

＜特集＞東日本大震災から10年を経過して～国環研及び被災3県の環境研の取組～

被災地岩手のあの時、そしてこれから

岩手県環境保健研究センター

1. はじめに

東日本大震災津波発災から早10年、この間、地方環境研究所として、復旧・復興に向け環境の危機管理を中心に様々取り組んできたが、未だ、放射性物質による影響が一部残っている状況が続いている。

当センターは、発災後、放射線量の測定をはじめ、化学物質漏洩による水質・底質調査、災害廃棄物集積場におけるアスベスト調査、沿岸域の希少植物被害調査など、東日本大震災津波による影響を把握するため環境調査を実施してきた。この度、その中でも特筆できる震災対応事例として「震災時の環境調査」と「沿岸域の海浜性希少植物調査」を紹介する。

また、これまで全国の地方環境研究所等の皆様からお寄せいただいた御支援に、誌面をお借りして感謝申し上げます。

2. 東日本大震災津波被災地における環境調査 —AIQS-GCによる調査結果を中心に—(伊藤朋子)

数分にわたる強烈な横揺れと、それに続く停電。東日本大震災津波では、岩手県沿岸全域が津波に被災し、多くの人命が失われた。また、被災した工場・事業場から、環境中に多様な化学物質が流出したと考えられる。

ここでは、発災後約1年間の当センターの状況や、震災に関連して行った環境中の化学物質測定について、当時を振り返るとともに、災害時の測定に関する所感を記載したい。

2.1 発災直後から数週間の対応

当センターは、岩手県内陸部の盛岡市に位置している。東日本大震災津波では震度5強とかなり強い揺れだったが、建屋の致命的な損傷は何とか免れることができた。また、薬品漏洩や大型装置の転倒も起きなかったが、試薬棚の耐震補強と試薬トレーの活用、装置の下に耐震マットを設置する等の対策を取っていたことが功を奏したと考えている。

発災後1週間は、施設の被害状況の確認と、救援物資の仕分け等へ職員派遣を行っていた。分析装置については、各メーカーから無償で動作点検を実施していただ

き、1か月程度で測定機能を回復することができた。大きな揺れや、突然の停電に見舞われたが、GC-MSやLC-MSにはほぼ損傷はなく、すぐに使用できるようになったのは幸いであった。

2.2 震災に関連した環境調査

2.2.1 大槌町における化学物質調査事例

発災直後は分析どころの話ではなかったが、3週間ほど経った頃、初めて震災関連の測定依頼を受けた。

調査対象となった大槌町は、岩手県の中でも特に被害の大きかった場所の1つである。町の中心部を津波が襲ったため、死者・行方不明者は住民の約1割にも及び、自衛隊、警察、消防及び海上保安庁が行方不明者の捜索を行っていた。

3月下旬に、小槌川河口付近で捜索に当たっていた自衛隊により、毒物（ドクロマーク）表示された容器が散乱し、内容物が漏洩しているのが発見された。

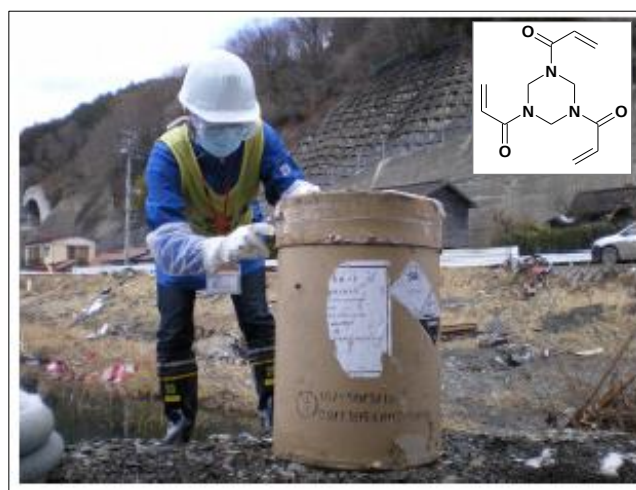


図1 発見された容器と内容物の構造式

工場の倉庫が被災し、原末が入った段ボール容器やドラム缶、水溶液のタンクなど、約40tが流出した。

現地調査により、流出した物質は、河口近くの工場で使用していた化学物質（1,3,5-Triacryloylhexahydro-1,3,5-triazine（以後、トリアジン化合物という。）、繊維の柔軟加工用薬品原材料）であり、MSDSから、原末や

