

ノート

東日本大震災後の仙台湾南部海域における底質の変化

田邊 徹^{*1}・鈴木 矩晃^{*2}・山崎 千登勢^{*3}

Sedimentary Environment after the Great East Japan Earthquake in South Part of Sendai Bay

Toru TANABE^{*1}, Noriaki SUZUKI^{*2}, Chitose YAMAZAKI^{*3}

キーワード：仙台湾，底質，経年変化，東日本大震災

2011年に発生した東日本大震災は仙台湾の浅海の底質環境に大きな影響をもたらした。特に水深30 m以浅については津波による攪拌で均質化され，シルトが優先するエリアの増加が指摘されている。

仙台湾では，東日本大震災以前については夏期から秋期に湾内の低層水で貧酸素が発生しており，漁業被害もしばしば発生していた。特に仙台湾南部の海域では，貧酸素水塊の発生は底質の悪化と関連づけられている^{2,3)}。東日本大震災直後数年については貧酸素の発生が少なかったと言われているが，近年は夏期から秋期の貧酸素の発生が頻発しており，震災後数年を経て海洋環境の変化が示唆される。本報では2012年及び2018年に仙台湾南部海域において底質調査を実施した

結果より，震災後数年が経過した状態での環境の変化について考察したので報告する。

材料と方法

水質調査については2012年から2018年まで図1に示した9調査点において毎年4～10月に一回/月の頻度で行った。調査には調査船開洋を用い，多項目水質計(AAQ-RINKO, JFEアドバンテック株式会社)を用いて，水深毎に水温，塩分，溶存酸素を計測した。このうち，それぞれの調査点の底-1 mにおける溶存酸素濃

