

海底表層土の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 分布から推定した東北地方太平洋 沖地震の津波に伴う仙台湾への陸土の流入

雁部総明*¹・太田裕達*¹・伊藤絹子*²・佐々木浩一*²・松本奈々子*²・小関由基*²

Land soil brought into Sendai Bay by Tsunami caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake,
based on distribution of C and N Stable Isotope Ratios

Somei GAMBE*¹, Hiroto OOTA*¹, Kinuko ITO*², Koichi SASAKI*², Nanako MATSUMOTO*²
And Yuki KOSEKI*²

キーワード：仙台湾，津波，陸土流入， $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$

著者らは前報で，仙台湾全域での海底表層土のC，N量（C量は全有機炭素量，N量は全窒素量である。以下同じ。）調査データの震災前後での比較から，平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震での津波による仙台湾での海底表層土の挙動を推定した（雁部ら¹，以下前報と記載）。この中で，C/N比の分布の比較からは，仙台湾での海底表層土の津波による攪乱が原因と考えられる全湾的な均一化と石巻地先海域や県南地先域への陸土の流れ込みが推定された。特に，県南地先域では8地点で別途採取した海底表層土のC，N安定同位体比（炭素では $\delta^{13}\text{C}$ ，窒素では $\delta^{15}\text{N}$ と表記）のデータも調べ陸土の影響が示されたところであるが，仙台湾全体での陸土の影響の推定については， $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ による裏付けが未実施であった。

そこで今回，著者らは前報でC，N量の分析に用いた海底表層土の前処理済みサンプルを用いて $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ を測定し，この結果などから分布図を作成して，仙台湾への陸土の流れ込みの状況を確認したので報告する。

材料と方法

$\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ の測定には，前報¹でC，N量の測定を

行うのに使った仙台湾の140調査点（図1）での1N塩酸処理済みのサンプルを用いた。計測は東北大学の同位体比質量分析計（FinniganMat 社製DELTA plus）で行った。

測定結果は海洋データ解析プログラムOcean Data View²を用いて， $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ それぞれの等値線図を作成した（図の緯度経度表示は解析プログラムによるため，調査点図の表記方法とは異なる）。また，平成22年に東北大学が仙台湾沿岸域の70調査点（図2）で採取した海底表層土を同様に測定した $\delta^{13}\text{C}$ データ（未発表）を用いて，同様に等値線図を作成した。これらと前報¹で作成したC/N比の等値線図を用いて海底表層土への陸土の影響を推定した。

陸土の影響については， $\delta^{13}\text{C}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ それぞれについて次のような基準で判断した。 $\delta^{13}\text{C}$ の値は，河川を通して陸から運ばれる粒子状有機物と海洋表層の懸濁有機物では，それぞれ概ね $-30 \sim -25 \text{ ‰}$ ， $-23 \sim -18 \text{ ‰}$ であること（碓井³），海産の植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ は海水温が $15 \sim 25 \text{ ‰}$ では $-19 \sim -21 \text{ ‰}$ ，陸上の C_3 型植物では $-24 \sim -34 \text{ ‰}$ であること（和田ら⁴）から， -23 ‰ 未満の場合に陸土の影響があり， -22 ‰ 以上で海起源の堆積物の影響が強いものとした。 $\delta^{15}\text{N}$ の値は，陸起源と海起源，それぞれ $0 \sim 5 \text{ ‰}$ ， $3 \sim 8 \text{ ‰}$ であること（碓井³）

