

### 3.11 巨大津波が陸地にもたらした重元素汚染された汚泥試料の分析

世良耕一郎<sup>1</sup>、馬場史孝<sup>1</sup>、後藤祥子<sup>2</sup>、高橋千衣子<sup>2</sup>、齋藤義弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>岩手医科大学サイクロトロンセンター  
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢留が森 348-58

<sup>2</sup>日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター  
〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢留が森 348-58

#### 1 はじめに

2011.3.11 東北大震災が引き起こした巨大津波は、岩手・宮城・福島の3県に加え、青森・茨城県の一部に及ぶ広大な範囲に大きな被害をもたらした。2万人近くの尊い命が奪われ、数え切れない数の家屋や車が壊され流された。また漁業、養殖業、農業にも深刻な被害をもたらし、1年半以上経過した今も、復興は殆どなされていない。

しかし、津波による被害はそれだけではなかった。津波は海底に堆積する重元素汚染された汚泥(ヘドロ)を多量に陸地に運び上げた。ヘドロは沿岸の陸地だけではなく、市街地、住宅地、そして農地にまで堆積した。以前より、我国の沿岸部における海水が重金属汚染されていることが指摘されていたりが、その原因としては鉱山廃坑や産業廃棄物処理施設からの浸出水、温泉水などの他に、港湾部では船舶からの重油や廃棄物・排水などの要因も重なり、いっそう汚染が進んでいた。しかしそれらを含む汚泥は海底に堆積し、陸地や汽水域に及ぼす影響は少なかったが、津波によりそれが人々の生活域にまでもたらされる結果となった。

本研究において試料採取が行われた2011年7月から9月の時点において、まだ多量のヘドロが市街地・住宅地・農地に堆積していた。ヘドロは乾燥後エアロゾル化し、直接の粉塵吸入や食品の汚染などにより体内に吸収される可能性があり、被災者や復興作業に携わる人々の健康被害も懸念される。さらにヘドロ中の細菌などによる感染症の危険性もある。また海洋生態系再生に与える重金属の影響も考えられ、それに関する我々の研究は本報文集に寄稿されている<sup>2)</sup>。ヘドロ中重金属の影響に関する研究は殆どなされていないが、非営利団体によるヘドロ分析の結果は公表されている<sup>3,4)</sup>。それによると堆積物中の砒素と鉛濃度が、土壌中の環境基準値を上回る値を示している例も報告されている。また特に宮城県においては、広大な農地も津波に襲われ、ヘドロが多量に農地に堆積したまま放置されており、塩害などのため農業再開の妨げとなっている。

本研究においては、青森・岩手・宮城の各県沿岸地域において72の堆積物試料が採取され分析され、これらの結果は岩手県内陸で採取された土壌57試料の結果と比較された。また2012年7月の時点で、ヘドロが堆積した土地には既に多くの野草が生育していた。そのうち16試料が採取され、これらの植物中の重元素濃度も調べられ、その結果は岩手・宮城両県の内陸部で採取された植物と比較された。

## 2 実験方法

### 2.1 試料採取

陸地に堆積したヘドロ試料の採取は 5 回 (2012 年 7 月 20 日、8 月 14 日、8 月 31 日、9 月 3 日、9 月 17 日) にわたって行われた。最初の採取は岩手県沿岸の陸前高田市から宮古市にかけての被災地において行われ、計 28 試料が採取された。その際、ヘドロが堆積した土地の上に生息する植物 16 試料も同時に採取された。8 月 14 日には、岩手県陸前高田から宮城県石巻市までの広い範囲で 20 のヘドロ試料が採取された。さらに 8 月 31 日には、岩手県宮古市から北上し小本町までの三陸沿岸において 9 試料が採取され、9 月 3 日には、仙台市周辺 (荒浜、閑上、仙台空港等) において 11 試料が採取された。最後の採取は 9 月 17 日に行われ、青森県八戸市から階上町にかけて 5 試料が採取された。Fig. 1 に試料採取場所の地図をまとめて示す。



Fig. 1 Sampling spots of the sludge samples.

### 2.2 試料調製

ヘドロを含む土試料は「粉末内部標準法<sup>5)</sup>」により調製され、植物試料は「硝酸灰化-内部標準法<sup>6)</sup>」により処理された。詳細は参考文献 2 (本報文集) に記載されているため参照されたい。ヘドロとそれを含む土壌試料の試料番号と採取地点の対比は Table 1 に、植物試料とその学名は Table 2 にそれぞれ記載されている。

Table. 1 Sample list of the sludge samples.