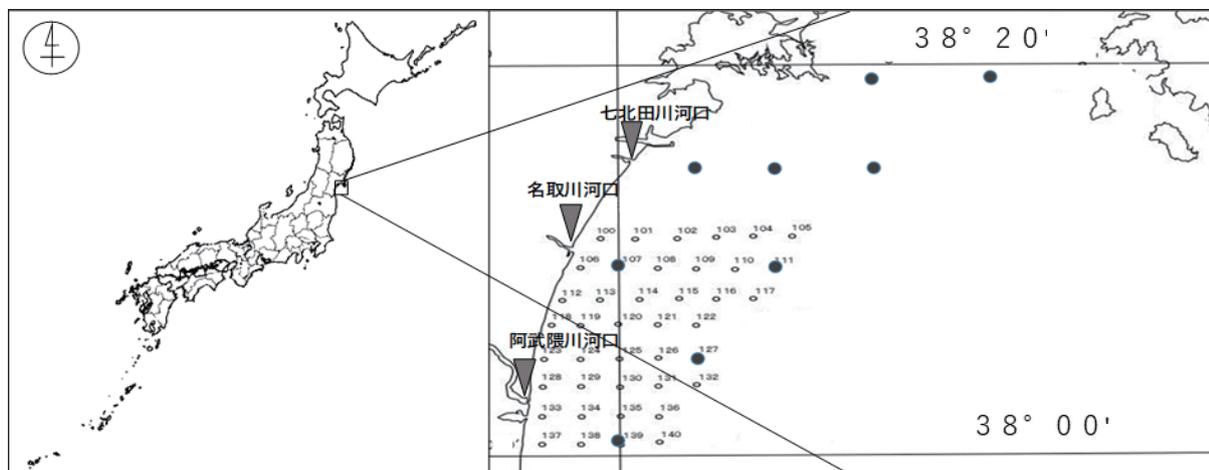


図1 調査点位置図

番号を示しているものは底質の調査点，やや大きな塗りつぶしの点は水質の調査点を示す。

^{*1}水産技術総合センター，^{*2}仙台地方振興事務所水産漁港部，^{*3}北海道立総合研究機構網走水産試験場

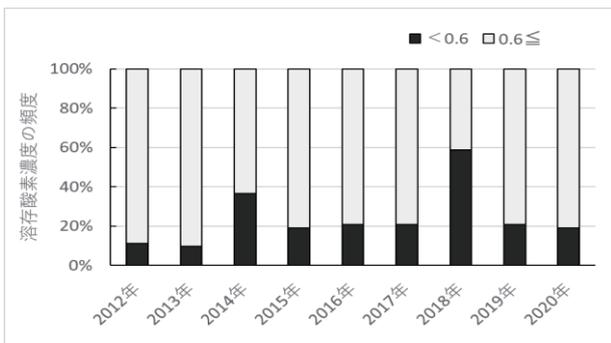


図2 4・10月に行った定期調査における硝酸素の確認された調査点の頻度

度を抽出し、水産用水基準⁴⁾で定める6.0 mg/lを下回るものを硝酸素の発生として各年の出現頻度を求めた。

2012年9月～10月にかけて図1に示した県内42地点でスミスマッキンタイヤー採泥器を用いて表土を採取した。また、2018年については8月～9月にかけて同様にスミスマッキンタイヤー型採泥器を用いて2012年と同様に底質を採取した。何れの調査においても表土については概ね表層から2～3 cmを採取し、分析を行うまで-20℃で保存した。分析については、既報³⁾に基づき、試料をよく攪拌した後、全硫化物、強熱減量、シルト含有率を求めた。なお分析方法については水質汚濁調査指針⁵⁾の方法に基づき、全硫化物はガス検知管法とし、検知管はガステック(株)製の硫化物H型を用いた。また強熱減量は試料を105℃で乾燥後、約5～10gをるつぼに入れ電気炉(約600℃)で2時間強熱する方法とした。シルト含有率は0.0625 mmメッシュのふるいを用いて分析した。

底質については、2018年と2012年のシルト含有率及び全硫化物の分布を比較するとともに、2018年と2012年における全硫化物及び強熱減量とシルト含有率との相関分析を行った。また、それぞれの成分について各地点の2018年と2012年の値の差をΔ(2018-2012)とし、各成分の正または負の数进行评估した。

また、シルト含有率の比較として、既報³⁾に基づき2009年に実施された調査のうち、今回の調査と同じ区画でシルト帯とされた部分について抽出し、今回の調査でのシルト含有率50%を上回る区画で比較した。

結果

水質調査の結果について図2に示した。2012年及び2013年は硝酸素の確認頻度は概ね10%であったが、2014年に37%となった後概ね20%を超える頻度で確認され、特に2018年59%は非常に高い頻度で確認された。

底質分析の結果について表1に示した。2012年及び2018年の結果については、全硫化物はそれぞれ0～1.2及び0～1.3%、強熱減量はそれぞれ0.9～16.3%及び0.7～7.6%、シルト含有率はそれぞれ0.5～98.5%及び0.8～98.2%であった。試験区のシルト含有率の分布について図3に示した。2012年では区間北部の岸側のSt.100でシルト含有率が低く25%を下回ったが、沖では75%を超える値であり、多くのエリアがシルト含有率50%を超えるシルト帯と判断された。また区間中

