

2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波による 岩手県沿岸内湾域の底質変化

内記公明,^{1,2*} 山田美和,^{2,5} 加賀新之助,¹ 渡邊志穂,¹
神山孝史,³ 加戸隆介,⁴ 緒方武比古,⁴ 難波信由,⁴
林崎健一,⁴ 山田雄一郎,⁴ 山下哲郎^{2,5}

(2014年12月10日受付, 2015年2月8日受理)

¹岩手県水産技術センター, ²岩手大学大学院連合農学研究科,

³国立研究開発法人水産総合研究センター東北水産研究所,

⁴北里大学海洋生命科学部, ⁵岩手大学三陸復興推進機構

Spatial and temporal variation of sediment properties along the coast of the Sanriku District,
Iwate Prefecture, due to the tsunami generated by the Great East Japan Earthquake in 2011

KIMIAKI NAIKI,^{1,2*} MIWA YAMADA,^{2,5} SHINNOSUKE KAGA,¹ SHIHO WATANABE,¹
TAKASHI KAMIYAMA,³ RYUSUKE KADO,⁴ TAKEHIKO OGATA,⁴
NOBUYOSHI NANBA,⁴ KEN-ICHI HAYASHIZAKI,⁴ YUICHIRO YAMADA⁴
AND TETSUROU YAMASHITA^{2,5}

¹*Iwate Fisheries Technology Center, Kamaishi, Iwate 026-0001*, ²*United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Morioka, Iwate 020-8550*, ³*Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Shiogama, Miyagi 985-0001*, ⁴*School of Marine Biosciences, Kitasato University, Sagami-hara, Kanagawa 252-0373*, ⁵*Organization of Revitalization for Sanriku-region, Iwate University, Morioka, Iwate 020-8550, Japan*

To determine the effects of the tsunami generated by the Great East Japan Earthquake in 2011 on the environment of aquaculture farming grounds, we investigated environmental conditions of the sediment in nine bays along the Pacific Coast of northern Japan. Comparisons were made before and after the Earthquake and tsunami for the following variables: mud content (MC), chemical oxygen demand (COD), and acid volatile sulfides (AVS). The spatial and temporal distributions of MC, COD, and AVS varied with differences in geographic characteristics of the bay. The amount of open water in the bay decreased but the breakwater in the bay increased after the tsunami. Changes in MC, COD, and AVS were supported by the results of numerical simulations, and our results indicated that all three variables are good indicators for managing the environment of aquaculture farming grounds.

キーワード：化学的酸素要求量, 含泥率, 酸揮発性硫化物, 津波, 底質, 東北地方太平洋沖地震, 内湾性養殖場, 東日本大震災

岩手県沿岸の養殖場では、ホタテガイやカキなどの貝類養殖が盛んに行われている。これらの養殖形態は、人工の餌を与えることなく、海域の自然の生産力を利用した「無給餌養殖」として特徴づけられていることから、魚類養殖などの給餌型養殖に比べて残餌などによる水質

や底質への負荷が少ないという利点がある。また無給餌養殖の漁獲は陸域から沿岸域に流入した人為起源の栄養塩や有機物の負荷を定期的に回収するといった役割もあり、陸域と沿岸域をつなぐ物質循環を担う持続可能な養殖方法である。¹⁾しかし、これらの養殖形態において

も、養殖の過密化や長年の漁場行使で底質への有機物負荷が発生することによる漁場環境の悪化が観察されてきた。¹⁾ 漁場環境の悪化については水質と底質との関連があり、海底に堆積した有機物がバクテリアなどの微生物によって分解を受け、その際の酸素消費によって貧酸素水塊を発生させ、この条件で海底から無機態のリンや窒素の溶出が促進されるなど、底質は水質に大きな影響を与えることが知られている。²⁾ このことから、底質が水質に与える影響を把握するために、岩手県沿岸の養殖漁場では定期的な底質調査による漁場環境の変化が監視されてきた。³⁻⁴⁾

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の津波は、内湾の有機物汚濁のある海底泥や陸上の土砂等を大量に巻き込み移動したため、養殖場となっていた内湾域には有機物に富む泥や土砂等が大量に流入し、⁵⁾ 海底は浸食を受け巻き上げられた堆積物は湾外へ移動した¹⁶⁾と考えられる。そのため、各内湾の底質は大きく変化したと推察されるが、同一海域で過去の知見と詳細に比較した研究はない。今後、内湾域の養殖業の復興と養殖場の持続的な利用を図るためには、津波後の漁場環境変化の把握とその評価は重要である。

本研究では、東北地方太平洋沖地震により発生した津波によって、物質循環に関わる底質がどのような変化を受けたのかを明らかにするために、過去の底質に関する

情報がある岩手県の9湾で底質調査を行い、津波が内湾性養殖場の底質へ与えた影響とその特徴を明らかにした。

材料と方法

調査水域 岩手県の久慈湾、宮古湾、山田湾、大槌湾、釜石湾、唐丹湾、越喜来湾、大船渡湾、広田湾の9湾を対象とし、各湾に15地点の定点を設定した (Fig. 1)。これらの定点の位置は、津波前の調査地点の位置と原則として一致させた。また、これらの湾は地形的な特徴の違いで、湾口部が狭窄部となる地形の山田湾、外海に向かって開放的な地形の宮古湾・大槌湾・唐丹湾・越喜来湾・広田湾、湾口部に大型人工構造物を有する地形の久慈湾・釜石湾・大船渡湾に分類できる。湾口部の大型人工構造物とは、港湾に設置される湾口防波堤のことを示し、該当する湾は他の湾に比べて閉鎖性が高い水域である。