7/20	No. 1-6	Rikuzentakata seaside
	No. 7-9	Ofunato
	No. 10-12	Kamaishi
	No. 13-18	Odzuchi
	No. 19-22	Yamada seaside
	No. 23-24	Yamada downtown
	No. 25-28	Tsugaruishi estuary
8/14	A-E	Rikuzentakata
	F-H, 1-2	Kesennuma
	I	Utatsu
	3-5	Shidzugawa
	J, 6-7	Ishinomaki
	K, 8	Onagawa
	J-L	Miyako
	M-O	Tarou
8/31	1	Omoto
	2-3	Nakanohama
	k-m	Arahama
9/3	n-u	Uriage
	1-2	Hachinohe
9/17	3-4	Tanesashi
	5	Hashikami

Table. 2 Sample list of the plant samples.

Houkigusa	<i>Kochia scoparia</i>
Itadori	<i>Fallopia japonica</i>
Shiroza	<i>Chenopodium album</i>
Kosendangusa	<i>Bidens pilosa var pilosa</i>
Yomogi	<i>Artemisia indica var. maximowiczii</i>
Hirugao	<i>Calystegia japonica</i>
Butakusa	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>
Murasaki tsumekusa	<i>Trifolium pratense</i>
Suisen	<i>Narcissus</i>
Okahijiki	<i>Salsola komarovii</i>
Yomogi	<i>Artemisia indica var. maximowiczii</i>
Koakaza	<i>Chenopodium ficifolium</i>
Kurara	<i>Sophora flavescens</i>
Nokongiku	<i>Aster microcephalus var. ovatus</i>
Kouboushiba	<i>Carex pumila</i>
Ogi	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>

### 2.3 照射・測定条件

島津製作所小型サイクロトロンより引き出された 2.9 MeV の陽子ビームは、2 組の三連 Q

magnet, steering magnetなどで調整され、真空散乱槽に導入される。発生したX線は、2台のSi(Li)検出器により測定される<sup>7)</sup>。検出器1には500 $\mu$ m Mylar膜のX線吸収体が装着され、K、Caから重元素までの測定が行われ、検出器2には計数率を調整するためのX線コリメータが装着され、Na~Caまでの軽元素測定が行われる。土試料に対しては、Feが突出する試料専用開発された重元素の感度を2桁高める効果のある「特殊吸収体<sup>8)</sup>」による測定も合わせて行われた。ビーム径は5 mm $\phi$ 、平均的ビーム電流及び測定時間は3 nA、3~10分であったが、特殊吸収体により重元素測定を行う場合は、ビーム電流100 nAで照射を行った。Fig. 2にヘドロ試料(7/20-No.9)に対する特殊吸収体を装着した検出器1による高エネルギー側スペクトル(a)と、検出器2による低エネルギー側スペクトル(b)を示す。

