

3.11 巨大津波により陸地・汽水域にもたらされた

汚泥試料及び植物試料中の重元素の分析

世良耕一郎¹、後藤祥子²、高橋千衣子²、齋藤義弘²

¹ 岩手医科大学サイクロロンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢留が森 348-58

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

1 はじめに

2011年3月11日(以下3.11)東北大震災に伴う巨大津波は、岩手・宮城・福島三県を中心とした広大な範囲にわたり膨大な被害をもたらした。さらに津波は、海底に堆積する重元素汚染された多量の汚泥(ヘドロ)を陸地に運び上げた。ヘドロは港湾部・沿岸部ばかりではなく市街地、住宅地、そして農地にまで堆積した。我々の以前からの研究などにより、我国の沿岸部においては海水及び海底の堆積物中の重金属汚染が進行しており、養殖海産物などにその影響が出ていることが知られていた^{1,2)}。しかし通常時には汚染された汚泥は海底に堆積し、陸地や汽水域に及ぼす影響は大きくなかったが、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。我々はヘドロの健康影響を調べる目的で、2011年7~9月にかけて仙台空港から八戸までの広い沿岸域において陸地に堆積した汚泥72試料を採取し、分析結果の報告を行った^{3,4)}。その結果、陸上に堆積したヘドロ中には多量の重元素が含まれていることが確認された。ヘドロは乾燥後粉塵化するため、その吸入により被災者の健康にも悪影響を及ぼす可能性がある。

一方、沿岸における汽水域は、豊富かつ多様な海洋生態系を有することで知られている。中でも干潟は海洋生態系を育む温床となっており、それが三陸の主産業の一つである養殖業を支えてきた。しかし岩手・宮城沿岸においては、牡蠣、ホタテ、ホヤなどの養殖業が津波により壊滅的な打撃を受け、2年経った今でも再開されているのは一部のみである。養殖業の完全復興のためには、先ず干潟の形成、それに続く海洋生態系の再生というステップを踏むことが必要となる。しかし生態系の再生に与える重金属汚染の影響が懸念される。我々は2011年8月に岩手県津軽石干潟・同織笠干潟・宮城県蒲生干潟上にて土・植物それぞれ19試料の採取を行い、分析結果の報告を行った^{5,6)}。その結果、特に干潟上に生

育する植物中の重金属濃度が、3.11 津波後非常に高くなっている事実が確認され、生態系への影響が心配される結果となった。

本研究においては、陸地に堆積したヘドロを2011年11月から2012年3月にかけて宮城・福島両県で採取し、2011年7月から9月にかけて採取した試料^{3,4)}との比較を行う。さらに2012年10月に津軽石・織笠両干潟上において土壌と植物の採取が行われ、2011年の分析結果との比較、重金属の人々に対する健康影響、海洋生態系再生に対する影響に関する検討が行われる。

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計8回（2011年7月20日、8月14日、8月31日、9月3日、9月17日、11月10日、2012年3月3日、10月10日）にわたって行われた。試料の総数は102、このうち今回の報告は、2011年11月10日以降に採取された30試料を対象とする。Fig. 1にそれらの試料採取が行われた場所を示すが、いずれも宮城・福島両県内であり、前回対象外となっていた宮城南部・福島北部の区域が中心である。

また、干潟上の土試料の採取は2012年10月10日、干潮時に合わせ岩手県津軽石・織笠両干潟上で行われ、10の土壌試料が採取された。さらに津軽石干潟上に生育する植物13試料、織笠干潟上の植物8試料の採取が同日行われた。