試料採取及び底質分析 2012年9月と10月及び2013年9月に各地点で行ったサンプリングデータを Table 1 に示す。採泥は、柱状採泥器 (内径 11 cm)、エクマンバージ型採泥器 (採泥面積 0.0225 m² または 0.04 m²) のいずれかをを用い、得られた海底堆積物の表層 2-3 cm 深を攪乱しないように採取しサンプル瓶に入れて保冷し、実験室に持ち帰った。実験室では、泥の多

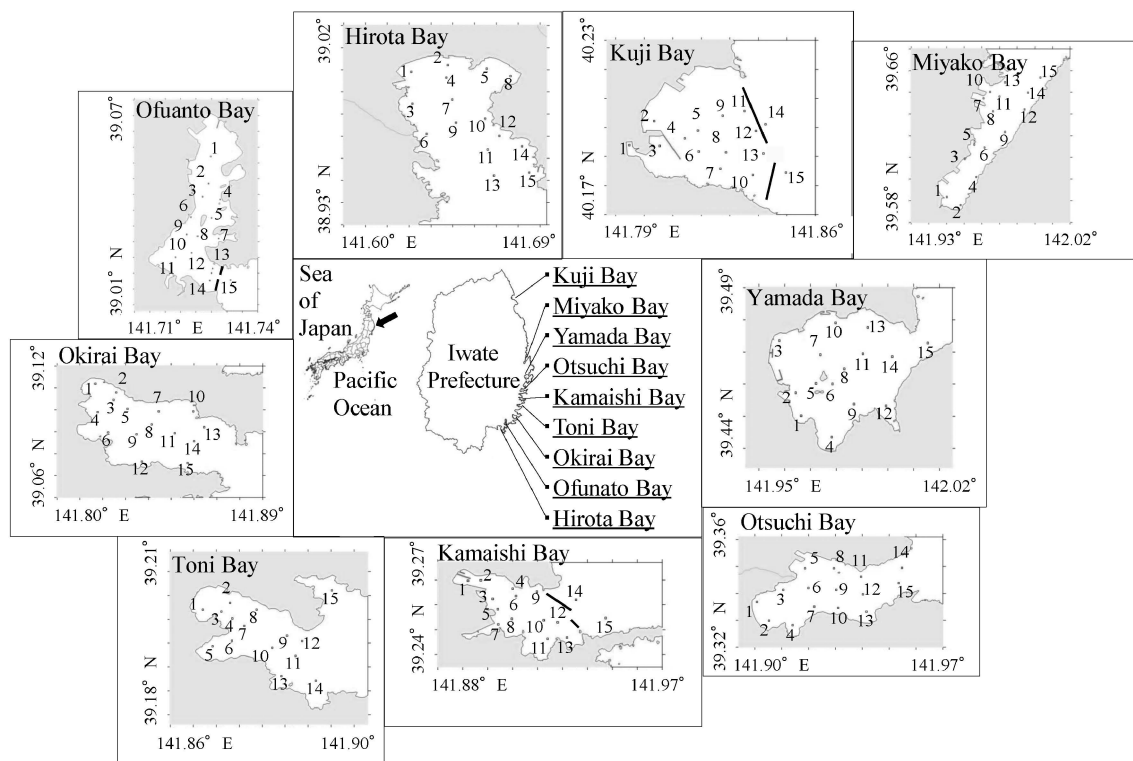


Fig. 1 The study area illustrating sampling points along the Pacific Coast of northern Japan. The black line of the bay mouth at Kuji Bay, Kamaishi Bay and Ofunato Bay indicates a breakwater.

Table 1 Sampling locations and characteristics of each site along the Pacific Coast, northern Japan

Sampling site	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Date of sampling	Depth (m)		Dissolved oxygen (mg L ⁻¹) ^a		Date of reference
				Range	Mean	Range	Mean ^b	
Kuji Bay	141.79–141.85	40.18–40.21	4, 5 Sep. 2012	7–31 ^b (8–27) ^c	20 ^b (20) ^c	6.7–8.1	7.5	5, 6 Oct. 2004
Miyako Bay	141.95–142.00	39.59–39.65	3, 10 Oct. 2012	2–43 (4–43)	16 (17)	4.4–7.1	6.4	25, 26 Sep. 2008
Yamada bay	141.96–142.00	39.44–39.48	6, 7 Sep. 2012	6–55 (10–46)	28 (30)	6.6–8.1	7.5	26, 27 Sep. 2007
Otsuchi Bay	141.90–141.95	39.33–39.35	8, 9 Sep. 2012	5–48 (7–45)	27 (26)	7.4–7.9	7.6	15, 16 Sep. 2009
Kamaishi Bay	141.89–141.95	39.25–39.27	13, 19, 20 Sep. 2012	16–62 (10–61)	35 (34)	6.7–8.7	7.4	16, 17 Sep. 2004
Toni Bay	141.87–141.90	39.19–39.21	10, 11 Sep. 2012	4–49 (1–41)	25 (21)	6.9–7.6	7.4	12, 13 Sep. 2005
Okirai Bay	141.82–141.86	39.08–39.11	24, 25 Sep. 2013	10–67 (5–63)	38 (32)	6.9–7.7	7.4	19 Sep. 2001
Ofunato Bay	141.72–141.74	39.02–39.06	13, 26 Sep. 2012	8–38 (14–39)	26 (28)	4.7–7.4	6.6	13, 14 Sep. 2006
Hirota Bay	141.63–141.69	38.95–39.00	20, 21 Sep. 2012	6–43 (5–41)	18 (18)	6.0–7.8	7.3	30, 31 Aug. 2010

^a Measured in the water at 1 m above the bottom.