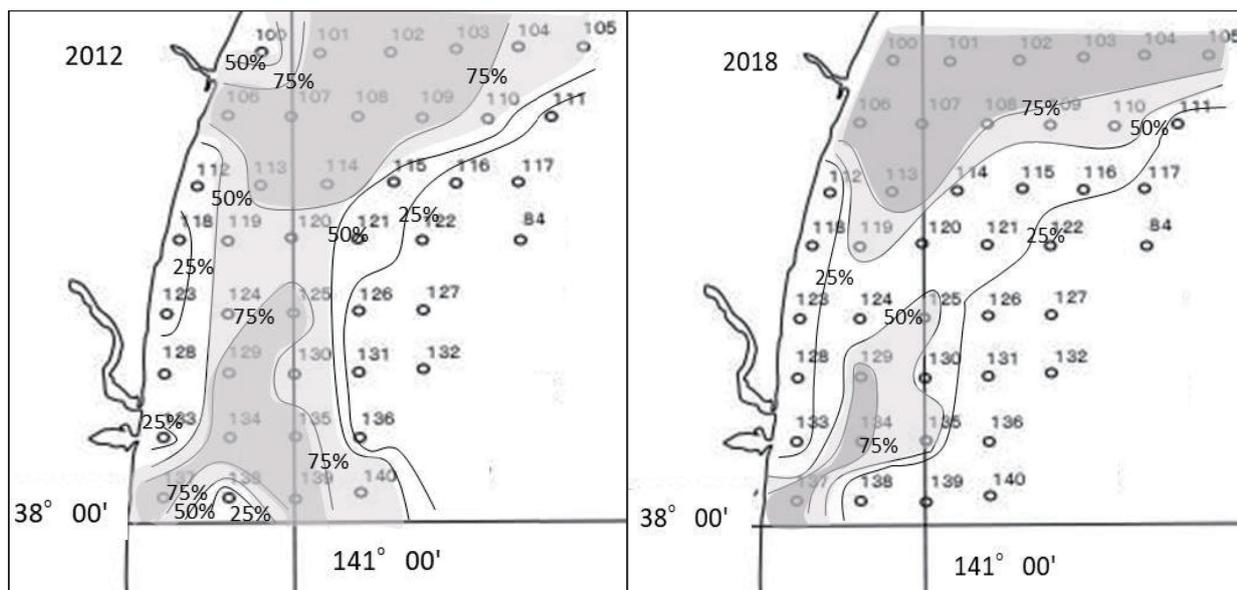


図3 2012年及び2018年の各調査点におけるシルト含有率の分布
網掛け部分はシルト含有率が50%を超えるシルト帯を示し、特に濃い網掛けはシルト含有率75%を超える高いシルト含有率の区域を示す。

表 1 2012 年及び 2018 年の底質調査結果

2012				2018年			
St.	全硫化物 (mg/dry.g)	強熱減量 (%)	シルト含有率 (%)	St.	全硫化物 (mg/dry.g)	強熱減量 (%)	シルト含有率 (%)
84	<0.1	1.7	6.08	84	<0.1	0.9	7.3
100	<0.1	3.9	27.51	100	0.9	6.4	96.9
101	0.1	7.5	88.24	101	1.3	3.1	85.1
102	1.2	7.5	98.51	102	1.3	4.4	95.4
103	0.4	8.9	91.99	103	0.6	3.7	98.2
104	<0.1	4	54.07	104	0.2	2.7	79.7
105	<0.1	4.2	72.17	105	0.1	2.8	80.6
106	1	8.1	89.08	106	0.6	5.5	97.6
107	0.2	8	96.64	107	0.1	3.2	90.1
108	0.2	6.7	93.99	108	0.1	2.7	74.9
109	0.1	6.9	89.67	109	0.2	3.0	70.9
110	<0.1	3	51.73	110	0.1	2.7	63.3
111	<0.1	1.2	2.56	111	<0.1	2.0	22.5
112	<0.1	2.5	13.7	112	<0.1	1.3	13.5
113	0.2	8.8	95.35	113	0.8	7.6	97.0
114	0.5	10.3	94.53	114	0.1	1.5	25.2
115	<0.1	3.6	40.15	115	<0.1	1.2	30.3
116	<0.1	1.6	7.12	116	0.4	0.7	34.7
117	<0.1	1.5	6.78	117	<0.1	0.8	17.4
118	<0.1	0.9	0.49	118	<0.1	0.7	8.6
119	<0.1	5.6	66.83	119	<0.1	2.4	60.7
120	<0.1	4	57.23	120	<0.1	1.8	27.7
121	<0.1	3.7	41.52	121	<0.1	0.7	35.9
122	<0.1	1.6	5.69	122	<0.1	0.8	15.3
123	<0.1	1.9	6.91	123	<0.1	1.0	15.3
124	<0.1	5	60.06	124	<0.1	2.3	49.1
125	0.7	16.3	93.08	125	0.2	2.5	66.9
126	<0.1	1.6	1.94	126	<0.1	3.3	5.1
127	<0.1	1.1	2.48	127	<0.1	1.2	1.5
128	<0.1	2.9	26.46	128	<0.1	1.2	17.0
129	0.2	7.1	87.07	129	0.8	5.7	89.8
130	0.1	7.1	62.5	130	0.1	4.8	46.6
131	<0.1	1.6	2.06	131	<0.1	1.5	1.8
132	<0.1	1	2.04	132	<0.1	2.8	0.8
133	<0.1	2.9	21.42	133	<0.1	1.0	6.1
134	0.1	7.6	92.89	134	1.2	2.1	88.9
135	<0.1	5.3	81.45	135	0.3	2.7	70.8
136	<0.1	1.1	1.95	136	<0.1	2.5	1.8
137	0.7	9.3	95.82	137	0.5	4.0	76.3
138	<0.1	2.6	6.02	138	<0.1	0.8	6.6
139	0.3	6.4	85.18	139	<0.1	0.7	12.1
140	<0.1	5.1	60.7	140	0.1	1.9	1.5