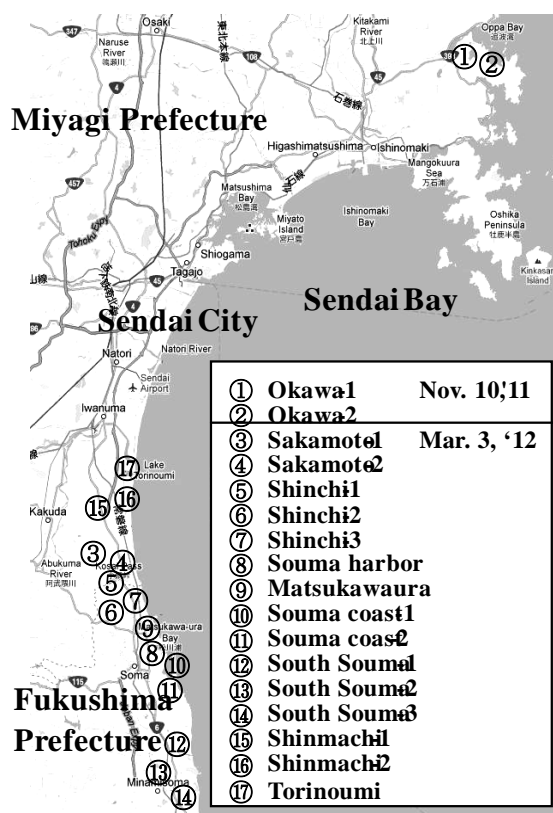


Fig. 1 Sampling spots of the sludge samples.

Tsuagaruishi tideland	A: Hamaninniku Leaf	<i>Elymus mollis</i>
	B: Hamaninniku ear	<i>Elymus mollis</i>
	C: Hamaakaza leaf	<i>Atriplex gmelinii</i>
	D: Hamaakaza ear	<i>Atriplex gmelinii</i>
	E: Reed leaf	<i>Phragmites australis</i>
	F: Reed ear	<i>Phragmites australis</i>
	G: Obana leaf	<i>Miscanthus sinenaia</i>
	H: Obana ear	<i>Miscanthus sinenaia</i>
	I: Reed-2 leaf	<i>Phragmites australis</i>
	J: Reed-2 ear	<i>Phragmites australis</i>
	K: False bindweed	<i>Calystegia soldanella</i>
	L: Nokongiku leaf	<i>Aster microcephalus</i>
	M: Nokongiku flower	<i>Aster microcephalus</i>
Orikasa tideland	A: Akinogeshi	<i>Lactuca indica</i>
	B: Mugwort	<i>Artemisia indica</i>
	C: Gishigishi leaf	<i>Rumex japonicus</i>
	D: Devil's beggartick flower	<i>Bidens frondosa</i>
	E: Devil's beggartick leaf	<i>Bidens frondosa</i>
	F: Hamaakaza leaf	<i>Atriplex gmelinii</i>
	G: Hamaakaza stem	<i>Atriplex gmelinii</i>
	H: Hamaakaza ear	<i>Atriplex gmelinii</i>

Table. 1 Sample list of the plant samples.

2.2 試料調製

ヘドロを含む土試料は感熱滅菌器内で 105 °C に保ち 10 時間乾燥された。試料は、秤量後「粉末内部標準法⁷⁾」により調製され、パラジウム-カーボン粉末が Pd = 10,000 ppm になるように加えられ、メノウ乳鉢内で均一化された。その 1 mg ほどが 4 μm Prolene 膜上に乗せられ、少量の 1% コロジオン溶液にて固定され、ターゲットが作成された。植物試料は乾燥・秤量後「硝酸灰化-内部標準法⁸⁾」により処理され、内部標準として 1000 ppm の In が加えられ、圧力容器の中で濃硝酸とともに電子レンジ内で灰化された。その 10 μL ほどが同じく 4 μm Prolene 膜上に載せられ、乾燥後ターゲットとされた。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 Fig. 1 中に、津軽石・織笠両干潟で採取された植物試料とその学名は Table 1 に、それぞれ記載されている。

2.3 照射・測定条件

島津製作所製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、真空散乱槽内に導入される。発生した X 線は、2 台の Si (Li) 検出器により測定される⁹⁾。検出器 1 の先端には 500 μm 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グラフィート製 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重元素の感度を 2 桁高める効果のある「特殊吸収体¹⁰⁾」による測定も合わせて行われた。ビーム径は 6 mmφ、平均的ビーム電流及び測定時間は 80 nA、3~10 分であった。ヘドロ・土試料に対する特殊吸収体を装着した典型的スペクトルは、参考文献 4 Fig. 2 を参照されたい。