^b The value shows the range and mean of 15 points in the bay from 2012 through 2013.

^c The value shows the range and mean of 15 points in the bay from 2001 through 2010.

さの指標として含泥率（63 μm 以下の粒径画分；MC）をふるいを用いる方法，⁶⁾ 有機物汚濁指標として化学的酸素要求量（COD）をアルカリ性過マンガン酸カリウム法，⁶⁻⁷⁾ および酸揮発性硫化物（AVS）を検知管法⁷⁾により測定した。また，採泥と併せて，海底直上1 mの層の海水をバンドーン採水器で採水し，ウィングラーアジ化ナトリウム変法（JIS K 0102（2008）32.1）または直読式総合水質計（AAQ176, JFE Advantec, Kobe, Japan）を用いて溶存酸素濃度（DO）測定した。

データ解析 津波前後で各指標値の変化を評価するために，2001年から2010年にかけて岩手県水産技術センターが行った9湾（久慈湾，宮古湾，山田湾，大槌湾，釜石湾，唐丹湾，越喜来湾，大船渡湾，広田湾）の調査結果⁴⁾から（Table 1），MC, CODおよびAVSの結果を抽出し，津波後の結果との違いを評価した。これらの違いの評価のため，湾の地形的な特徴の違いに基づいて，Type I（湾口が狭窄部となる地形）を山田湾，Type II（外海に向かって開放的な地形）を宮古湾・大槌湾・唐丹湾・越喜来湾・広田湾，Type III（湾口部に大型人工構造物を有する地形）を久慈湾・釜石湾・大船渡湾として分類し，対応のある地点の中央値の有意差検定（Wilcoxon signed-ranks test）を行った。⁸⁾ 各湾の水平分布図の作製には図形描画用ソフト（Surfer® ver. 11 Golden Software, LLC）を用い，地図情報は国土地理院の基盤地図情報を引用した。また，CODとMCやAVSの相関係数（Spearman's correlation coefficient by rank test）を求め，⁸⁾ 底質の性状変化を評価した。

結 果

MCの変化 各湾15地点のMCの中央値は，釜石湾は有意に増加（ $p < 0.05$ ）し，その他の湾では有意差が認められなかった（Fig. 2a）。MCが有意に増加していた釜石湾は，MCが50%を超える海域が津波前は湾の西側半分（St. 1–6）であったが，津波後は湾の全体（St. 1–8, 10–14）に拡大した（Fig. 3a）。有意差が認められなかった他の湾でも津波前後で水平分布は変化し，値が高い地点で大きく減少する傾向が見られ，最大値を示す地点が変わった湾も認められた。

CODの変化 津波前後における各湾15地点のCODの中央値は，山田湾，大槌湾，広田湾，久慈湾では津波後に有意に減少（ $p < 0.05$ ），釜石湾，大船渡湾では有意に増加（ $p < 0.05$ ）し，宮古湾，唐丹湾，越喜来湾では有意差が認められなかった（Fig. 2b）。津波前後におけるCODの水平分布の変化では（Fig. 3b），CODが有意に減少していた4湾については20 mg g^{-1} を超える海域は，1) 山田湾の場合，津波前には湾の奥部（St. 1–5, 9, 11–13）であったが，津波後には湾の中央部分（St. 1, 5, 7–9, 12, 14）に，2) 大槌湾の場合，津波前には湾の中央部分を中心に広く広がっていた（St. 3, 5–10, 12）が，津波後には湾の中央部分の限られた範囲（St. 5–6, 12）に，3) 広田湾の場合，津波前には湾の奥から中央部分に広く広がっていた（St. 4, 6–9, 11, 13）が，津波後には湾の中央部分の限られた範囲（St. 11）に，4) 久慈湾の場合，津波前には湾の中央部分に広く広が