*¹水産技術総合センター環境資源部，*²東北大学大学院農学研究科水産資源生態学分野

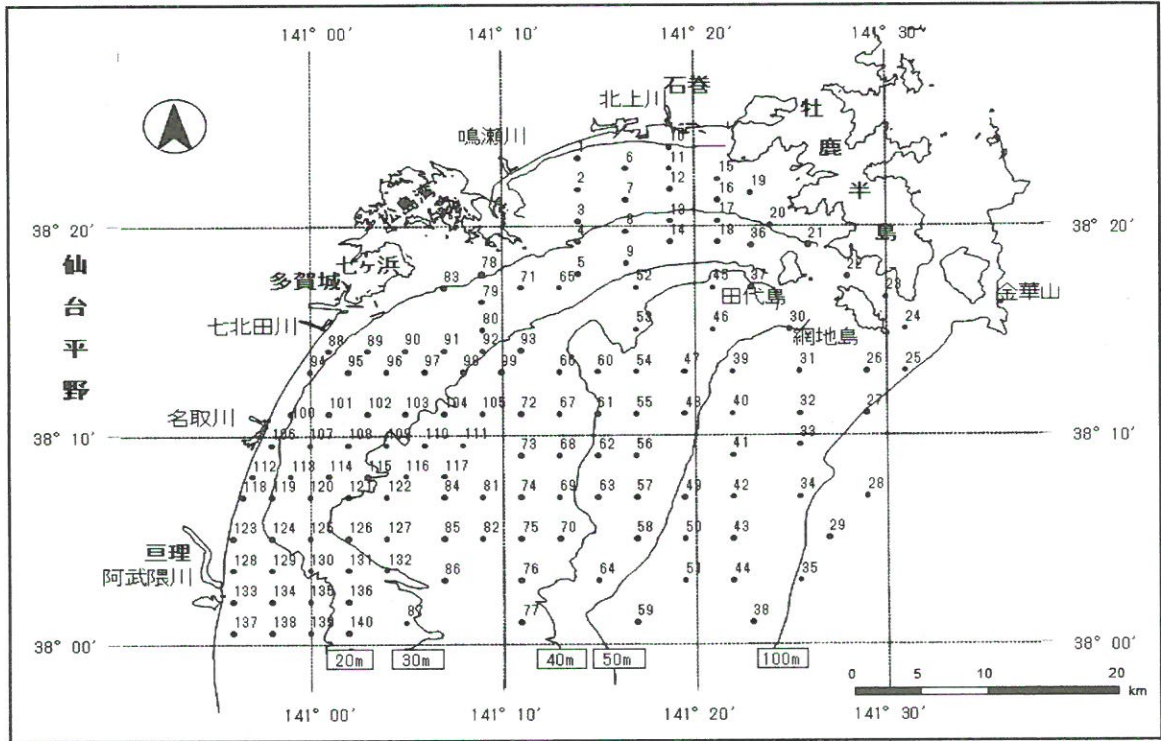


図1 平成24年の仙台湾での $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ の調査点図 (震災後)

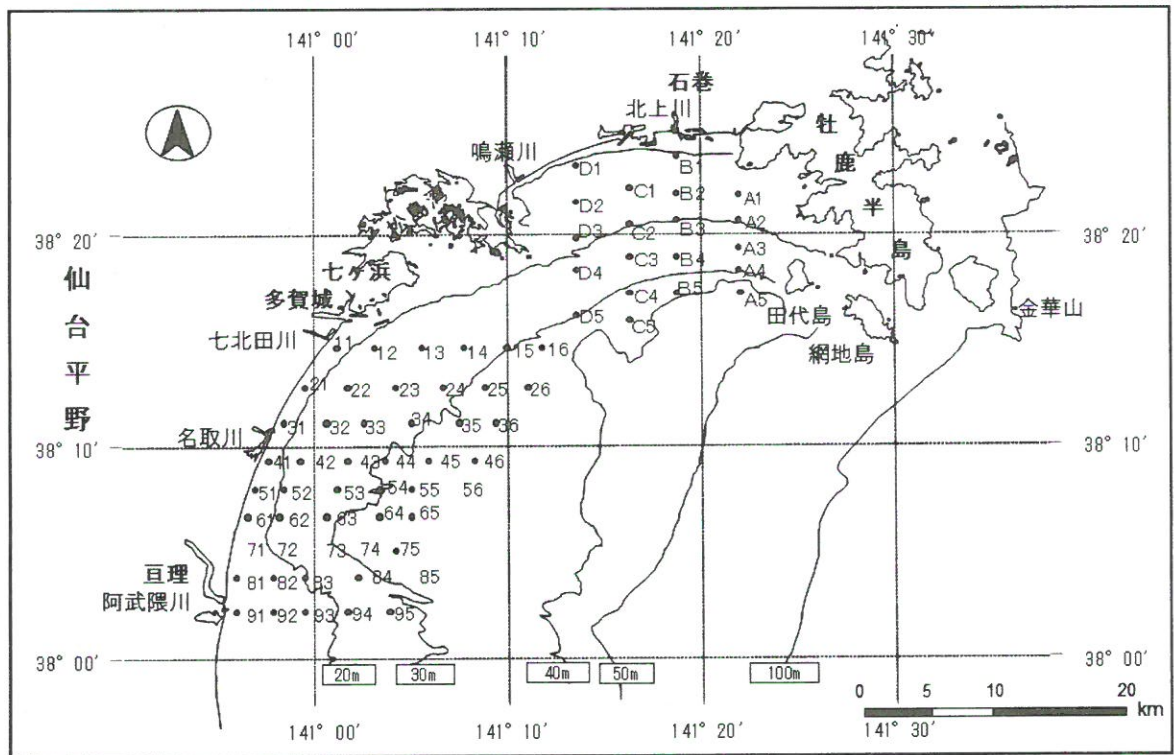


図2 平成22年の仙台湾での $\delta^{13}\text{C}$ 調査点図 (震災前)