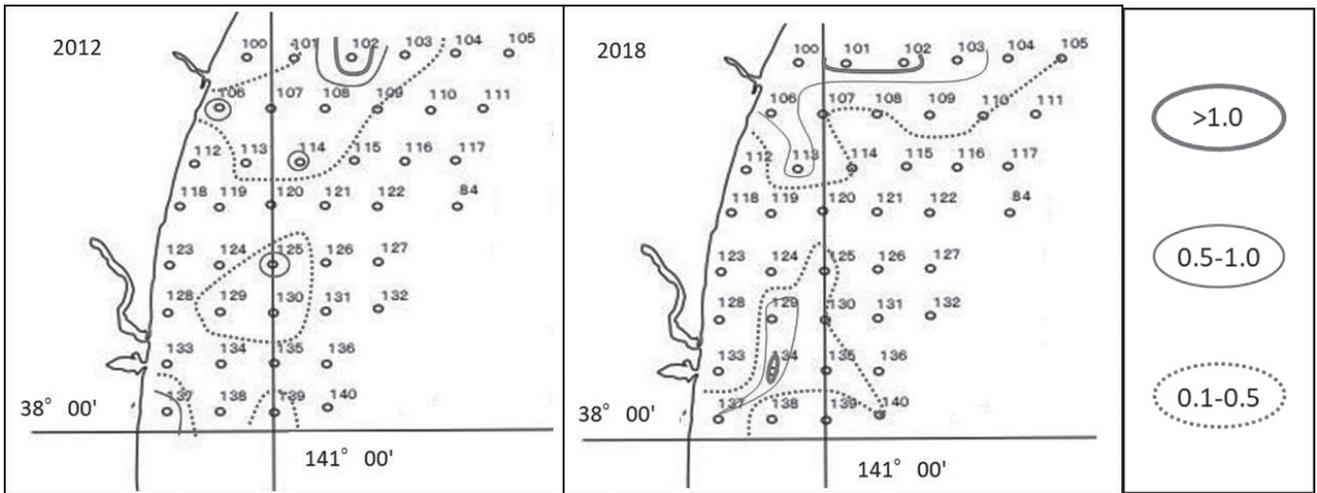


図4 2012年及び2018年の全硫化物(mg/dry.g)の分布

表2 各調査点における項目の2018年と2012年の比較

Δ(2018-2012)	シルト含有率	強熱減量	全硫化物
0 <	17	6	20
< 0	25	36	7
=0	0	0	15

中央でも同様の傾向にあったが、この区間の沖合では50%を下回り低下する傾向にあった。2018年では区間の北側にほぼ一様に75%を超える非常に高いシルト含有率のエリアが確認された。一方、南側の阿武隈川河口周辺では2012年では一部St138を除き沖側まで75%を超える非常に高いシルト含有率のエリアが確認され、多くのエリアでシルト帯と判断されたものの、2018年では特に沖側でシルト含有率は低下する傾向にあり、25%を下回る地点の増加が確認された。なお岸側については何れの年においてもほとんど変化は見られず、多くの地点で25%を下回った。全42地点において、シルトと判断された地点は2012年では23点であったが、2018年は18点であった。雁部らの報告¹⁾にあった2009年の同地点におけるシルトの優先していた地点は15点であり、2012年に増加傾向を示した後2018年には減少傾向が確認された。

全硫化物の分布については2012年では1.0 mg/dry・gを超える地点は1点であったが2018年では3点であり、また0.51 mg/dry・gを超える地点も、2012年では散発的であったが、2018年では連続的に確認された(図4)。

各地点における各成分の2012年と2018年の関係について図5に示した。各成分の2018年と2012年の全硫化物($r=0.50$)、強熱減量($r=0.47$)及びシルト含有率($r=0.79$)の何れも有意な正の相関が確認された。

