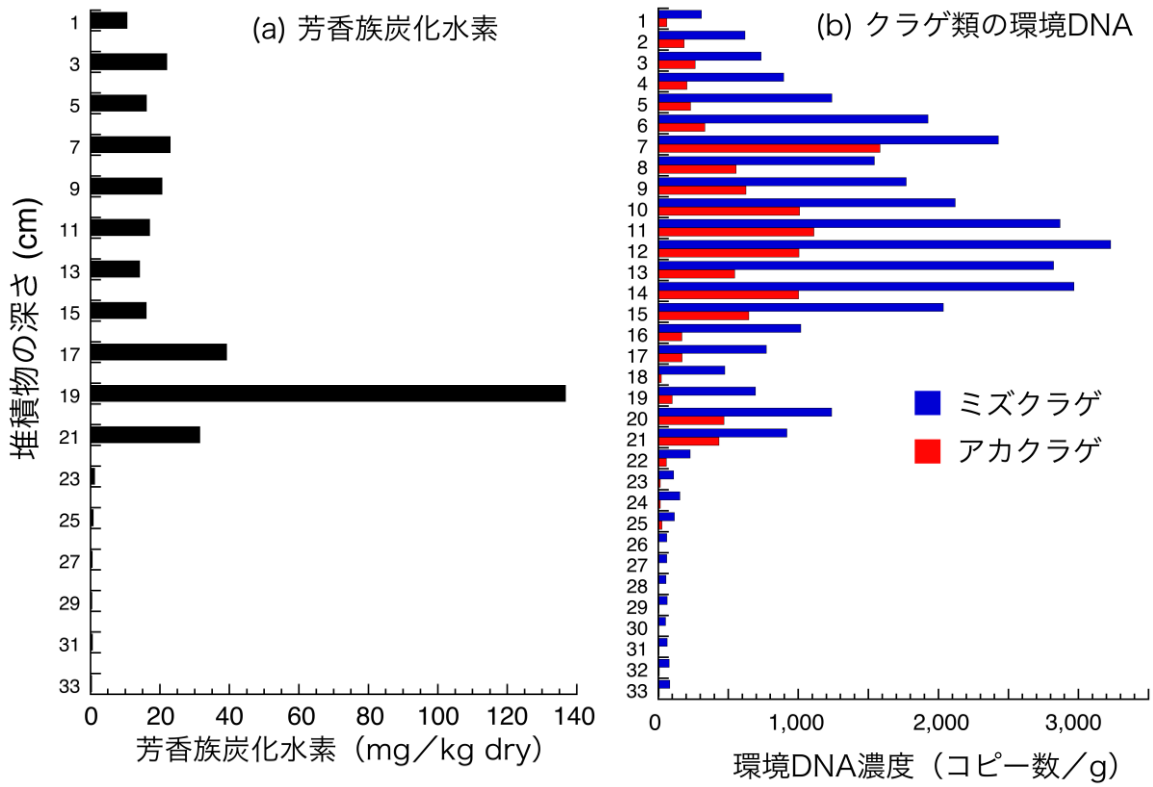


図7 St. 3の堆積物コアに含まれていた芳香族炭化水素およびクラゲ類の環境DNAの層別含有量。3本採取した中、最も長かったコアサンプルの分析結果を示す。