3 結果と議論

Fig. 2 に 2011 年 11 月 10 日 (宮城県石巻市雄勝: 大川) と 2012 年 3 月 (宮城県南部・福島県北部) に採取されたヘドロを含む土試料の分析結果を示す。この中で試料 No.1 と 2 は大川小学校北西部の北上川と並行して流れる小川の岸に大量に堆積していたヘドロを採取したものであり、No.3 以降は沿岸に近い道路脇や住宅地、港などで採取された。図中には、2011 年 9 月以前に採取された 72 試料の平均値と、岩手県内陸部 47 地点から採取された土壌 (2008 年以前に採取) 中元素濃度の平均値が、それぞれ赤線・青線で示してある。今回の試料中元素濃度は概ね 2011 年 9 月以前の試料と同様な傾向を示すが、Cr、As、Na、Cl などは大幅に小さい値を示している。一方 Ba、Hg のみは若干高い値を示している。注目に値するのは、雄勝 (大川) で採取された No. 1 と 2 の試料が、20,000 ppm 以上の異常に高い S 濃度を示していることだが、その原因は不明である。

Fig. 3 には、津軽石・織笠干潟上で採取された土壌試料の分析結果を示す。図 2 と同様、両干潟で 2011 年 8 月に採取された土壌試料の平均値が赤線で、岩手内陸 47 土壌試料の平均値が青線で示されている。図にみられるように、Ba を除く多くの元素濃度が 1 年 2 ヶ月後には大幅に減少している。これらの結果から、干潟上の土壌はもはや重金属により汚染されていないことが確認できた。

次に津軽石干潟上で 2012 年 10 月 10 日に採取された野草試料の結果を Fig. 4 に示す (種類・学名は Table 1 参照)。図中には、2011 年 8 月 31 日に同じ干潟上で採取された植物中元素濃度の平均値が赤線で、内陸の植物 45 種の平均値が緑線で示されている。図に見られるように、Na、S、Cl、K、Ca、Ti、Mn、Cu、As、Pb などの多くの元素濃度が 2011 年採取試料と比べ著しく減少しており、一方、Mo、Zn など一部の元素の濃度は若干増加している。Fig. 5 には、同様の比較を織笠干潟上で採取された植物に対して示す。津軽石干潟の場合とほぼ同様、Mo 以外の多くの元素濃度が一年前と比べ大幅に減少している。これらの結果から、干潟における重元素の生態系再生に与える影響はもはや深刻ではなく、生態系の再生は順調に進むことが期待される。Mo のみが濃度を増加させている理由は不明だが、これらの干潟上では生態系が復活しつつあり、微生物の代謝に関係した変化である可能性もある。

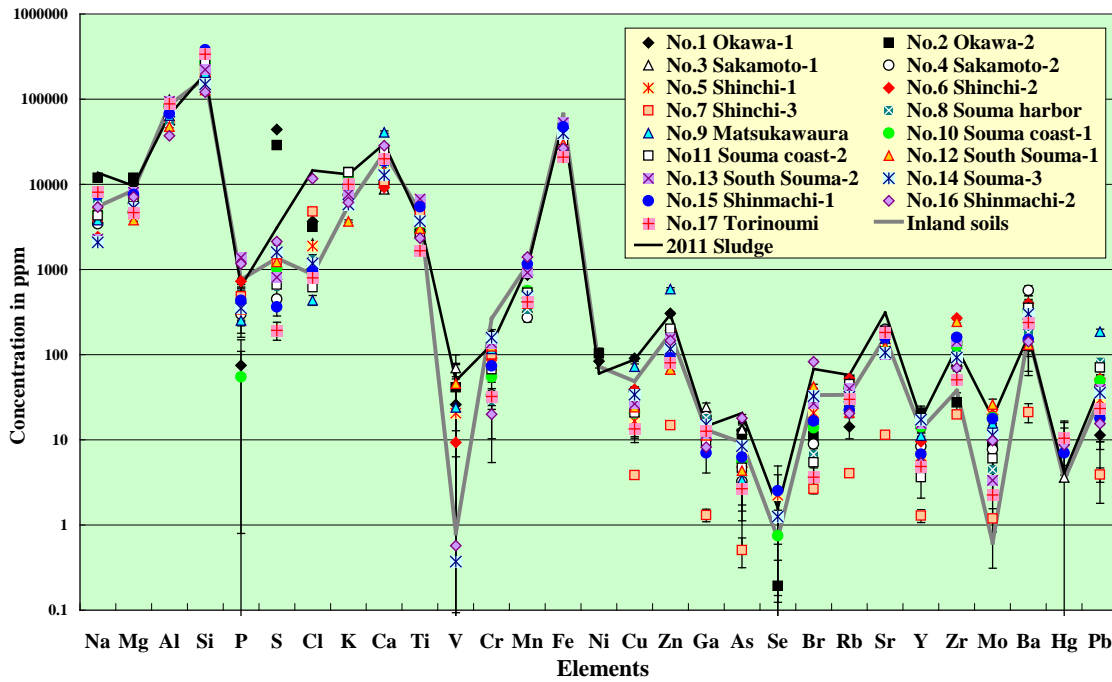


Fig. 2. Elemental concentrations in the soils containing sludge collected on November 10 and March 3 in 2011 from the Miyagi and Fukushima prefectures. The vertical axis is displayed on logarithmic scale. Error bars indicate experimental errors coming from spectrum fitting and uncertainties of some physical quantities such as detection efficiency and values of transmission of X-rays through X-ray absorbers.