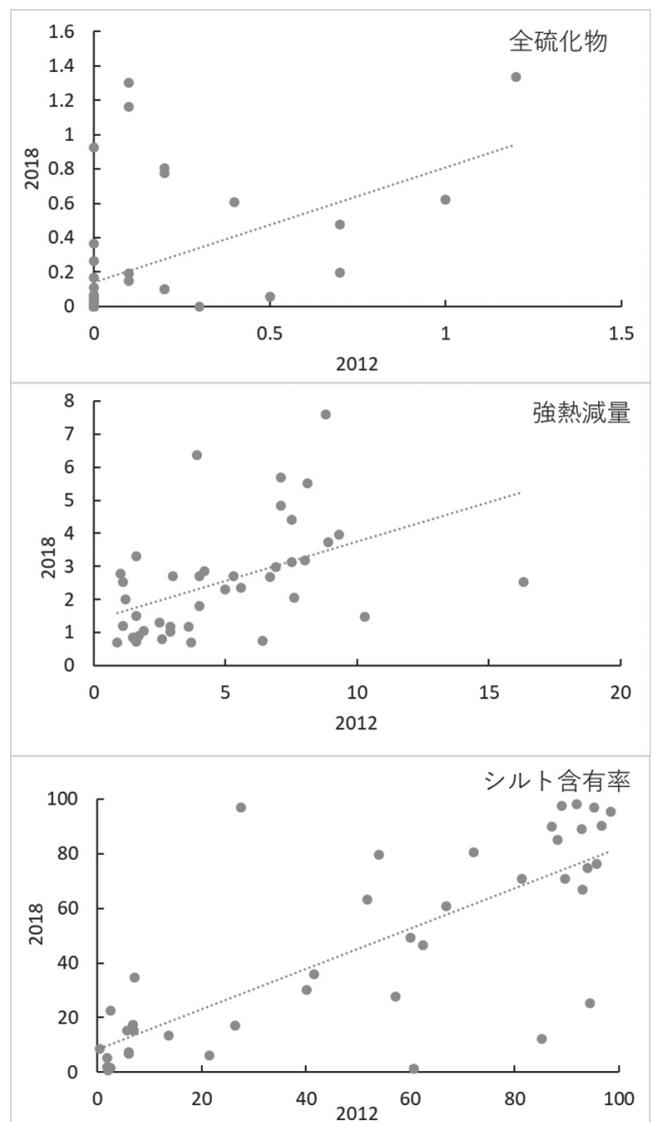


図5 それぞれの調査点における2012年と2018年の分析結果の関係

全硫化物： $r=0.50(p<0.01)$ ，強熱減量： $r=0.47(p<0.01)$ ，シルト含有率： $r=0.79(p<0.01)$

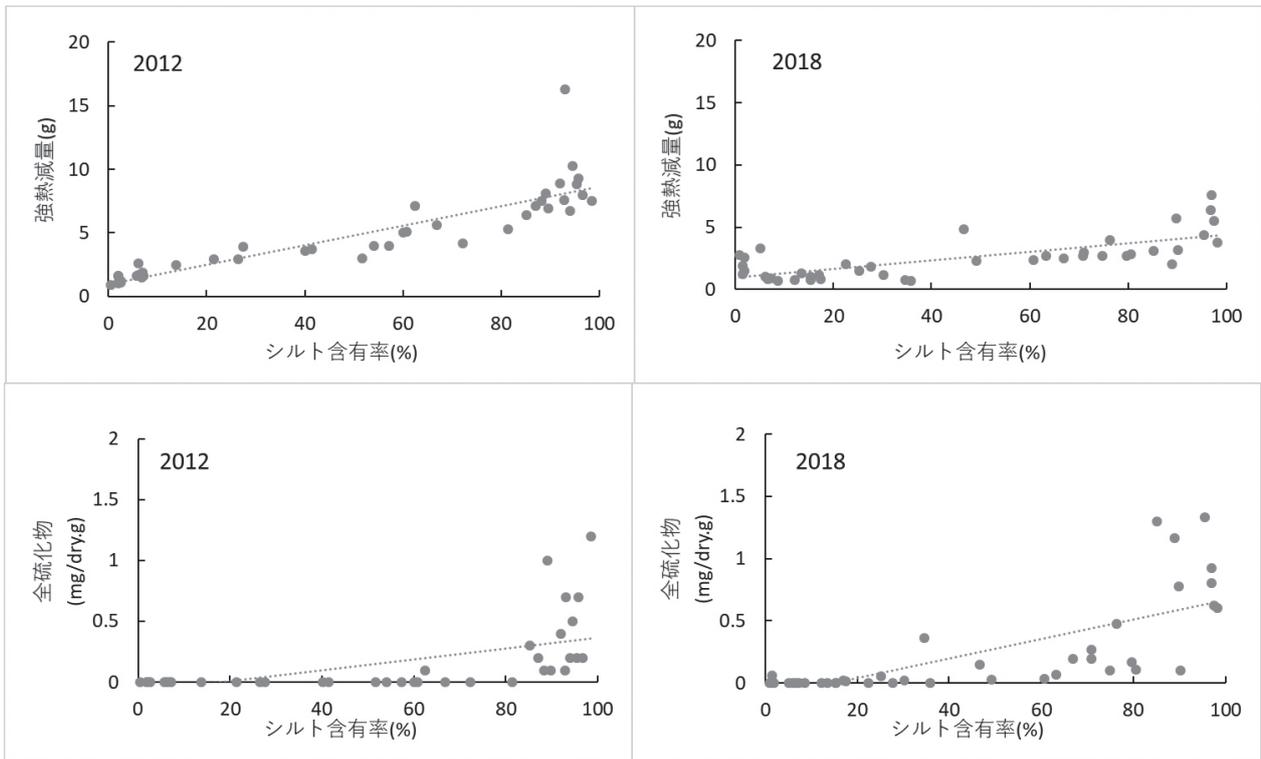


図6 2012年及び2018年のシルト含有率と強熱減量及び全硫化物との関係
 2012年：強熱減量 vs シルト含有率, $r=0.88$ ($p<0.01$), 全硫化物 vs シルト含有率, $r=0.68$ ($p<0.01$)
 2018年：強熱減量 vs シルト含有率 $r=0.73$ ($p<0.01$), 全硫化物 vs シルト含有率 $r=0.73$ ($p<0.01$)