から、3 ‰以下で陸土の影響が強く、5 ‰以上で海起源の堆積物の影響が強いものとした。なお、これらの中間値については、前報¹⁾の推定などと併せて総合的に判断した。

結 果

1 平成24年の仙台湾での $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ の分布

平成24年の調査点ごとの $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 測定結果を表1の(1)に示した。なお、測定値については小数点第3位を四捨五入して第2位までで示している(以下同じ)。

1) $\delta^{13}\text{C}$ の分布

$\delta^{13}\text{C}$ の値の範囲は $-26.53 \sim -19.66$ ‰であった。この分布の等値線図を図3に示した。 -22 ‰以上の分布は、仙台湾の中央部の広範囲の海域と七ヶ浜地先から南東方向、田代島と網地島の間から南西方向への2つの楕円状の海域にみられた。一方、 -23 ‰未満の分布は、七北田川河口地先から阿武隈川河口地先までの水深30m以浅の海域及び松島湾外海で鳴瀬川河口から南東方向の線と牡鹿半島で囲まれた海域に見られ、これらの海域の中でも、特に石巻地先と名取川河口地先、阿武隈川河口地先に -24 ‰以下の低い値の分布がみられた。

2) $\delta^{15}\text{N}$ の分布

$\delta^{15}\text{N}$ の値の範囲は $1.05 \sim 9.03$ ‰であった。この分布の等値線図を図4に示した。3 ‰以下の分布は石巻地先から南西の方向に舌状に伸びる海域と阿武隈川河口地先から水深20m程までの海域、仙台湾の南東沖の海域に半円状の分布がみられた。特に、石巻地先と仙台湾南東沖には2 ‰以下の低い分布がみられた。5 ‰以上の分布は七ヶ浜地先から仙台湾中央にかけての広い範囲の海域と牡鹿半島西側地先に3つの円形状の海域にみられた。特に、七ヶ浜地先から南東方向、仙台湾の中央の南側と西側には6 ‰以上の高い値の分布がみられた。

2 平成22年の仙台湾での $\delta^{13}\text{C}$ の分布

平成22年度の調査点ごとの $\delta^{13}\text{C}$ 測定結果を表1の(2)に示した。 $\delta^{13}\text{C}$ の値の範囲は $-25.71 \sim -20.05$ ‰であった。この分布の等値線図を図5に示した。平成24年に比べ調査点が少ないことから、概ね40m以浅の海域のコンター図となっている。 -22 ‰以上の分布は七北田川河口沖から阿武隈川河口沖にかけての水深20~35mの海域に

みられたほか、阿武隈川河口の北側の10m以浅の海域にもわずかにみられた。特に名取川河口沖の水深30m付近には $-21 \sim -20$ ‰の円形状の分布がみられた。一方、 -23 ‰未満の分布は石巻地先の海域と七北田川河口から阿武隈川河口にかけての水深30m以浅の海域にみられた。このうち七北田川、名取川のそれぞれの河口では半円状に広がる、阿武隈川河口では北方に伸びる -24 ‰未満の分布がみられ、特に名取川河口では -25 ‰未満の低い分布がみられた。

考 察

前報¹⁾で考察したとおり、陸土は津波の引き波等により河川や陸地から海に流入し、津波での海底土の攪乱・沈降後の堆積過程での混合もあったものと推定される。

平成24年の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の分布をみると、 $\delta^{13}\text{C}$ の分布は前報¹⁾のC、N量の分布と概ね同じ形である。一方、 $\delta^{15}\text{N}$ の分布ではこのC、N量や $\delta^{13}\text{C}$ の分布と一部で形が異なるほか、これらにはみられないより細かく複雑な分布の形がみられる。この分布は平成24年のC/N比の分布(図6)の形に似ていて、前報¹⁾で推定した津波による攪乱と沈降・堆積による海底土の均一化や陸土の流入を表していると考えられる。