高濃度溶液に触れると、皮膚がかぶれる等のリスクがあることが判明した。

漏洩情報は各機関に共有され、住民には被災事業者の広報や新聞等を通じ、注意喚起が行われた。

住民や、捜索を行うダイバー等の安全確保のため、同物質の残留実態が知りたいとの要望があり、河川水濃度を測定することになった。



図2 河川採水の様子（2011. 3. 29）

震災後3週間程度たったが、水面には、流出した家屋などのがれきが散乱している。

流出したトリアジン化合物は、既存の分析法がなく、標準物質もすぐに入手することはできなかった。このため、どのように測定を行うか、検討が必要であった。

岩手県では、2006年頃からGC-MS用の自動同定・定量データベースシステム（AIQS-GC）¹⁾（製品名：西川計測社 NAGINATA）により、魚類へい死事故等の原因物質検索を行っている。同システムは、北九州市立大学門上先生により開発されたもので、装置条件を一定に調整することで、標準物質を用いずに、データベースに登録された約1,000種類の化学物質を同定し、定量値を得ることができる。トリアジン化合物はAIQS-GCに未登録の物質であったが、NISTライブラリーにマススペクトルが収録されていた。AIQSの測定メソッド（幅広い物質に対応しており、SCAN分析を行う）で有無だけでも確認できるのではないかと考え、適用することにした。

河口付近で採水した河川水をジクロロメタンで液液抽出（300倍濃縮）し、AIQS-GCのメソッドで測定した。

得られたクロマトグラムをNIST08ライブラリーで検索したところ、一致率90%でトリアジン化合物にヒットするピークを検出した（図3）。また、AIQS登録物質についても解析を行っているが、この時の水質からは、フェナントレンと2-メチルナフタレンが検出されている。

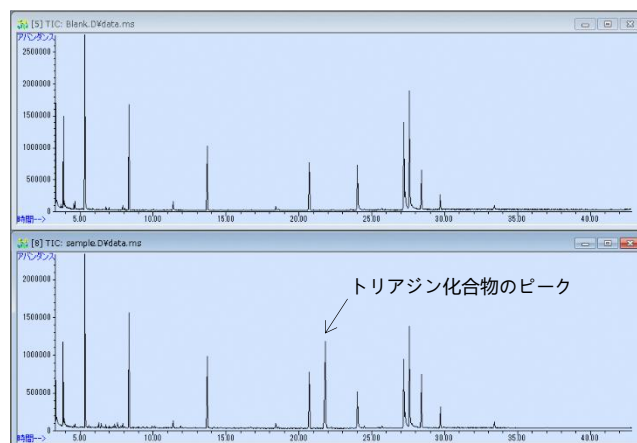


図3 河川水のクロマトグラム

上段：操作ブランク、下段：小槌川河川水。トリアジン化合物以外のピークは内標準もしくは、フタル酸類などブランクのマトリックスのもの。

後日、標準物質が入手できたことから、GC-MSとLC-MS/MS両方で定量分析を実施したところ、トリアジン化合物の水質濃度は0.060mg/Lであった。

なお、GC-MSの定量測定では、AIQS-GCのデータベースにトリアジン化合物のマススペクトル、RT及び検量線情報を追加登録し、先の測定で得られたクロマトグラムから濃度を算出した。過去に取得したデータから、新規登録物質のレトロスペクティブ分析が可能であることも、AIQSの優れた点の一つである。

2.2.2 大船渡湾における底質調査事例

時間の経過とともに、県内各地の詳細な被害状況が明らかとなり、これに対応していくつかの環境調査を実施した。ここでは、閉鎖性海域への重油流出に関する底質調査事例を紹介する。