点, 負を示した地点が7点, 0と変わらずであった点が15点であり, 2018年は2012年と比べ48%の調査点で増加となった(表2)。

それぞれの項目の相関関係を図6に示した。何れの年についてもシルト含有率と強熱減量及び全硫化物については有意に正の相関が見られた。ただ, 2012年の結果ではシルト含有率及び強熱減量との相関係数は, 全硫化物とのそれよりも有意に高かった。一方, 2018年の結果では何れの相関係数にも有意な差は見られなかった。

考 察

仙台湾については, 東日本大震災前後での底質の変化について報告があり, 震災によってシルト帯の面積が増加し, また均一化が見られたと報告されている。2009年における本調査と同じ地点のシルト帯の分布図を図7に示す。本調査の調査点と同様の地点における2009年における本調査と同じ地点におけるシルトが優先する地点の数は2012年にかけて著しく増加し, シルト帯の面積の増加を示しているが, 2018年には減少傾向にあったことから震災によりシルトが堆積した地点でも, 時

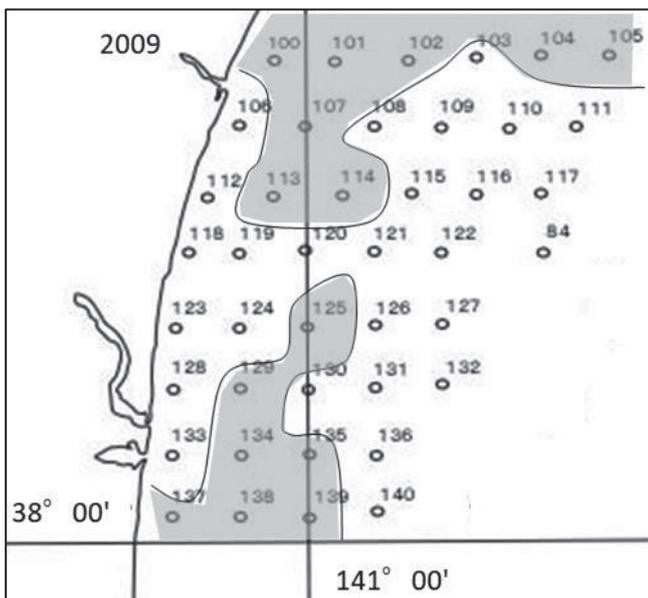


図7 2009年のシルト帯の分布状況
 雁部ら¹⁾一部改変
 図中網掛け部分がシルト帯

各調査項目の比較では, シルト含有率, 強熱減量については, $\Delta(2018-2012)$ は負の値を示した地点が多く, 2018年では2012年に比べ減少傾向にある地点が多く見られた。しかし, 全硫化物は正を示した地点が20

間の経過とともに底質の変化が進みつつあるものと推察される。

2012年の分析結果と2018年の分析結果では、シルト含有率、強熱減量、全硫化物の何れも正の有意な相関が見られ、2012年と2018年では底質の傾向は大きくは変わっていないといえる。しかし、2012年と2018年の差を示す $\Delta(2018-2012)$ で、シルト含有率及び強熱減量で何れも負の値を示している。つまり、2012年に比べ多くの地点で値が減少していることを示している。一般に、強熱減量は、シルト含有率と相関を示すことが多く、事実本調査の結果でも高い相関を示していることから強熱減量の値の減少は、シルトが優先する地点が減少し、多くがより粒径が大きい砂などに变化したためであると考えられる。