そこで、まず陸土の影響が強かった海域を推定するため、判断基準に基づき平成24年の -23 ‰未満の $\delta^{13}\text{C}$ と3 ‰以下の $\delta^{15}\text{N}$ の分布域を合わせてみる。いずれかに該当するのは、石巻地先から鳴瀬川河口の水深30mまでの海域、七北田川河口地先から阿武隈川河口地先までの水深30m以浅の海域、仙台湾南東沖の極小さな海域である。これらは、前報¹⁾でC/N比から推定した陸土の影響のあった海域(図6)と概ね一致している。

次に、中間値である $\delta^{13}\text{C}$ で $-23 \sim -22$ ‰、 $\delta^{15}\text{N}$ で3~5 ‰の分布域について考える。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ がこれらの値をとる分布域は2つの海域である。1つは、七北田川河口地先から阿武隈川河口地先までの水深30m以浅の海域であり、 $\delta^{13}\text{C}$ については陸土の影響の強い分布域の縁辺部、 $\delta^{15}\text{N}$ については阿武隈川河口の地先を除く全域である。これらについては -23 ‰未満の $\delta^{13}\text{C}$ の分布やC/N比の分布と合わせて考えると、陸土が海底土に混合した分布と考えるのが妥当と思われる。実際に

表1 仙台湾海底表層土分析結果

(1) 平成24年測定結果

調査点	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
St.1	-23.28	3.09
St.2	-23.23	4.18
St.3	-23.11	2.25
St.4	-23.19	3.17
St.5	-22.37	3.50
St.6	-24.08	2.39
St.7	-23.46	1.05
St.8	-23.62	2.53
St.9	-23.26	3.44
St.10	-25.10	1.51
St.11	-23.35	2.34
St.12	-23.02	3.56
St.13	-21.93	5.54
St.14	-23.75	4.01
St.15	-23.12	4.19
St.16	-22.99	4.73
St.17	-22.53	3.84
St.18	-22.49	4.49
St.19	-22.52	4.65
St.20	-22.38	4.87
St.21	-22.43	4.85
St.22	-21.25	4.44
St.23	-23.74	4.34
St.24	-21.89	4.62
St.25	-21.98	3.72
St.26	-21.98	4.37
St.27	-21.86	3.43
St.28	-22.25	4.86
St.29	-21.46	1.90
St.30	-22.26	4.84
St.31	-22.13	5.13
St.32	-22.23	3.95
St.33	-21.78	4.48
St.34	-21.22	4.25
St.35	-21.36	
St.36	-22.39	4.65
St.37	-22.18	5.20
St.38	-21.14	3.90
St.39	-22.40	4.66
St.40	-21.69	3.64
St.41	-21.47	5.98
St.42	-21.66	4.43
St.43	-20.95	4.93
St.44	-20.80	5.95
St.45	-22.57	5.10
St.46	-22.99	4.54
St.47	-22.51	5.06
St.48	-21.32	5.63
St.49	-20.66	5.86
St.50	-20.57	6.33
St.51	-20.81	5.50
St.52	-23.01	3.98
St.53	-22.21	4.79
St.54	-21.27	4.65
St.55	-20.48	6.21
St.56	-20.94	5.58
St.57	-20.41	6.88
St.58	-21.10	6.70
St.59	-20.66	8.11
St.60	-21.45	4.91
St.61	-21.25	5.07
St.62	-20.42	5.85
St.63	-20.47	6.87
St.64	-20.38	6.83
St.65	-22.01	5.86
St.66	-21.61	6.43
St.67	-21.27	3.70
St.68	-20.58	6.08
St.69	-20.57	5.99
St.70	-20.26	5.52