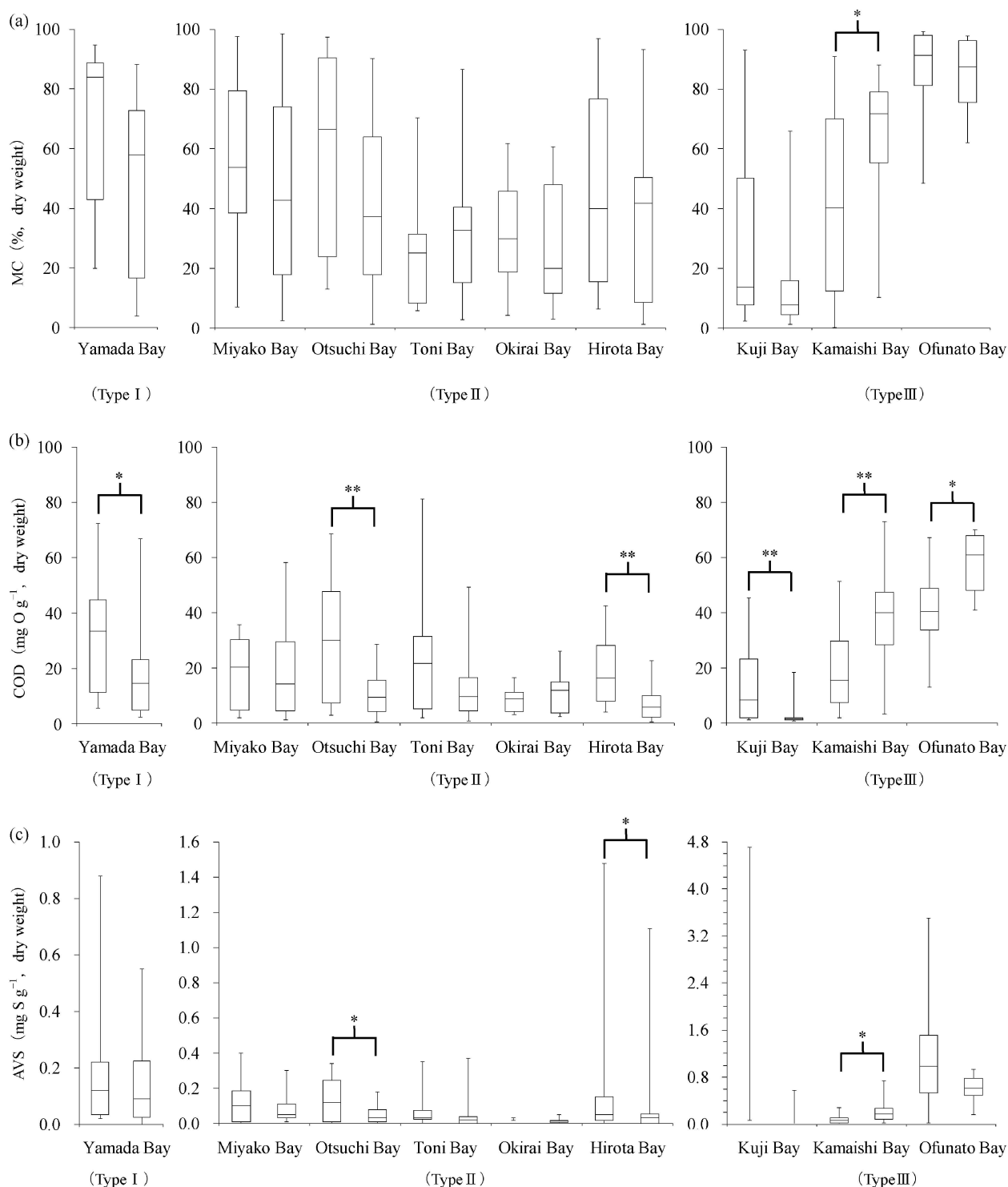


Fig. 2 Box-and-whisker plots of MC (a), COD (b), and AVS (c) of 15-each sediment samples collected from nine bays on the Pacific coast of northern Japan. MC = mud content (% • dry weight, <0.063 mm); COD = chemical oxygen demand (mg O g⁻¹ • dry weight) ; AVS = acid volatile sulfides (mg S g⁻¹ • dry weight). Left and right box plots of each bay indicate measurements during 2001–2010 and 2012–2013, respectively. Horizontal line in the box indicates median value. Boxes are drawn between the 25th and 75th quartiles, and the whiskers stretch to the maximum and minimum values of that variable. **p* < 0.05 ***p* < 0.01 (Wilcoxon signed-ranks test, two-tailed test).