大船渡湾は県内有数の閉鎖性海域で、カキ養殖が盛んな場所でもある。震災後数か月で湾内の瓦礫が撤去され、養殖業の再開に向けた準備が進められていた。

しかし、大船渡湾では津波によりC重油の流出事故が発生しており、水産業への影響が危惧された。

底質等の汚染実態を把握するため、AIQS-GCにより、PAHを中心とした化学物質のスクリーニングを行った。

調査は、2011年7月と12月に実施した。7月時のデータを表1に示す。震災後数か月経過した7月時点でも、採取した底質には油膜や油臭が確認された。AIQS-GCの測定結果でも、C重油に由来すると考えられるPAHが検出された。

表1 大船渡湾底質の測定結果 (μg/g-dry)

検出化合物	測定地点		
	S-31	S-32	S-33
ナフタレン	0.063	0.082	0.092
アセナフレン	<0.002	0.41	0.52
アセナフテン	<0.002	0.085	0.096
フルオレン	<0.002	0.41	0.40
フェナントレン	0.82	4.8	4.2
アントラセン	<0.002	0.90	0.80
フルオランテン	<0.002	6.8	7.0
ビレノ	0.63	7.4	7.4
クリセン	<0.002	3.0	3.0
2-メチルナフタレン	<0.002	0.084	0.14
ベンゾ(c)フェナントレン	<0.002	0.61	0.54
ベンゾ(c)アントラセン	<0.002	3.3	3.1
ベンゾ(k)フルオランテン	<0.002	1.2	1.5
ベンゾ(a&j&b)フルオランテン			
ソ	0.15	3.3	2.5
ベンゾ(a)ビレノ	0.22	3.6	2.9
ベンゾ(e)ペリレン	<0.002	1.1	1.0
ベンゾ(ghi)ペリレン	<0.002	2.1	1.3
インデノ(1,2,3-cd)ビレノ	<0.002	2.0	1.7
PAHs合計	1.9	41	38
ビフェニル	<0.002	0.057	0.082
ジベンゾフラン	<0.002	0.17	0.063
ジベンゾチオフェン	<0.002	<0.002	0.041

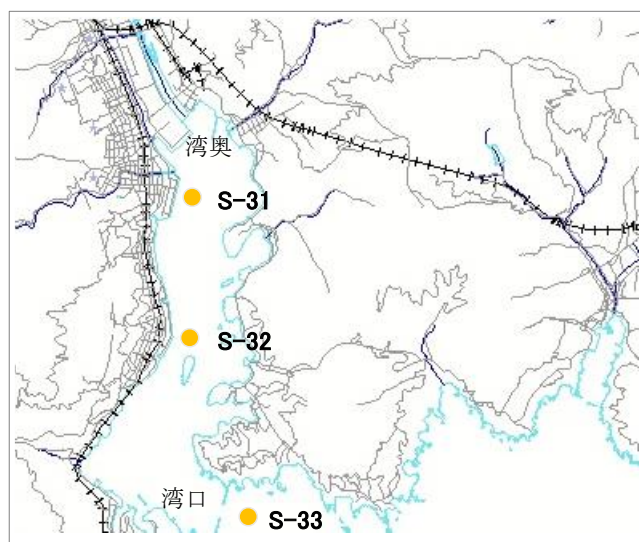


図4 採泥位置

S-31地点は、津波により底泥が浚われ砂質状となっていた。このため、他の2地点よりPAH含量が少なかったと推察された。

岩手県だけでなく、津波被災地では、重油その他石油製品の流出が起き、宮城県石巻では流出したA重油による海上火災が発生した。

国立環境研究所牧先生を中心として行われた調査で、宮城県及び岩手県沿岸の底質にPAHが残留していることが明らかとなったが、その後の調査で、経時的に濃度が減衰していることが確認されている²⁾。

2.3 震災時の環境調査に関する所感

東日本大震災津波の環境調査では、トリアジン化合物のように、通常測定しないような物質についても、測定ニーズがあった。また、津波により、通常とは異なる状況で化学物質が流出したため、何が、どのように環境中へ放出されたのか不明であり、無機物から有機物まで、幅広く、かつ迅速に測定できる技術力、体制が必要であると痛感した。