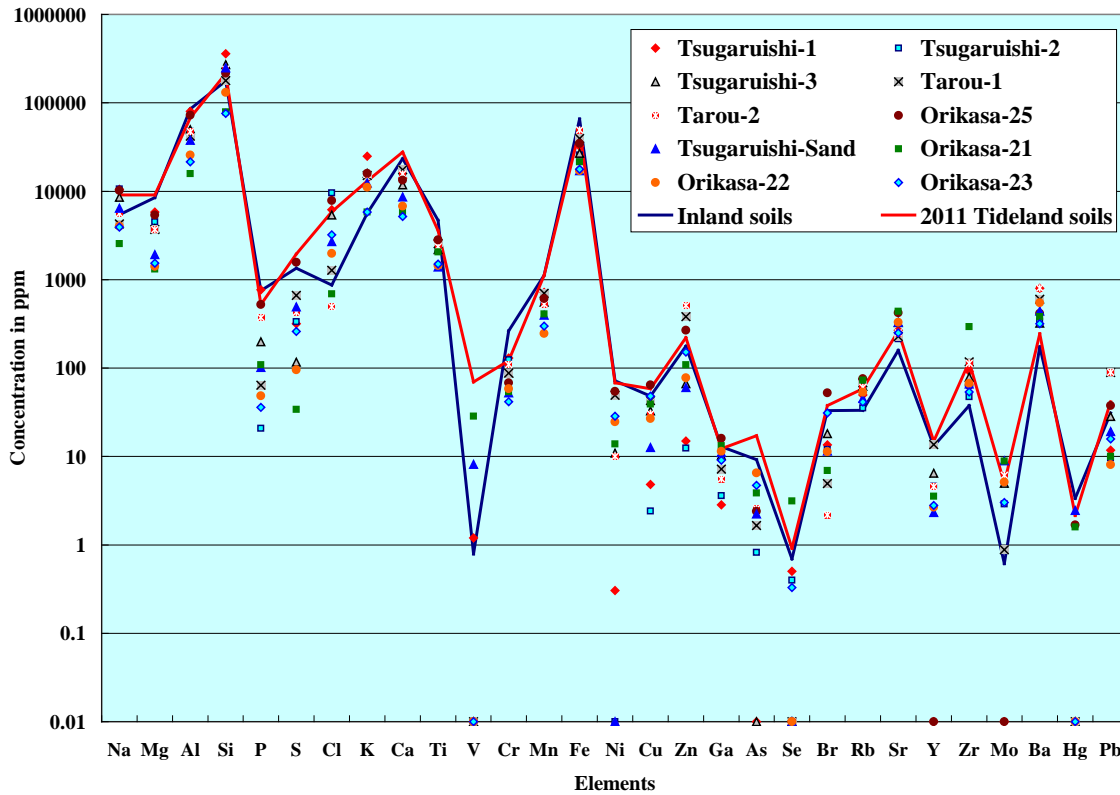


Fig. 3. Results of the soil samples collected from the Tsugaruishi and Oriyasa tidelands. The average values of the samples collected from the same tidelands in 2011 are shown (black line) together with those of 47 inland soils collected in the Iwate prefecture (gray line).