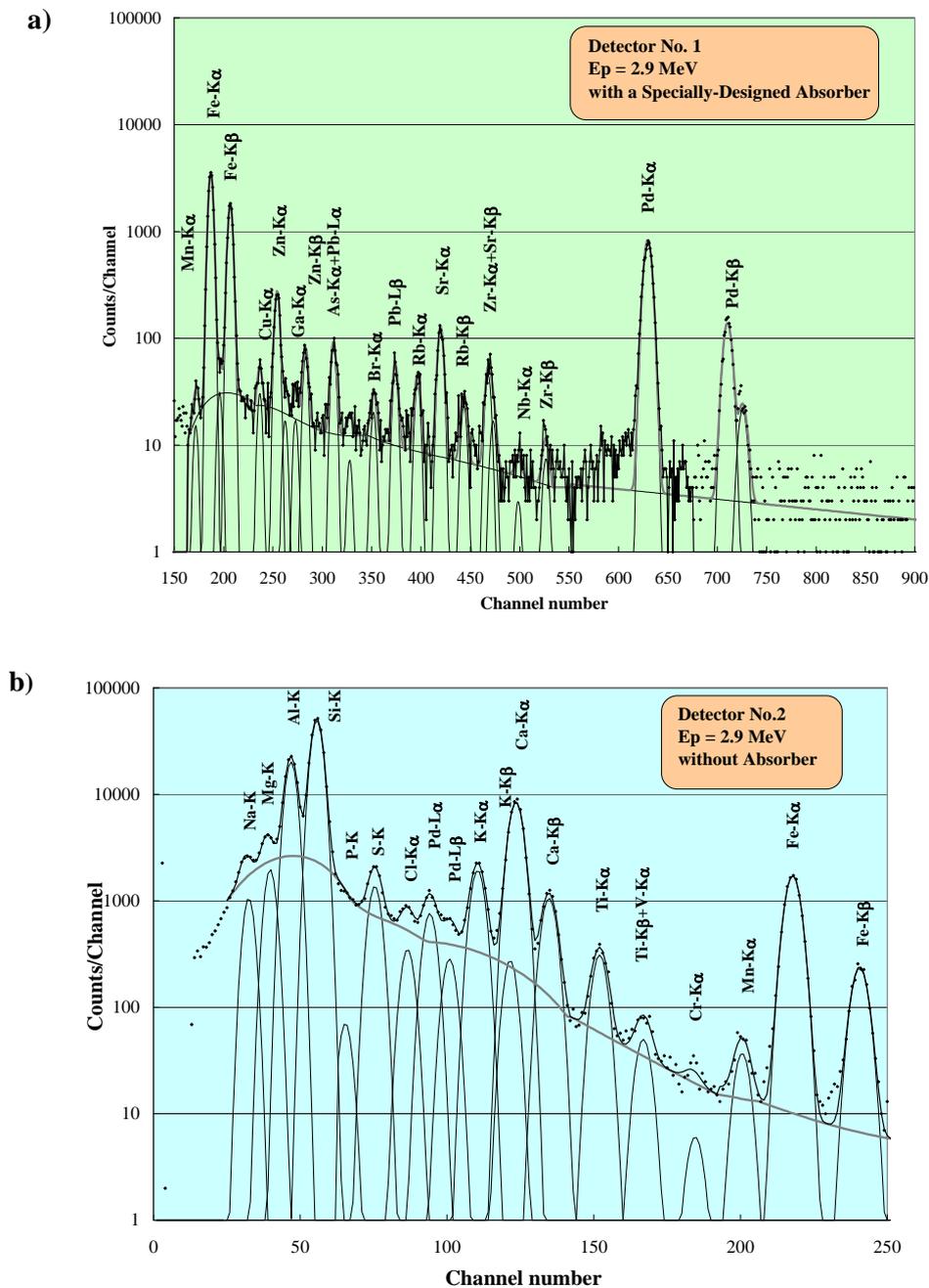


Fig. 2 Typical spectra of a sludge sample (7/20 No. 9) obtained with a specially designed absorber (a) and without absorber (b).

### 3 結果と議論

試料採取は震災から 4~6 ヶ月後に行われたため、陸地に堆積したヘドロは風雨にさらされ、堆積直後に比べると重元素がかなり抜けていることが予想される。また、その後の復興作業などによるダストなども堆積し、ヘドロとの明確な区別が難しい試料もある。その中で、比較的津波後の状態が保存されているものと思われる試料は側溝に堆積したものであり、表面にその後のダストによる色の薄い 1~2 mm ほどの層があり、それを取り除くと漆黒のヘドロ層が現れる。図 3 に、大船渡市の同じ場所で採取された 2 試料の比較を示すが、一つは舗装道路上の水溜りの傍で採取され、一般の土と色による区別が付きにくいものであり、他方は、その傍の側溝の中に厚く堆積した真っ黒な層から採取されたものである。この図から、後者が As、Zr、Pb などの重元素を多く含むことが明確に確認できる。この事実から、側溝や川のほとりなどに厚く堆積したヘドロは津波後の状態が比較的保存され、平地に堆積したものからは重元素の多くが風雨等により流失していることが分かる。そのため、試料はできるだけ局所的に厚く堆積したものを採取した。同様な比較を側溝に堆積したヘドロの色の薄い上層と真っ黒な下層に対しても行ったが、黒い層に重元素が多いという同様な結果が得られた。本研究においては、同じヘドロが堆積したと思われる地域の中の 2~9 地点において試料が採取され、その平均値を結果として採用した。

Table 3 には、16 の地域で採取されたヘドロ試料の分析結果を示す。両括弧の中の数値は、同じ地域の異なる地点から採取された試料数を示す。表から分かるように、釜石・大船渡で採取された試料は高い砒素・鉛濃度を示し、気仙沼で採取されたものは銅・亜鉛などが非常に高い。これらの事実は、大きな港の海底は他の沿岸域と比べ、船舶からの排水水などの影響により汚染が進んでいることをもの語り、他の地域の港湾部での調査研究<sup>9)</sup>で指摘された事実と一致している。仙台空港で採取された試料の重元素濃度は低いが、周辺に大きな港がなく、また仙台湾の地形がなだらかでヘドロが局在しにくいという地理的条件に起因する可能性もある。

この表には、岩手県内陸部で採取された 57 の土壌試料の分析結果も示されている。また、Table 3 の内容を、Fig. 3 に図示する。予想通り沿岸の試料は Na と Cl が高値を示すが、それとともに V、As、Rb、Sr、Zr、Mo、Ba そして Hg などの重元素が高い値を示している。また、Cu、Zn、Hg そして Pb も場所によってはかなりの高値を示し、これらのことからヘドロを含む試料はほぼ全元素に渡り内陸の土壌よりも重元素濃度が高く、汚染されていることがわかる。