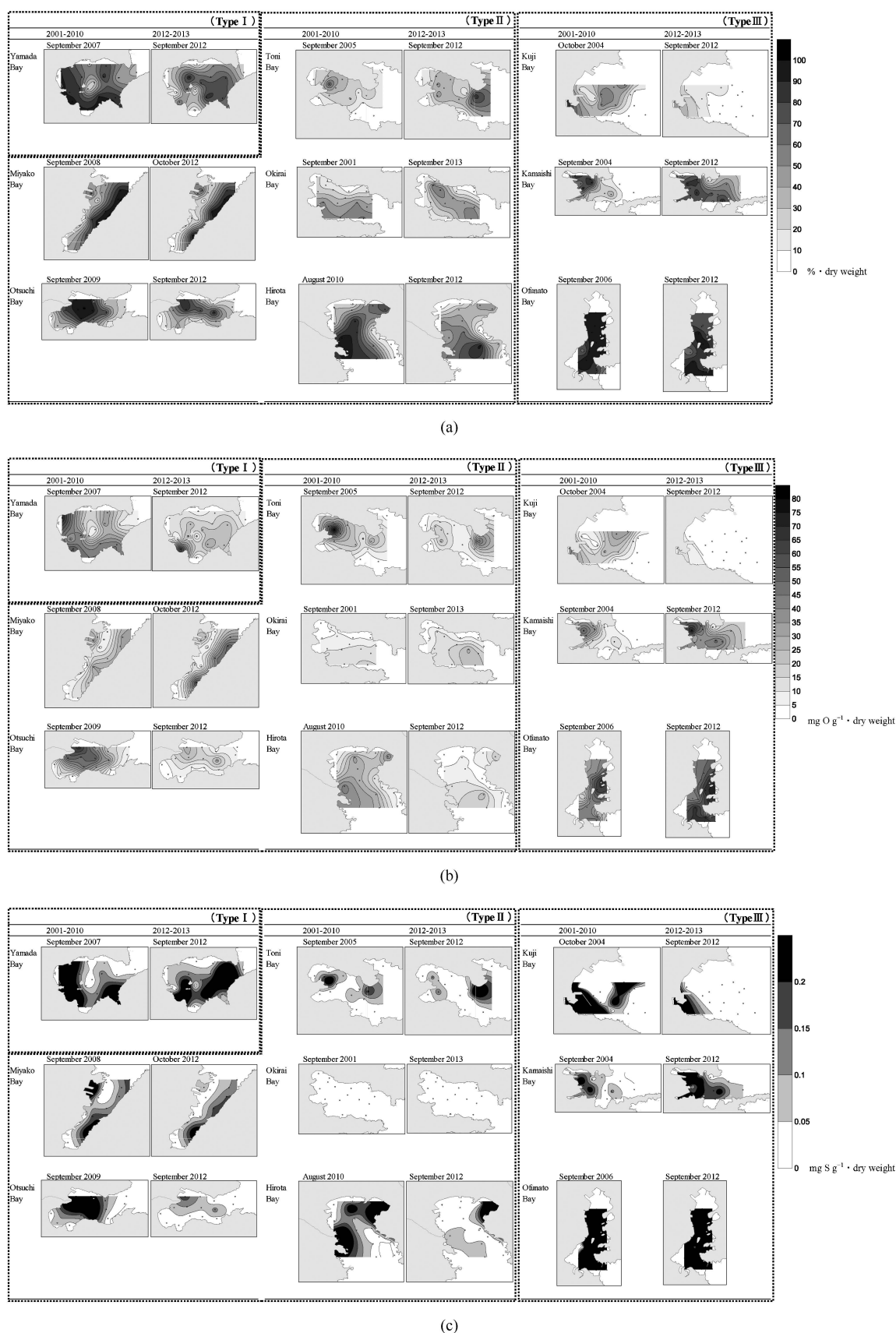


Fig. 3 Horizontal contour maps of MC (a), COD (b), and AVS (c) of the 15 sediment samples respectively collected from nine bays on the Pacific coast of northern Japan.

っていた(St. 1, 6, 9, 11)が, 津波後は見られなくなり, それぞれの範囲が縮小した。COD が有意に増加していた2湾について, 20 mg O g^{-1} を超える海域は, 1) 釜石湾の場合, 津波前には湾の西側半分(St. 1–6)であったが, 津波後には湾の全体(St. 1–8, 10–14)に, 2) 大船渡湾の場合, 津波前には数地点を除く部分(St. 9, 15以外の全地点)であったが, 津波後には湾の全体に, それぞれの範囲が拡大した。有意差が認められなかった他の湾でも, 津波前後で水平分布は変化し, MCと同様に値が高い地点で大きく減少した傾向が見られ, 最大値を示す地点が変わっていた。

AVSの変化 津波前後における各湾15地点のAVSの中央値を比較すると, 大槌湾, 広田湾では有意に減少($p < 0.05$), 釜石湾では有意に増加($p < 0.05$)し, その他の湾では有意差が認められなかった(Fig. 2c)。津波前後におけるAVSの水平分布の変化は(Fig. 3c), AVSが有意に減少していた2湾について, 0.20 mg S g^{-1} を超える海域は, 1) 大槌湾の場合, 津波前には湾の中央部分(St. 3, 5–6, 8–10)であったが, 津波後には見られなくなり, 2) 広田湾の場合, 津波前には湾の奥から中央部分に散在していた(St. 4–6, 8)が, 津波後には湾奥部分の限られた範囲(St. 8)に, それぞれの

範囲が縮小した。AVSが有意に増加していた釜石湾は, 0.20 mg S g^{-1} を超える海域が津波前は湾の奥部に散在している(St. 3, 8)程度であったが, 津波後は湾の西側半分(St. 1–3, 6–8, 12)に拡大した。有意差が認められなかった他の湾でも, 津波前後で水平分布は変化し, MCやCODと同様に値が高い地点で大きく減少した傾向が見られ, 最大値を示す地点が変わった湾も認められた。

CODとMC, AVSの関係 CODとMCの関係については, 多くの湾では津波前を示す ρ_1 と同様に津波後を示す ρ_2 も高い相関($\rho_2 = 0.79\text{--}0.98$)を示していたが, 大船渡湾では津波後に相関が低下し($\rho_2 = 0.58$), 釜石湾では有意な相関とならなかった(Fig. 4)。CODとAVSの関係については, CODとMCの関係と同様に, 多くの湾で津波後を示す ρ_2 も高い相関($\rho_2 = 0.62\text{--}0.96$)を示していたが, 津波後に久慈湾では相関が低下し($\rho_2 = 0.59$), 大船渡湾では有意な相関とならなかった(Fig. 5)。

底層のDO 津波後の底層における各湾15地点のDOの値は水産用水基準の 4.3 mg L^{-1} 以上を示し貧酸素化は確認されなかったが, 宮古湾(4.4 mg L^{-1})や大船渡湾(4.7 mg L^{-1})で低い地点が見られた。