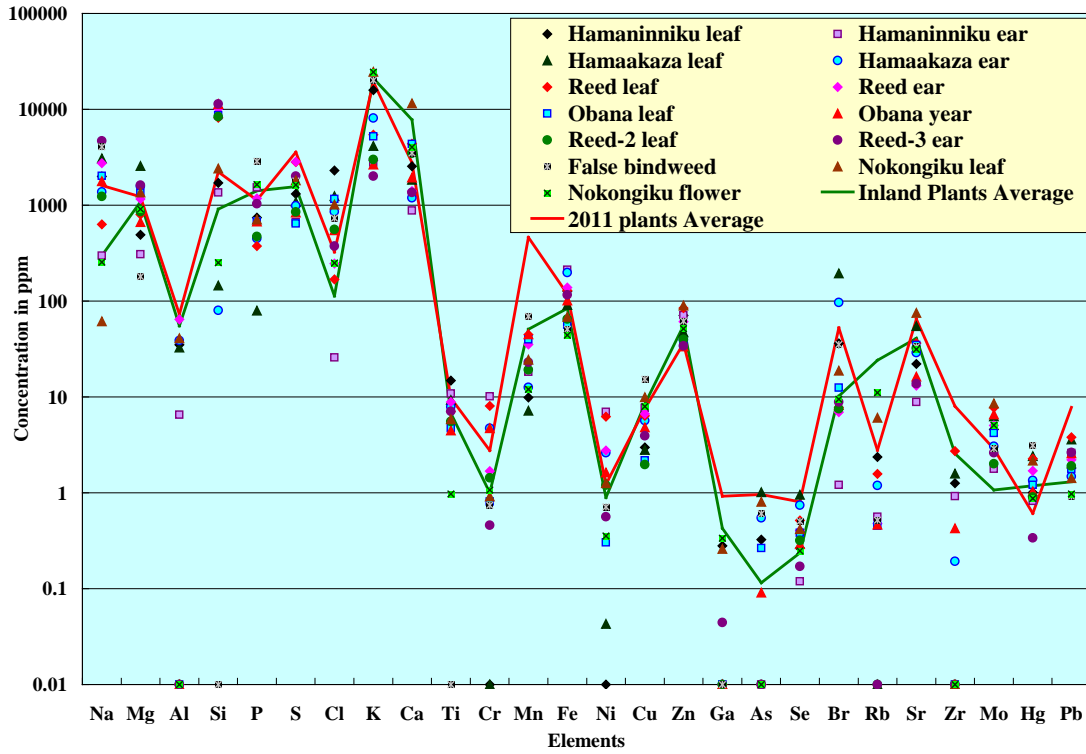


Fig. 4. Elemental concentrations in the plants collected from the Tsgaruishi tideland on October 10, 2012, together with the average values of the concentrations in the plants collected on the same tidelands on August 31, 2011 (black line).