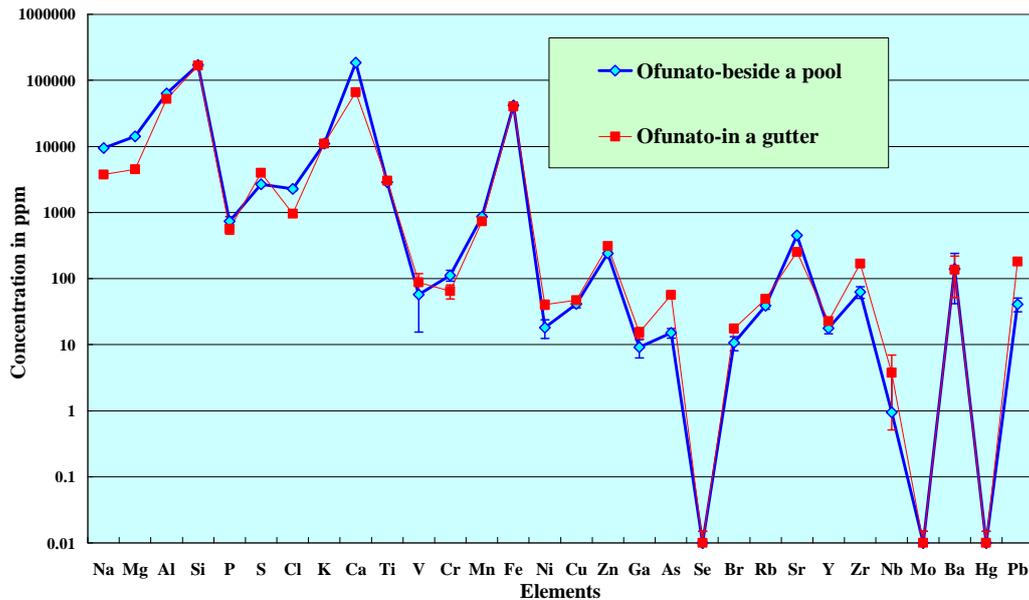


Fig. 3 Comparison of elemental concentration in two sludge samples taken in Ofunato city.

Table.3 Elemental concentration in 72 sludge samples collected in the seaside district in Tohoku. Values are shown in the units of ppm (µg/g). The samples collected in the same area are combined and their average values are shown. The average values of 57 soil samples collected in the inland district of Iwate are also shown for comparison. (LD = Lower than detection limit.)

	Rikuzen-takata city (n=4)	Rikuzen-takata sea side (n=7)	Ohtu naito (n=3)	Kamaishihab or (n=3)	Odzu chi estuary (n=6)	Yamada (n=6)	Kesen-numa (n=5)	Minami-san riku (n=4)	Ishinomaki City (n=3)	Onagawa (n=2)	Miyako & Naka nohama (n=9)	Tarou & Onoto (n=4)	Ara hama (n=2)	Yuriage (n=7)	Sandai airport (n=2)	Hachinohe-Hashikami (n=5)	Inland soil (n=57)
Na	12940	9500	7250	4950	5820	8640	18250	13240	9530	12750	8650	7730	8820	7840	4120	5084	5430
Mg	8010	9610	9460	7260	7410	5560	12120	7430	8520	11290	9590	10000	12600	11100	10070	7710	8460
Al	69300	89700	64200	47900	49700	66800	78600	53000	65500	67700	74000	85900	85900	71900	31100	53600	85200
Si	232000	254000	166000	171000	170000	200000	204000	181000	233000	232000	237000	280000	306000	213000	140000	195000	176000
P	423	545	705	482	470	757	581	254	1756	762	387	1120	304	84.1	LD	17	753
S	2200	1800	4000	2300	1200	1633	5300	3000	1500	2700	1190	1100	600	1500	200	1140	1300
Cl	13840	580	1640	1040	2030	2953	23920	13390	3350	8790	3270	1500	2970	3080	560	990	870
K	13700	15300	11300	12600	13100	13300	16700	11200	11400	14500	16000	20400	11400	9300	3800	8300	5600
Ca	26900	16700	1E+05	30500	21400	15200	13800	53200	29800	49600	14500	15600	28700	19100	18300	47500	23300
Ti	3500	4300	3400	3600	3300	3630	4300	2700	3600	3700	3530	3800	3600	3200	4800	3000	4700
V	15.9	62.3	82.6	33.4	42.6	29.2	63.5	33.8	60.3	34.6	85.1	117	136	103	185	83	0.79
Cr	111	168	106	220	113	96	129	76	148	116	132	104	117	81	162	66	264
Mn	670	1810	830	980	2480	710	670	540	830	710	968	950	1200	1440	1470	730	1120
Fe	46300	66600	43300	66400	50400	37900	61000	39100	52100	44700	40000	52300	51800	44800	75100	33300	65400
Ni	39.2	65.5	25.2	125	88.8	70.4	59.5	43.1	82.5	47.6	77.6	51.5	17.8	112	55.2	45.9	72
Cu	30.3	31.2	45.6	126	44.8	88.6	218	19	80.6	40.6	45.5	67.7	23.9	29.6	9.2	20.4	48.3
Zn	149	154	275	252	232	251	518	103	419	332	158	282	15.5	131	113	141	176
As	17.8	18.4	32.1	15.4	26.7	9.2	23.1	15.5	22.5	14.6	13.1	27.2	8.4	12.5	1.4	12.9	9.2
Br	62.5	35.4	16.3	15.8	13.8	22.3	97.9	61.8	21	49.8	25.7	16.2	18.5	40.1	15.5	66.3	33.1
Rb	49.8	64.1	47.4	58.1	63.4	65.7	77.7	50.2	38.1	51.5	73.5	90.4	38.4	35.2	48.5	43.9	33.4
Sr	270	228	306	238	245	352	24.5	471	220	324	237	194	217	178	129	304	158
Zr	263	118	108	100	127	79	118	153	144	80	137	142	68	96	59	51	38
Mo	0.5	2.1	LD	1.4	0.9	LD	14	38	22	19	LD	0.2	2.4	LD	LD	0.2	0.6
Ba	206	146	171	291	201	395	215	85	180	168	349	390	321	222	164	276	174
Hg	0.76	0.49	LD	2.5	0.78	1.2	6	5.1	2.73	7.54	0.84	0.39	LD	0.51	LD	9.9	3.35
Pb	19	32	149	108	34	76	46	24	65	66	23	33	19	14	7.3	18	31