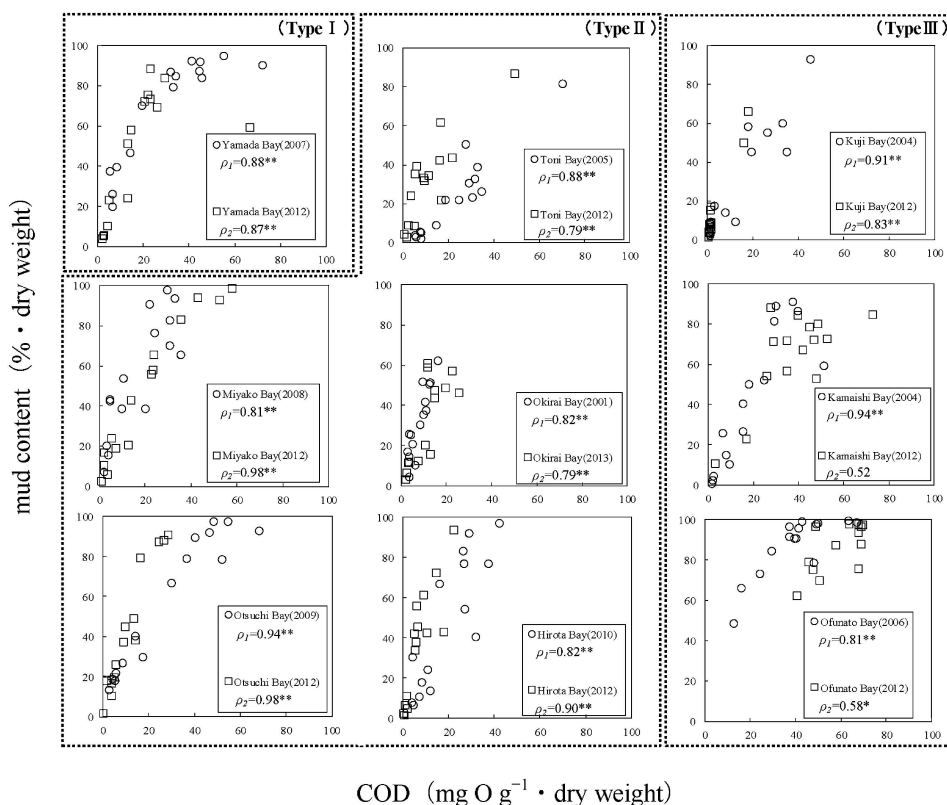


Fig. 4 Relationship between COD and MC of 15-sediment samples collected from nine bays on the Pacific coast of northern Japan. Circles and Squares represent measurements during 2001–2010 and 2012–2013, and their correlation coefficients are shown as ρ_1 and ρ_2 , respectively. * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ (Spearman's correlation coefficient by rank test, two-tailed test).

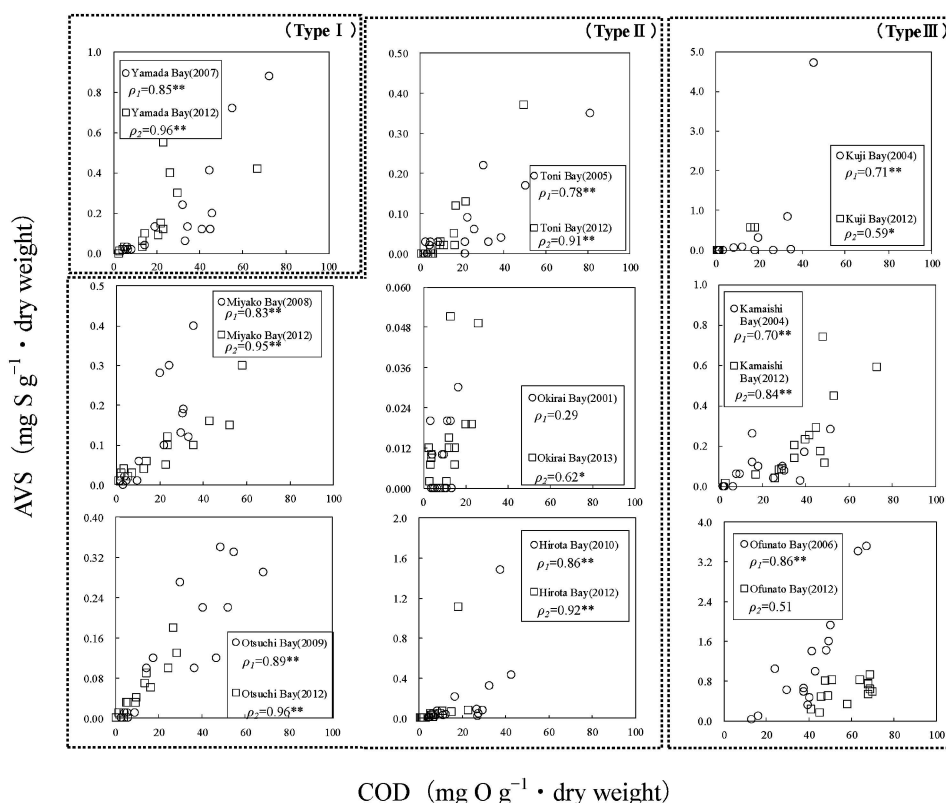


Fig. 5 Relationship between COD and AVS of 15-sediment samples collected from nine bays on the Pacific coast of northern Japan. Circles and Squares represent measurements during 2001-2010 and 2012-2013, and their correlation coefficients are shown as ρ_1 and ρ_2 , respectively. * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ (Spearman's correlation coefficient by rank test, two-tailed test).

考 察

津波前後の底質変化の特徴 本研究で底質変化の指標とした含泥率 (MC), 化学的酸素要求量 (COD), 酸揮発性硫化物 (AVS) は, 底質の状態を把握するために, これまで広く用いられてきた^{6,7,11,17,20}。津波前の 9 湾の多くにおいて, これらの項目は養殖場や港湾としての利用により, 粒度の細粒化, 高い有機物量や硫化物量の状況を示してきたが, 津波後は多くの湾で減少傾向が見られた。各湾での変化の特徴は, 湾の地形的な特徴により分類した, Type I (湾口が狭窄部となる地形), II (外海に向かって開放的な地形), III (湾口部に大型人工構造物を有する地形) で異なった。

Type I については, 山田湾の水平分布の比較から, 海底堆積物の湾外への流出と湾内移動が原因と考えられる変化が顕著に見られた (Fig. 3a-c)。津波前後の有意差が示されたのは COD であったが (Fig. 2b), これは閉鎖的な地形のため, 津波前に有機物の堆積が進行していた湾奥部や沿岸部の海底が, 津波による浸食を受けて減少したためと考えられた。MC や AVS は有意差が示されていなかったが (Fig. 2a, c), 減少傾向を示していたことから, COD と同様の影響を受けたと考えられる。