(2) 平成22年測定結果

調査点	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
St.71	-21.28	5.74
St.72	-21.06	4.19
St.73	-20.40	7.30
St.74	-20.21	6.27
St.75	-20.20	5.47
St.76	-20.38	4.94
St.77	-20.15	5.32
St.78	-21.31	5.78
St.79	-20.28	5.84
St.80	-19.77	6.23
St.81	-20.53	5.13
St.82	-19.93	5.43
St.83	-20.15	9.03
St.84	-21.06	5.00
St.85	-20.11	6.52
St.86	-20.41	6.49
St.87	-20.43	6.76
St.88	-24.00	5.05
St.89	-23.74	4.98
St.90	-23.44	3.60
St.91	-23.24	5.19
St.92	-22.11	5.65
St.93	-22.07	5.73
St.94	-24.27	4.82
St.95	-23.90	4.68
St.96	-24.02	5.24
St.97	-24.53	4.97
St.98	-23.07	5.30
St.99	-21.95	5.52
St.100	-23.91	3.38
St.101	-24.18	5.13
St.102		4.64
St.103	-23.90	4.98
St.104	-22.77	5.52
St.105	-21.63	5.62
St.106	-24.35	5.38
St.107	-25.10	4.00
St.108	-24.38	4.58
St.109	-24.08	4.13
St.110	-22.22	4.88
St.111	-20.91	5.46
St.112	-22.05	4.65
St.113	-24.63	4.87
St.114	-24.81	3.76
St.115	-22.81	3.68
St.116	-21.05	4.84
St.117		
St.118		
St.119		
St.120	-23.41	3.88
St.121	-22.25	4.80
St.122	-22.20	4.45
St.123		
St.124	-24.75	3.90
St.125	-26.53	3.35
St.126	-20.73	4.47
St.127		
St.128	-23.47	4.52
St.129	-25.36	3.20
St.130	-24.75	4.21
St.131	-20.29	5.43
St.132	-19.66	6.35
St.133	-24.96	2.83
St.134	-24.80	4.64
St.135	-23.60	4.30
St.136		
St.137	-23.78	2.82
St.138		
St.139	-23.13	5.29
St.140	-22.54	4.45

調査点	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
A1	-23.32
A2	-22.16
A3	-22.07
A4	-22.40
A5	-22.16
B1	-23.85
B2	-23.82
B3	-23.17
B4	-23.20
B5	-22.52
C1	-22.73
C2	-24.08
C3	-23.22
C4	-22.94
C5	-22.33
D1	-23.16
D2	-23.18
D3	-22.81
D4	-22.46
D5	-22.48
11	-24.62
12	-23.91
13	-22.79
14	-22.38
15	-21.81
16	-22.42
21	-24.76
22	-23.40
23	-22.19
24	-22.35
25	-21.60
26	-21.26
31	-23.29
32	-23.81
33	-20.62
34	-20.05
35	-20.82
36	-21.21
41	-25.71
42	-22.44
43	-21.48
44	-20.74
45	-20.69
46	-22.57
51	-24.26
52	-25.41
53	-21.40
54	-22.87
55	-21.50
56	-21.07
61	-24.64
62	-22.92
63	-21.35
64	-22.00
65	-21.23
71	-22.05
72	-24.39
73	-23.36
74	-21.25
75	-22.09
81	-21.94
82	-24.93
83	-23.45
84	-21.04
85	-21.69
91	-24.14
92	-24.73
93	-23.50
94	-21.76
95	-20.93