Table 4 には植物試料の結果を示す。この表には、内陸で採取された 45 の植物試料中元素濃度の平均値も示されている。沿岸部と内陸では植生が大きく異なるため共通の種は数種に過ぎないが、一般の野草においては種による大きな元素取込の選択性は認められず、平均値としての比較は可能であると思われる。また、Table 4 の内容を Fig. 5 に示す。Table 4 と Fig. 5 から分かるように、軽元素 (Na、Mg、Al、Si、P、Cl) 濃度はのきなみ沿岸の植物が高い。さらに Ti、Cr、Fe、Cu、Mo、Hg そして Pb が明らかに高値を示している。特に Pb 濃度に関しては、Table 3 のヘドロ試料中の濃度は内陸の土と比べ決して高くはない。そのことから、津波後のヘドロ中鉛濃度は非常に高く、早期に再生した植物は早い時点でそれを吸収し、一方ヘドロ中の鉛は雨などで漏出しやすく殆ど残っていない、という推測も成り立つ。これは参考文献 2 (本報文集) の干潟上の土と植物の関係に一致している。特定の試料に関しては、Si、Fe、As、Hg、Pb などが非常に高い値を示すものがある一方、Mn と Rb はむしろ内陸の植物より低濃度の傾向を示す。これらの事実も、本報文集に報告されている干潟上の植物の結果<sup>2)</sup>と一致している。

Table.4 Elemental concentration in plant samples collected in the seaside district in Iwate prefecture. Average values for 45 plants gathered in the inland district of Iwate, Miyagi and Fukushima prefecture are also shown in the table for comparison. (LD = Lower than the detection limits.)