Type II については, 大槌湾や広田湾の水平分布の比較から, 湾口から湾奥まで湾全体の海底が浸食を受け, 海底堆積物が湾外へ流出したと考えられる (Fig. 3a-c)。唐丹湾の水平分布の比較から, 流出した海底堆積物が湾口の近くに移動したと考えられる変化も見られた。このグループの中で津波前後の変化として有意差が示されたのは, COD と AVS であった (Fig. 2b, c)。COD について, 有意差が示された大槌湾や広田湾は湾の奥部から中央部分に広く有機物が堆積しており, 津波によって湾全体の海底が浸食を受け大きく減少したためと考えられる。AVS について, 大槌湾や広田湾で有意差が示されたことから, 硫化物が高度に蓄積していたために COD と同様の影響を受けたと考えられる。

Type III については, 湾口部分に防波堤を有するが, いずれも津波により損壊した。⁹⁾ 釜石湾については, 津波の侵入時や引き波時には, 緩衝効果を発揮したことが報告されており,¹⁰⁾ 湾口部に防波堤を有する閉鎖的な地形構造が海底堆積物の流出に影響を与えたことが考えられる。釜石湾や大船渡湾では津波による浸食を受けて流入した土砂や攪拌された海底堆積物が湾内に堆積し, MC や COD が増加したものと考えられる (Fig. 2a, b)。一方で久慈湾では, 湾口防波堤が設置途上であ

ったことから閉鎖度が低く津波の緩衝効果も低く、海底堆積物の流出や移動に与えた影響が小さかったため、MCやCODの増加が起らなかったと考えられる。AVSは、底質悪化の指標として海底堆積物に含まれる硫化鉄や硫化水素などの還元型硫黄 (FeS-S , $\text{H}_2\text{S-S}$) の量を表しており、¹¹⁾ これらの硫化物は、内湾域のように海水から硫酸イオンが無限に供給される環境では、硫酸還元細菌により継続的に起こる硫酸還元的作用によって生成される。¹²⁾ 硫酸還元細菌は、海底堆積物における有機物分解の多くを担っていると考えられていることから、¹³⁾ 釜石湾では有機物量 (COD) が増加したことに伴い硫酸還元細菌の作用が大きくなり、硫化物 (AVS) も増加したものと推測される (Fig. 2c)。一方で大船渡湾は、CODが増加したにも関わらずAVSが減少傾向を示し、津波による攪拌の影響が窺われることの他に、津波前の大船渡湾は夏季の底層において貧酸素化が確認されていたが、¹⁴⁾ 湾口防波堤の損失による湾外水の断続的流入によって海底の溶存酸素の低下が起こらなかったことから、¹⁵⁾ 底層の溶存酸素が津波前に比べて増加し、底質が還元的な環境から酸化的な環境に傾き、AVSの底質への蓄積が津波前より減少したことが一因と考えられた。また、海底堆積物は津波によって少なくとも50 cmの深さまで攪乱を受けたことが示唆されており、¹⁵⁾ 底質中に蓄積された FeS-S や $\text{H}_2\text{S-S}$ が酸化的な環境に置かれたことで、AVSが減少したものと考えられた。

岩手県内湾では、波及した津波による湾内の流動構造と併せて海底堆積物の移動が数値シミュレーションモデルにより計算されており、今回のType Iの山田湾のように湾内が広がっており湾口が狭窄部となる湾では湾奥部沿岸が浸食を受けて湾央へ、Type IIの大槌湾のように湾口から湾奥までの幅がほぼ一様で開放的な湾では湾内全体が浸食を受けて一部湾外へ、Type IIIの大船渡湾のように細長く湾口部に防波堤が設置された人工物による閉鎖的な地形の湾では湾内全体が浸食を受けて均一化や一部湾口部分への移動が示唆されている。¹⁶⁾ 本研究結果はこの報告を支持するものであった。

底質の性状変化 各湾とも津波前は、MCやAVSは有機物量の指標であるCODと正の相関を示しており、有機物負荷を反映していたと考えられた。これは、海水の流れが弱く細かい粒子が堆積し易い場所には海底に沈降する有機物も堆積し易いことや、堆積した有機物の分解に酸素が消費された後の還元状態下では硫酸還元細菌の作用が強まることが要因と考えられた。津波後は多くの湾では、CODとMCやAVSの関係には、津波前と同様の高い相関が見られたが、久慈湾、釜石湾、大船渡湾のように相関が低下、消失した場合もあり、堆積物の性状が津波前後で変化した可能性が示唆された。これは、

Type IIIに分類した湾で顕著に見られた現象であり、湾口の人工構造物の消失という地形的な変化が、津波によって攪拌された堆積物の再堆積する過程に影響を与えたと考えられた。

有機物汚濁の把握と今後の漁場モニタリング 釜石湾および大船渡湾は津波後にCODが増加し有機物汚濁が生じていたことが明らかとなった。ただし底層の溶存酸素が水産用水基準 (4.3 mg L^{-1}) 以下の調査地点は見られなかった。水産用水基準では、CODが 20 mg O g^{-1} 、硫化物が 0.2 mg S g^{-1} という基準値が東京湾以西の海域で設定されており、岩手県沿岸の内湾域を含む北方系の海域では、この値以上であっても底質悪化による貧酸素化は発生し難いことが知られている。¹⁷⁾ これは海底付近の水温が低いために、酸素消費が抑制されるためだと考えられている。¹⁷⁾ また、福代らは、海底に堆積した有機物量が多いにも関わらず三陸リアス式湾では貧酸素化が生じない理由として、海水交換が活発であることを指摘している。¹⁸⁾ よって、津波によって底質へ有機物負荷が生じた湾においても直ちに貧酸素化する可能性は低く、無給餌養殖は弊害なく早期に回復できると考えられるが、貧酸素化に対しては用心すべきである。しかし、これらの養殖場は、津波による甚大な被害を受けた直後から今日まで養殖の再開が進められ、2014年4月時点の養殖施設の復旧・整備の進捗率は99.1%¹⁹⁾となっている。さらに、今後の本格的な養殖の再開が見込まれるため、養殖場の底質は今後も変化していくものと考えられる。また、近年頻繁に発生している猛暑による湾内の海水温の上昇傾向、湾口防波堤が再建されつつある湾の海水交換への影響を併せて考慮すると、養殖場の水質や底質は変化が続くものと考えられる。