* 空欄は欠測

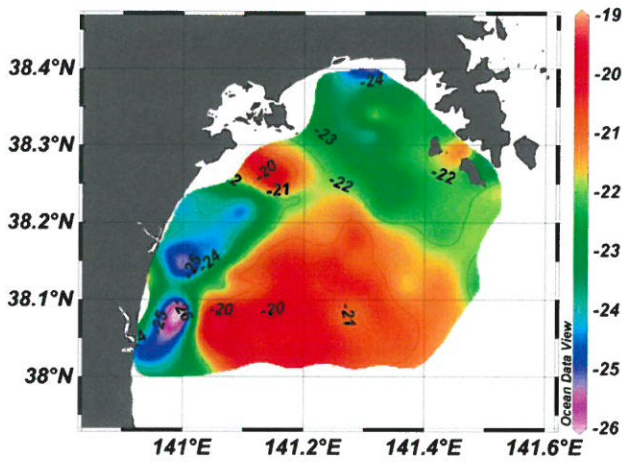


図3 平成24年の仙台湾 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) の分布

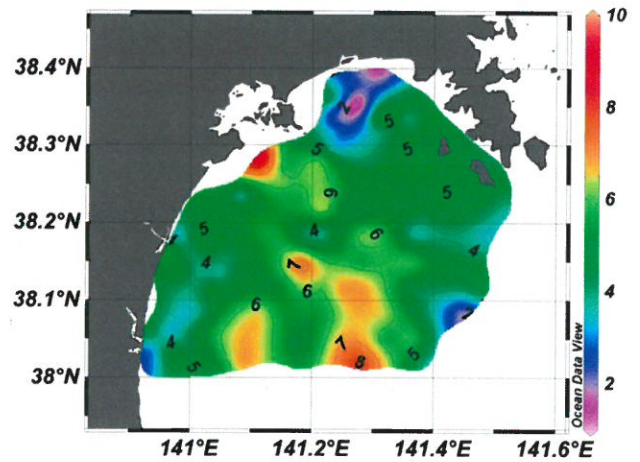


図4 平成24年の仙台湾 $\delta^{15}\text{N}$ (‰) の分布

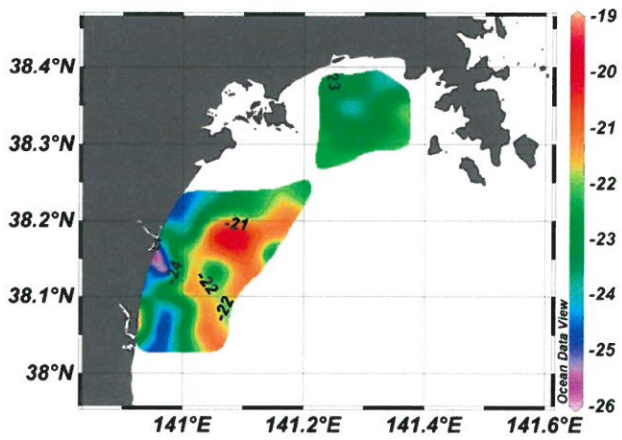


図5 平成22年の仙台湾 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) の分布

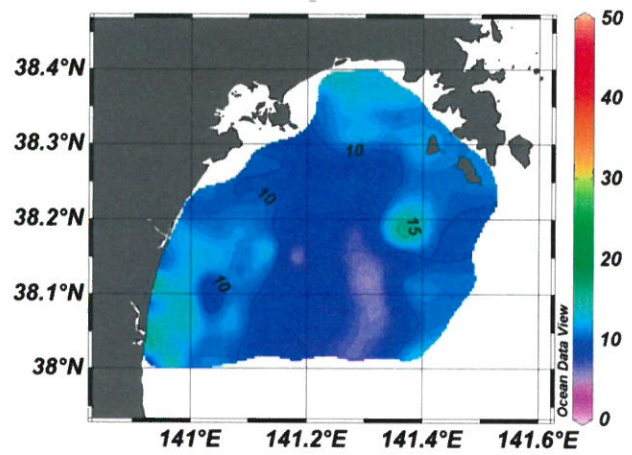
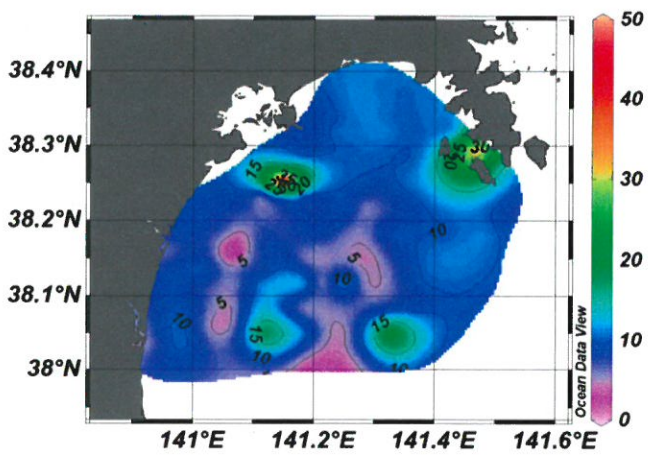


図6 仙台湾における平成21年(左図)と平成24年(右図)のC/N比の分布(前報¹⁾による)

3~5‰の $\delta^{15}\text{N}$ の分布域と-23~-22‰の $\delta^{13}\text{C}$ 分布域は重なり合う部分が多い。もう1つは、松島海岸外海から南東方向に伸ばした線より牡鹿半島側の海域である。この海域に $\delta^{15}\text{N}$ が4‰未満の複数の分布があることや南東沖合海域に $\delta^{15}\text{N}$ が3‰以下の分布があること、前報¹⁾でも沖合域への懸濁物の移動と沈降・堆積が推定されたことからみて、やはり陸起源の物質の影響を受けたと考えるのが妥当と思われる。