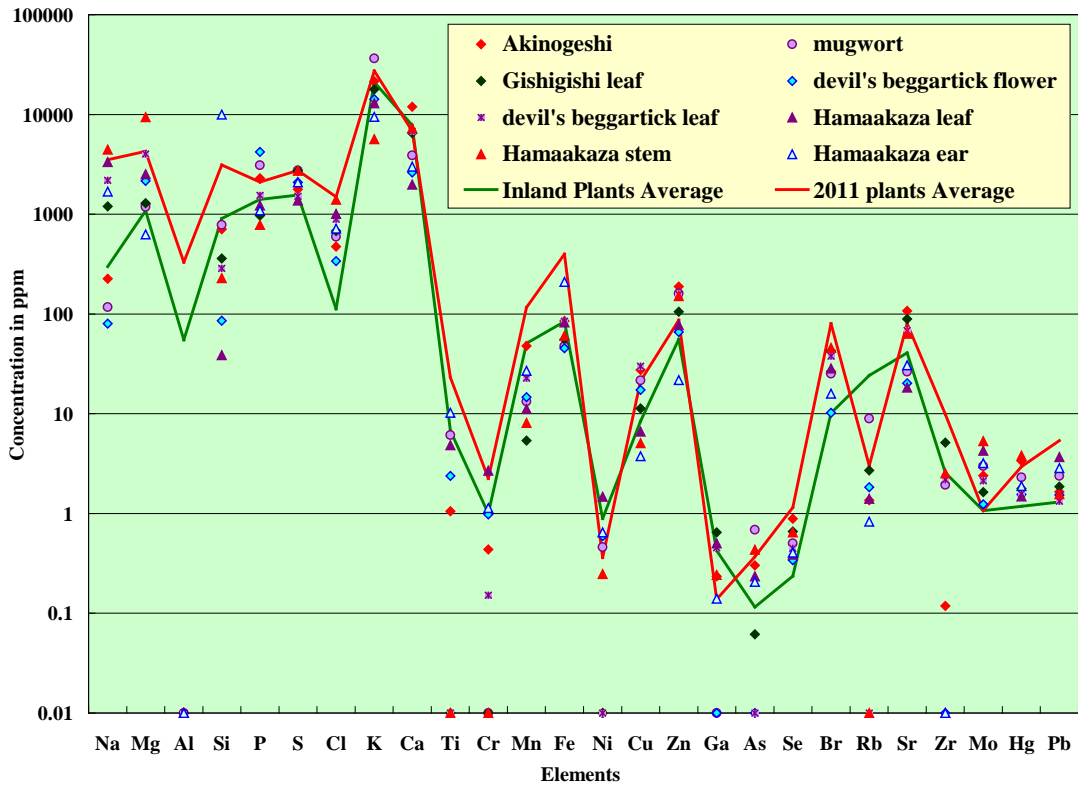


Fig. 5 Same as Fig. 4 but for the plants collected from the Orikasa tideland.

以上の結果から、3.11 津波により陸地・干潟・汽水域にもたらされたヘドロ中の重金属は、風雨や海水に洗われ大幅に濃度を減少させていることが確認できた。そのため市街地などに堆積したヘドロも、1年経過後にはもはや人々の健康の脅威とはならない状況となっている。しかし2011年までは重金属汚染されたヘドロが多量に市街地に堆積し粉塵化していたため、その吸入による健康被害が心配される。被災者の体内元素濃度の3.11前後の変化に関しては、本報文集中別報¹¹⁾にて報告を行う。

一方、干潟上もかなり浄化されている。Fig. 3に見られるように干潟上土壌中の重元素も大幅に濃度を低下させており、2011年に高濃度の重金属を吸収していた植物も、Fig. 4、5に見られるように1年後にはその濃度を大幅に減少させていることが確認された。しかし海洋生態系における食物連鎖中に重金属が一時的に潜んでおり、今後再び表に現れ生態系の再生に影響を与える可能性も否定できない。これらの干潟は物理的にも堆積が進み元の姿に戻りつつあり、アサリ・カニなどの生態系も徐々に再生している。そのため、海洋動物の分析も徐々に可能な状況となっている。今後、海洋生物を採取し、その体内の重金属濃度を継続して監視していく必要があると思われる。

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. J. Itoh, S. Futatsugawa, Y. Saitoh, F. Ojima, and K. Sera, "Application of a Powdered-internal-standard Method to Plant and Seaweed Samples.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.15-1,2, 27-39 (2005)
3. 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)
4. 世良耕一郎、馬場史孝、後藤祥子、高橋千衣子、齋藤義弘、"3.11 巨大津波がもたらした重元素汚染された汚泥試料の分析"、NMCC 共同利用研究成果報、第 18 巻, 84-92 (2012)
5. K. Sera, F. Baba, S. Goto, C. Takahashi, Y. Saitoh, and M. Matsumasa, "Analysis of Plants and Sediment from the Tidelands of the Coastal Regions of the Tohoku District Following the 2011 Tsunami.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.22-1-2, 139-147, (2012)
6. 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 -"、NMCC 共同利用研究成果報、第 18 巻, 93-101 (2012)
7. 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)
8. S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitou, 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)
9. 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)
10. 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)
11. 世良耕一郎、後藤祥子、高橋千衣子、齋藤義弘、山内広平、"3.11 巨大津波による重元素汚染の被災者への影響"、NMCC 共同利用研究成果報、第 19 巻, (本報文集)

Effects of heavy elements in the sludge conveyed by the 2011 tsunami on the recovery of the marine ecosystem

K. Sera¹, S. Goto², C. Takahashi² and Y. Saitoh²

¹Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

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

Abstract

The 2011 tsunami not only caused significant damage, but also drew a large amount of sludge from the bottom of the sea. This may have exerted negative effects on the recovery of the marine ecosystem. Sludge samples were collected from two prefectures (Miyagi and Fukushima prefectures) in 2012. Although the sludge samples on land were found to be still contaminated with heavy elements, their concentrations became lower for most elements. Ten soil and 21 plant samples were collected again after one year (October 10, 2012) from the Tsugaruishi and Orikasa tidelands in the Iwate prefecture. It was found that the soils and plants collected from tidelands are no longer seriously contaminated. Judging from these facts, the negative effects of heavy elements on the recovery of the marine ecosystem in the Sanriku district are not serious, and reconstruction of the culturing industries is promising.