本研究により津波後初めてMC, COD, AVSを指標として各湾における底質変化を把握することができた。ただしこれらの指標を用いて、変化した養殖場の底質が今後どのように変化していくのかを予測することは困難である。有機物汚濁が生じた海域の回復状況を知るためには、有機物の分解や硫化物の生成に深く関係し、海底堆積物中の酸化還元状態を把握するために硫酸還元細菌などを取り入れた新たな評価体系を構築していくことが必要である。そして、詳細な漁場モニタリングを継続して行い、底質が漁場環境へ与える影響を注視していくことが重要である。

謝 辞

本研究は、被害漁場環境調査事業 (水産庁)、東北マリンサイエンス拠点形成事業 (文部科学省)、漁場環境保全調査事業 (岩手県) の一環で行われました。本研究の推進にあたり、調査に協力いただいた沿岸地区漁業協同組合、いであ株式会社、岩手県水産技術センター調査

船北上丸，分析結果のまとめについてご助言いただいた元岩手大学農学部磯部公安教授，岩手大学農学部立石貴浩准教授，岩手県水産技術センターの諸氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 小橋乃子，高木 稔．海域での研究から：大槌湾．「養殖海域の環境収容力」（日本水産学会監修）恒星社厚生閣，東京．2006；49-64.
- 2) 左山幹雄．第11章沿岸堆積物における酸素の動態．「詳論沿岸海洋学」（日本海洋学会沿岸海洋研究会編）恒星社厚生閣，東京．2014；190-207.
- 3) 昭和50年度—平成5年度岩手県水産試験場年報．岩手県水産試験場，釜石．1975-1993.
- 4) 平成6年度—平成24年度岩手県水産技術センター年報．岩手県水産技術センター，釜石．1994-2012.
- 5) 片山知史．東日本大震災が海洋生態系や水産業に及ぼした影響．「水産海洋学入門」（水産海洋学会編）講談社，東京．2014；273-281.
- 6) 第4部海域の生物モニタリング調査，第2章2.底質調査．「漁場保全対策推進事業調査指針」（水産庁編）．1997；48-66.
- 7) 荒川 清．第5章底質調査法．「新編水質汚濁調査指針」（日本水産資源保護協会編）．1980；237-272.
- 8) 柳井久江．「4Steps エクセル統計（第3版）」オーエムエス出版，埼玉．2012；101-110.
- 9) 有川太郎，佐藤昌治，下迫健一郎，富田孝史，辰巳大介，廉 慶善，高橋研也．釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討—水理特性を中心とした第一報—．港湾空港技術研究所資料，独立行政法人港湾空港技術研究所，神奈川．2012；No. 1251：4-8.
- 10) 高橋重雄，戸田和彦，菊池喜昭，菅野高弘，栗山喜昭，山崎浩之，長尾 毅，下迫健一郎，根木貴史，菅野甚活，富田孝史，河合弘泰，中川康之，野津 厚，岡本修，鈴木高二郎，森川嘉之，有川太郎，岩波光保，水谷崇亮，小濱英司，山路 徹，熊谷兼太郎，辰巳大介，鷺崎 誠，泉山拓也，関 克己，廉 慶善，竹信正寛，加島寛章，伴野雅之，福永勇介，作中淳一郎，渡邊祐二．2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報．港湾空港技術研究所資料，独立行政法人港湾空港技術研究所，神奈川．2011；No. 1231：157-168.
- 11) 門谷 茂．硫化物の簡易測定法マニュアル．全国漁業協同組合連合会，社団法人全国かん水養魚協会．2002.
- 12) 山本民次．第9章河川改変が海の水質と生態系に与える影響．「川と海」（宇野木早苗，山本民次，清野聡子編）築地書館，東京．2008；112.
- 13) Jorgensen BB, Mineralization of organic matter in the seabed—the role of sulphate reduction. *Nature* 1982; **296**: 643-645.
- 14) 宮沢公明，早川康博．大規模構造物と環境収容力—人口構造物（大船渡湾湾口防波堤）が湾内に及ぼす影響—．沿岸海洋研究ノート 1994; **32**(1): 29-38.
- 15) 村上明宏，堺 茂樹，村上和男，中村由行，岡田知也，高尾敏幸，柴木秀之．東北太平洋沖地震津波後の大船渡湾の水質・底質の現状．土木学会論文集 B2（海岸工学）2013; **69**(2): 496-500.
- 16) 西 敬浩，八木 宏，神山孝史，杉松宏一，林健太郎，中山哲蔵．東北地方太平洋沖地震津波による三陸内湾域の流動構造と底質環境変化の把握．土木学会論文集 B2（海岸工学）2013; **69**(2): 286-290.
- 17) 日本水産資源保護協会編．「水産用水基準（2005年版）」2005；91-94.
- 18) 福代康夫，古谷 研，関口勝司，乙部弘隆．養殖海域における有機物負荷に関する研究．財団法人ソルト・サイエンス研究財団助成研究報告集．2000；365-375.
- 19) 復興実施計画における主な取組の進捗状況．岩手県復興局復興推進課，盛岡．2014.
- 20) 前田 勝．第8章第2節【1】水質・底質の指標と基準．「沿岸の環境圏」（平野敏行監修）フジ・テクノシステム，東京．1998；813.