一方、全硫化物については2018年が2012年を上回る地点が多く、2018年の分布は区間北側の名取川河口周辺や、南側の阿武隈川河口沖で増加している傾向にある。全硫化物についても一般的にシルト含有率と相関を示すことが多いとされる。強熱減量と全硫化物は何れも有機負荷の指標とされているが、両者で増減が異なる結果となったことは非常に興味深い。2012年のシルト含有率と他の成分との相関係数では、全硫化物のみ有意に低かったが、2018年では有意差が見られなかった。強熱減量には、強熱の過程で有機物以外にも貝殻の主成分である炭酸カルシウムなどの分解も含まれる⁷⁾。つまり、強熱減量は底泥に含まれる物質の無機成分にも影響を受けるものと考えられる。つまり、底質の基本的な物質組成が変化せず、有機物のみが堆積するような環境下では強熱減量も有機物の指標とすることができると考えられる。雁部は東日本大震災の津波により海底の底質が均質化したことを報告している⁸⁾。東日本大震災は一時的な大きな底質の物理性状の変化をもたらしており、今回、確認された強熱減量は経年的な有機物負荷の指標としては十分ではないと考えられる。以上より本研究の測定項目の内、全硫化物の増加が2012年に均質化した底質の無機環境や物理的な環境が、数年経過するなかで底質の堆積状況に応じて物理的性質の変化が進むとともに特に有機物などの流入により、底質の有機負荷も増加してきていること示しているものと推察される。有機物に関してはCOD等の指標もあるが、今回の試料では分析対象とはしておらず、今後は有機物負荷の変遷の

ための指標を複数分析する必要があるものと考えられる。

2012年及び2013年では10%程度であった仙台湾底層水の貧酸素の確認割合は、2014年以降頻度が増加し、年による増減はあるものの、概ね2倍以上の頻度で推移している。岩井は仙台湾の貧酸素の発生要因を底質悪化等との関連で説明している⁹⁾。近年の貧酸素の発生頻度の増加は全硫化物の増加に見られる底質の有機負荷の増加によるところも大きいものと推察される。

2011年に発生した東日本大震災でシルト含有率などの仙台湾の底質の物理性状は大きく影響を受け、仙台湾南部ではシルト帯が拡大したが、震災後7年が経過し、シルト帯は縮小傾向を示した。これは仙台湾の地形に基づく変化と考えられ、今後も底質の物理性状は変化していくものと考えられる。震災以前の状況に戻るかは不明であるが、物理性状の変化は漁業の操業形態や対象魚種にも影響を及ぼす重要な変化であり、今後も定期的に把握することが重要である。

要 約

- 1) 東日本大震災直後の2012年とその後の2018年に実施した仙台湾南部海域の底質を比較した。
- 2) シルト含有率や強熱減量は減少傾向にあったが、全硫化物は増加傾向にあり、有機負荷は増加傾向にあった。
- 3) 震災後に広がったシルト帯は縮小傾向にあった。
- 4) 底質の有機負荷の増加は2014年以降発生割合が増加している貧酸素の要因として推定された。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、水産技術総合センターの環境調査担当者の皆様の経年的なご尽力に感謝申し上げます。また、調査の遂行において航行と調査の安全な実施に多大な功績をいただきました調査船開洋の乗組員にも深謝致します。

本研究は、長期間にわたる継続的な環境モニタリングの結果示されたものであることを追記し感謝の言葉と致します。

参考文献

- 1) 雁部総明・太田裕達・鈴木矩晃・伊藤絹子・佐々木浩一・猪股恭平・中川遼太郎(2014) C, N量及びC, N安定同位体比の比較から推定された東北地方太平洋沖地震の津波による仙台湾の海底表層土の挙動, 宮城水産研報, 14, 1-10.
- 2) 岩井拓郎 (2004) 近年の仙台湾における貧酸素水発生状況と発生要因の検討, 宮城水産研報, 4, 1-12.
- 3) 岩井拓郎 (2008) 仙台湾中南部沿岸域における貧酸素水塊発生要因の検討, 宮城水産研報, 8, 5-13.
- 4) 水産用水基準(2000年版) 社団法人日本水産資源保護協会.
- 5) 水質汚濁調査指針(1980) 日本水産資源保護協会編, 恒星社厚生閣.
- 6) 太田裕達, 鈴木矩晃, 雁部総明(2017) 松島湾における東日本大震災前後の底質環境について宮城水産研報, 17, 35-41.
- 7) 佐藤善徳・捧一夫・木全裕昭(1987) 浅海の底質の強熱減量測定法の改善, 東海水研報, 123, 1-13.