震災当時、GC-MSについては、製品版のAIQSが西川計測と島津製作所からリリースされており、前処理についても、水質・底質それぞれに検討が行われていた³⁾⁴⁾。

岩手県ではこれらを参考として、震災後の環境調査を実施することができた。また、AIQS-GCを適用した震災時の環境モニタリングは、国立環境研究所中島先生が、宮城県の災害廃棄物仮置き場周辺の水質について実施されている⁵⁾。

トリアジン化合物の例では、水溶性が高かったこともあり、LC-MS/MSでも測定を行った。LC-MSは、化学物質の水質中濃度が高い場合、直接注入が行えるなどの利点があるが、震災当時はGC-MSのNISTライブラリー検索のような使い方が難しく、標準物質が必要であった。

現在、LC-QTOF/MS (サイエックス製 X500R) 用のデータベース (AIQS-LC)⁶⁾が開発され、GC-MSでは測定できない高極性物質のターゲットスクリーニングも可能となった。

また、QTOF/MSの場合、高分解能で測定を行うことから、得られたデータを活用して、サスペクトスクリーニングやノンターゲット分析等の高度な検索も行うことができる。

東日本大震災津波以降も、熊本地震や北海道胆振東部地震、大雨による水害など、毎年のように自然災害が発生している。我々地方環境研究所は、このような災害、事故時に、迅速に汚染実態を調査し、住民の安全確保のため、科学的データを伝えていく必要がある。

災害時の環境調査の実施方法については、「緊急時環境モニタリング手法調査マニュアル」⁷⁾や東日本大震災津波後の「有害化学物質の緊急時モニタリング実施指針(第一版)」⁸⁾などのマニュアルが参照できる。

また、国立環境研究所と地方環境研究所のⅡ型研究において、AIQS-GCを活用した事故・緊急時の化学物質モニタリング手法が検討されており、有事の備えとして活用できると考えている。

3. 海浜性希少植物の被災後から現在にかけての状況とこれからの研究への展望（小山田智彰）

3.1 はじめに【調査10年】

2011年3月11日に三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震によって大津波が発生した。この東日本大震災津波の津波は岩手県沿岸部に甚大な被害をもたらした。海岸植生にも多大な影響を及ぼした。

当センターでは、発災から津波の影響調査のため現地へ入る見通しがついた2011年7月に初めて岩手県沿岸の全域調査を実施している。（図5、6）その後は、2012年から2015年までは消失の危険性が高い植物中心に調査し、2016年は震災5年後として2回目の全域調査を行っている。2017年から2019年は消失の危険性が高い植物に限定して調査し、2020年は、これまで調査未実施であった箇所も追加して大規模調査を行った。

2021年は東日本大震災津波発生から10年となることから、海浜性希少植物の動態を把握するため、過去に実施した調査地点に未実施の地点を加えた調査を敢行した（図7）。