	Yomo gi-1	Yomo gi-2	Ko- akaza	Shiroza	Hama- hirugao	Murasa kitsume kusa	Houki- gusa	Ita- dori	Kosen- dan gusa	Buta- kusa	Oka hijiki	Kurara	Nokon giku	Kou Bou shibe	Ogi	Inland plant average
Na	141	150	1480	409	397	59.7	7390	937	LD	205	2360	LD	127	713	118	298
Mg	700	1.20	3140	4370	532	2.64	2110	878	2420	1200	2460	192	1210	1120	143	1080
Al	218	LD	LD	LD	253	LDS	95.9	16.5	377	LD	1760	LD	LD	1540	LD	55.1
Si	655	1764	LD	LD	1.48	189	179	202	1810	3550	899	105	824	19500	8430	908
P	3140	3730	1100	2840	1.77	1.32	2410	2.19	2040	5270	3580	2.89	4370	881	1000	1410
S	2090	3300	1240	2100	1220	1.41	1650	1.47	2840	4900	3300	1.62	2460	1260	2060	1560
Cl	20.9	253	LD	150	LD	7.24	506	24.6	1170	827	1510	LD	167	123	LD	113
K	19700	48100	22400	35600	23800	18400	37100	25800	15400	58200	53700	14000	37300	2990	12500	21100
Ca	273	7980	7150	2310	1600	10300	3400	1040	22000	13300	6020	2890	6390	2360	1230	7770
Ti	46.4	18.5	1.87	1.81	25.3	6.20	11.5	29.1	35.3	9.35	16.9	1620	LD	70.9	4.43	6.74
V	2.77	LD	LD	LD	LD	0.44	LD	LD	2.57	0.91	LD	LD	LD	2.42	LD	1.14
Cr	2.89	3.34	0.21	0.42	3.82	LD	5.18	2.56	4.59	2.62	5.62	1.78	0.22	10.8	0.60	1.00
Mn	23.9	38.3	13.7	29.7	17.4	0.44	14.4	23.0	39.7	32.8	27.3	28.3	18.5	36.6	23.7	50.8
Fe	486	160	74.8	90.6	274	83.5	109	79.8	434	794	121	93.3	63.3	1140	89.6	83.9
Ni	1.42	0.92	LD	0.07	1.02	0.38	LD	1.09	LD	0.50	2.42	3.99	1.52	2.86	0.42	0.89
Cu	17.9	32.6	7.81	12.5	6.79	17.4	14.7	9.27	35.2	19.7	15.4	10.4	14.4	8.25	6.50	8.42
Zn	50.2	82.3	39.9	69.8	121	68.6	74.4	71.9	110	122	46.9	56.9	65.9	50.6	27.8	55.7
As	0.28	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	1.55	LD	LD	LD	0.05	LD	LD	0.12
Br	15.0	7.13	2.41	19.9	1.71	1.25	24.1	8.74	33.5	44.5	42.1	1.55	5.38	3.23	8.02	1.02
Rb	10.7	9.12	20.3	25.8	7.11	3.09	10.4	24.3	3.43	0.55	7.64	6.89	8.35	1.24	3.71	24.2
Sr	25.8	29.3	73.3	14.1	4.48	106	13.5	LD	100	148.3	29.0	5.62	22.4	15.4	18.5	40.8
Zr	2.9	9.97	LD	2.59	0.09	LD	0.10	LD	11.1	LD	LD	LD	LD	LD	LD	2.56
Mo	LD	5.27	8.02	8.12	2.22	21.7	3.29	0.93	2.15	6.31	0.76	8.65	3.32	0.08	1.26	1.07
Hg	0.80	LD	4.62	0.74	1.45	0.14	LD	4.10	6.9	0.82	0.72	0.34	LD	2.85	LD	1.18
Pb	6.13	7.31	8.44	1.90	9.56	1.14	6.12	13.3	4.53	1.60	11.9	2.35	4.24	6.57	3.10	1.31

冒頭に触れたように、汚染されたヘドロは農地にも堆積している。ヘドロが堆積した農地は、塩害の影響も長く残ると言われている。三陸地方においては被害を受けた農地面積は大きくないが、宮城県仙台湾沿岸、特に荒浜・閑上・亘理・山元にかけての広範な農地はことごとく津波の被害を受け、ヘドロが堆積し、いまだに多くの地域で農業が再開できないという状況にある。塩害に加え、重金属汚染の問題も早期に対策を考えなければならないものと思われる。

我々は乾燥後のヘドロ粉塵による被災者や復興作業の方々の健康への影響に関する調査研究を開始している。毛髪中元素濃度が体内元素濃度を良く反映すること、毛髪はほぼ 1 ヶ月に 1cm ずつ成長し、従って長い毛髪をスキャンすることにより、過去の体内元素濃度変化の履歴が調べられることが確認されている<sup>9,10)</sup>。2011 年 10 月以降、被災地の病院において被災者から

長い毛髪を採取し、3.11 前後での体内元素濃度変化が調べられている。詳細は別に報告を行う予定であるが、被災者や救助活動に当たられた方々に関しては、3.11 後有害元素濃度が上昇した例は希であり、避難所や仮設住宅がへドロ堆積地域から離れていること、救助・復興活動に際しては多くの場合防塵マスクが着用されていることなどが功を奏していると考えられる。むしろ3.11 による大幅な食生活の変化により、必須元素濃度が減少した例が多く見られる。本研究による結果は、今後の調査研究に重要な基礎資料を提供するものと期待する。