前報¹⁾で考察したとおり、こうした河川等からの陸土の影響は震災前にもあったと考えられる。そこで津波の影響をみるために、平成22年と平成24年の $\delta^{13}\text{C}$ の分布を比較してみる。石巻地先では平成22年にも北上川からの陸土の流入によると考えられる-24~-23‰程度の分布がみられる。一方、平成24年では北上川河口地先に-25~-24‰の分布があるほか、-24~-23‰程度の分布が沖合い方向に伸びている。これらのことから、津波によって震災前の北上川からの供給量以上の陸土がこの海域に流入したことが推定される。一方、七北田川河口から阿武隈川河口にかけての水深30m以浅海域では、平成20年には七北田川、名取川、阿武隈川河口から水深20m程度まで伸びる-24‰未満の明瞭な分布がみられ、河川からの陸土の流入がみてとれる。特に名取川河口では顕著である。さらに、これらの沖側の水深30m付近には-22‰以上の分布がみられて、この内部には-22‰未満や-21‰以上の円形状の分布が複数みられる。これは潮汐や波浪等の影響を受けた堆積過程によるものと推定される。これに対し、平成24年には水深10mから水深30m程度までの広い範囲に広がる-23‰未満の分布がみられる。また、この内部には水深25~30m程度のところに-26~-24‰の同心円状の拡がりを持つ南北2つの分布がみられ、北側のものは名取川とその北の平野部から、南側は阿武隈川からの流入が推定される。特に南側の中心部は-26‰以上と陸土の極めて強い影響があったと思われる。これらのことは、七北田川河口からの陸土の流入は比較的少なく、阿武隈川や名取川あるいは防潮堤が破壊された海岸からの陸土流入が多かったことを示すものと考えられる。前報¹⁾で報告したこの海域でのシルト帯の拡大は、津波による海底土の攪乱、沈降にこうした多量の陸土の流入が加わってもたらされたものと思

われる。なお、北上川からの流入陸土と七北田川から阿武隈川にかけての陸土の流入後の堆積の仕方に差がみられるのは、流入量の差のほかに前報¹⁾で推定した流入後に懸濁物となった陸土の輸送過程の差も影響したと考えられる。前述したように、北上川からの流入物は沖合南東方向に流出していったと考えられるのに対し、七北田川から阿武隈川にかけての流入物は沖合い方向への流出が少なかったと考えられるからである。

以上のように、東北地方太平洋沖地震による津波の前後の安定同位体比の分布状況をみることにより、前報¹⁾で推定した仙台湾への陸土の流入状況をより明確にすることができた。

要 約

東北地方太平洋沖地震での津波による仙台湾への陸土の流入について推定するために、前報¹⁾でC、N量の測定に用いた同一サンプルを使い平成24年の仙台湾のC、N安定同位体比の分布図を作成した。併せて、平成22年に測定した仙台湾浅海域のC安定同位体比の分布図を作成した。

$\delta^{13}\text{C}$ は-23‰未満で $\delta^{15}\text{N}$ は3‰以下で陸土の影響が強く、 $\delta^{13}\text{C}$ は-22‰以上で $\delta^{15}\text{N}$ は5‰以上で海起源の堆積物等の影響が強いものとし、前報¹⁾のC/N比とともに分布をみたところ、石巻地先から鳴瀬川河口の水深30mまでの海域、七北田川河口地先から阿武隈川河口地先までの水深30m以浅の海域、仙台湾の南東沖の海域で陸土流入の影響が強いと推定された。また、松島海岸外海から南東方向に伸ばした線より牡鹿半島側の海域や七北田川河口地先から阿武隈川河口地先までの水深30m以浅の海域の縁辺部では、陸土の影響があったものと推定された。

これらは前報¹⁾で推定した津波での攪乱と沈降・堆積による海底表層土の均一化などの挙動や陸土の流入の影響と概ね一致しており、安定同位体比からも前報¹⁾と同様な推定結果が得られた。

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・猪俣恭平・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) Schlitzer, R., OceanDataView, <http://odv.awi.de>, 2011
- 3) 碓井敏広(2004) 陸圏排出物質の近海への影響: 北海道河川から北太平洋—炭素・窒素安定同位体比を用いた十勝沖表層堆積物中の有機物の起源に関する研究—, 北海道大学大学院地球環境科学研究所COE成果報告書
- 4) 和田秀樹・中井信之(1981) 堆積物中の有機物の炭素同位体組成とC/N比—駿河湾表層泥について—, 静岡大学地球科学研究報告 **6**, 73-81