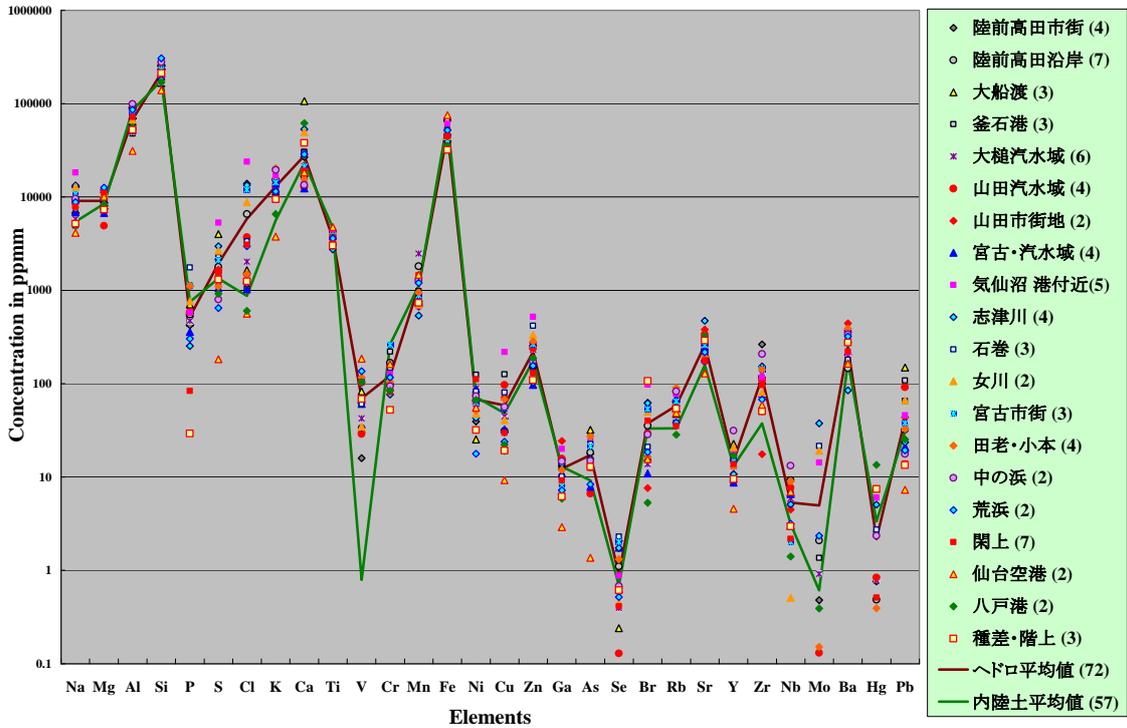


Fig. 4 Elemental concentration in 72 sludge samples collected in the seaside district in Tohoku. The samples collected in the same area are combined and their average values are shown. The average values of 57 soil samples collected in the inland district of Iwate are also shown. (LD = Lower than detection limit.)

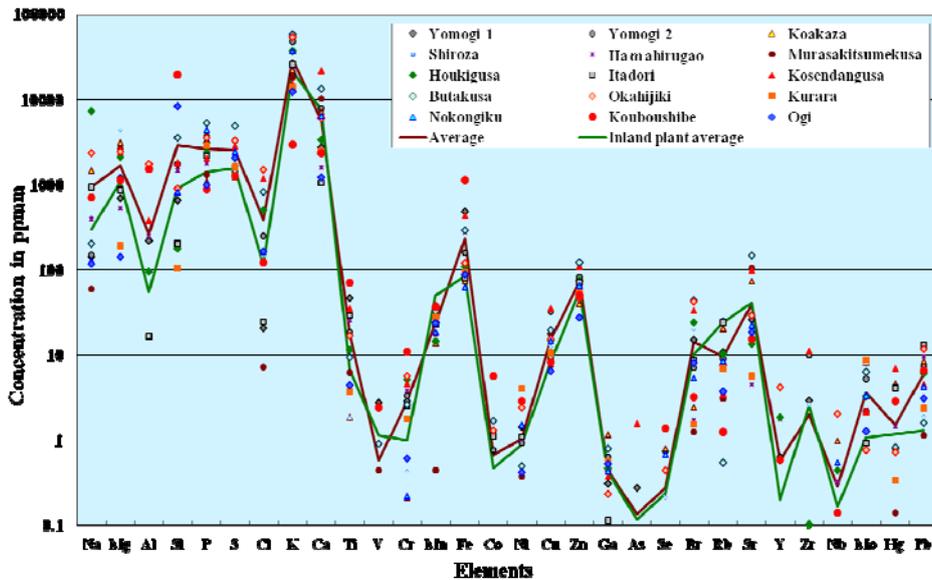


Fig. 5 Elemental concentration in plant samples collected in the seaside district in Iwate prefecture. Average values for 45 plants gathered in the inland district of Iwate, Miyagi and Fukushima prefecture are also shown.

## I 要約

以上の事柄は以下に要約できる。

1. 重金属汚染された汚泥による影響を調べるため、青森・岩手・宮城 3 件において 73 のヘドロを含む堆積物試料が採取され分析された。
2. ヘドロ中の重金属濃度は、同一区域であっても堆積条件に大きく左右される。
3. ヘドロを含む土試料、その上に生育する植物試料の両者とも、内陸で採取された試料と比べ重元素濃度が高いことが確認された。一方鉛に関しては、植物中濃度は高いがヘドロ中濃度は低く、津波後植物がいち早く吸収したのに対しヘドロ中鉛は漏出していると推定された。
4. 重金属汚染されたヘドロによる住民の健康影響が心配され、現在調査研究が行われている。

本稿の内容は、*International Journal of PIXE* にすでに掲載されている<sup>11)</sup>。また、ヘドロ試料の採取は、その後宮城南部から南相馬市にかけて行われ、さらに 2012 年 10 月には、1 年前と同じ採取場所での比較のための試料採取も行われた。被災者から採取した毛髪分析の結果も合わせ、2013 年 3 月の PIXE 国際会議 (ブラジル・グラマド) で報告を行う予定である。

## 謝辞

被災地の再興に向けて種々の形で携わり貢献されている方々の努力に敬意を表します。また、酪農学園大学の水野先生・能田先生にも貴重なご助言を頂きましたこと、感謝いたします。

## 参考文献

1. H. M. Kabir, T. Narusawa, F. Nishiyama and K. Sumi, "Elemental Analysis of Uranouchi Bay Seabed Sludge Using PIXE.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.16-3,4, 221-230 (2006)
2. 世良耕一郎、馬場史孝、後藤祥子、高橋千衣子、齋藤義弘、松政正俊、"3.11 東北大津波被災地沿岸の干潟における堆積物と植物の分析 - 海洋生態系再生への影響 -、本報文集 (2012)
3. 廃棄物資源循環学会「災害廃棄物対策・復興タスクチーム」, "東日本大震災における堆積汚泥の化学性状について", published online 5 July (2011/4/21)
4. 廃棄物資源循環学会「災害廃棄物対策・復興タスクチーム」, "仙台市内で採取された災害汚泥試料の化学性状について (第 2 報: 油分と POPs)", published online (2011/4/19)、<http://tinyurl.com/3b958dl>
5. K. Sera, and S. Futatsugawa, "Quantitative Analysis of Powdered Samples Composed of High-Z Elements.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.8-2,3, 185-202 (1998)
6. S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh, and K. Sera, "Present Status of NMCC and Sample Preparation Method of Bio-Samples." *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 3- 4, 319-328 (1993)
7. K. Sera, T. Yanagisawa. H. Tsunoda, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh, S. Suzuki, and H. Orihara, "Bio-PIXE at the Takizawa Facility. (Bio-PIXE with a Baby Cyclotron).", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 2-3, 325-330 (1992)
8. K. Sera, and S. Futatsugawa, "Effects of X-ray Absorbers Designed for Some Samples in PIXE Analyses.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 5-2,3, 181-193 (1995)
9. K. Sera, S. Futatsugawa and S. Murao, "Quantitative Analysis of Untreated Hair Samples for Monitoring Human Exposure to Heavy Metals.", *Nucl. Inst. Meth. in Physics Research*, B189, 174-179 (2002)
10. K. Sera, K. Terasaki, T. Sasaki, S. Goto, Y. Saitoh, and J. Itoh, "Studies on Changes of Elemental Concentration in a Human Body by Means of Analyses of Long Hairs on the Basis of the Standard-Free Method.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.19-1, 2, 17-27 (2009)
11. F. Baba, K. Sera, S. Goto, C. Takahashi and Y. Saitoh, "Analysis of Contaminated Sludge Deposited on the Land Attacked by Great Tsunami Following Tohoku Great Earthquake Disaster.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.22-1-2, 231-239, (2012)

## **Analysis of contaminated sludge deposited on the land attacked by great tsunami following Tohoku great earthquake disaster**

K. Sera<sup>1</sup>, F. Baba<sup>1</sup>, S. Goto<sup>2</sup>, C. Takahashi<sup>2</sup> and Y. Saitoh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cyclotron Research Center, Iwate Medical University  
Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

<sup>2</sup>Nishina Memorial Cyclotron Center, Japan Radioisotope Association  
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

### **Abstract**

A massive tsunami following Tohoku-Earthquake Disaster brought a large amount of sludge, which originated from the sediments pilling upon the bottom of the sea to the residential areas. As it is anticipated that the sludge contains a large amount of heavy toxic elements, its influence on the health of the suffered people will become a problem. In the present study, 72 sludge samples were taken from the stricken areas by the tsunami over the wide area; (Aomori, Iwate and Miyagi prefectures). These samples were treated on the basis of a powdered-internal-standard method and analyzed by means of PIXE with a specially-designed absorber. It was found that the sludge contains much amount of heavy elements such as arsenic, lead, zirconium, barium etc. in comparison with those in soils collected in the inland district of Iwate prefecture. Furthermore, 16 plant samples were gathered in the estuary area, on which the sludge deposited, and analyzed in order to evaluate the effect of the sludge on the ecosystem. These results were compared with those for 45 plant samples collected in the inland district of Iwate, Miyagi and Fukushima prefectures. It was found that these plants contain lager amount of heavy elements in comparison with those in the inland plants.