図5 小本海岸は砂浜が洗掘されていた（2011年7月）



図6 津軽石川河口付近の塩生湿地（2011年7月）

・マルミノシバナとウミミドリがわずかに残存していた

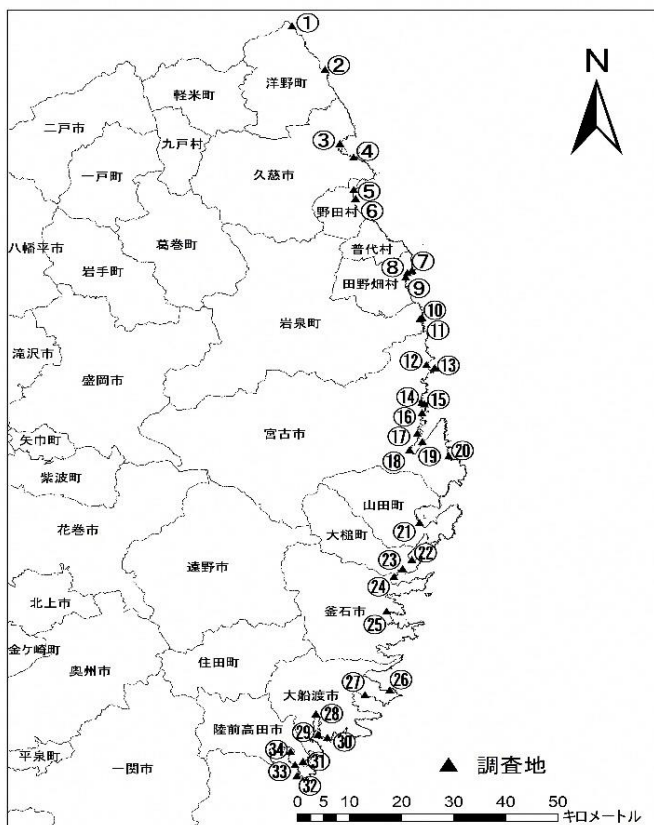


図7 海浜性希少植物の調査地

3.2 結果【海浜性希少植物の動態】

調査は、海浜性希少植物が生育する地点（以下、調査地点）を踏査し、希少植物の有無、個体数を記録後、生育位置をGPSに記録した。また、表2に示した「自生地消失リスク評価表」を用いて、津波前と津波後、2016年、2020年、2021年の調査で希少植物を確認した34調査地点について、「繁殖」、「立地」、「採集」、「個体数」、「自然災害の影響」、「生育基盤の変化」の6項目を5段階で評価し、得点が高いほど消失リスクが高い種として評価した。

東日本大震災津波の津波発生前および震災5年後の全域調査で確認してきた希少植物の消失リスク評価の結果を表3に示した。津波直後から2016年の消失率は7.7%であったが、2021年の消失率は30.8%に増加した。このように、津波による直接的な影響もあるが、その後の復興工事による影響や自然災害（台風）の影響も大きいことが伺える。

例えば、久慈市の久慈川と岩泉町の小本海岸南側のハマボウフウは、砂浜の一部に砂利が敷かれた後に消失しており、宮古市の津軽石川河口のウミミドリは、生育地点にコンクリートブロックが新設されて消失した。大槌町の大槌川のカワヂシャは、橋の基礎補強工事後に消失し、小槌川カワヂシャは、生育地がコンクリート化されて消失した。釜石市の甲子川と大船渡市の盛川のカワ

デシヤは、河川工事が行われた後に消失している。大船渡市の泊漁港のハマナデシコは公共トイレ裏の岩場に自生していたが、漁具の仮置場になるなどの自生環境が悪化して消失した。宮古市の太田浜のエゾオグルマは、津波発生後に行った移植等によって維持していたが、2019年に発生した台風19号によって移植地を含む砂浜が破壊され、2020年の調査によって消失を確認した。

次に消失リスク評価の「繁殖」、「立地」、「採集」、「個体数」、「自然災害の影響」、「生育基盤の変化」の6項目の各平均値を図8に示した。「繁殖」、「個体数」、「自然災害の影響」、「生育基盤の変化」が「採集」よりも高くなり、特に2020年の調査までは、6項目のうち、「生育基盤の変化」が増加傾向を示し、消失していた6地点中5地点で工事による人為的な改変が影響していた。2021年の「生育基盤の変化」は2021年よりも低い値となったが、消失した3地点の植物は、工事による人為的な影響が原因であった。

以上の結果から、海浜性希少植物の保護には、「生育基盤の変化」によって個体数の減少がみられる植物に注目して保護対策を進めることが重要であることが分かった。

表2 消失リスク評価表

a. 繁殖 ・自然状態での繁殖能力 5 ほとんど増殖が認められない 4 弱い増殖力がある 3 中位の増殖力が認められる 2 著しい増殖力がある 1 強大な増殖能力がある	d. 個体数 ・分布地点における個体数 5 消失 4 10個体未満 3 10個体以上数十個体 2 100個体以上数百個体 1 1,000個体以上
b. 立地 ・ハビタットの消失危険度 5 極めて強い 4 強い 3 中 2 弱い 1 無い	e. 自然災害の影響 ・東日本大震災後の自然災害（台風・高潮） 5 完全に消失 4 ほとんどが消失し復元が困難 3 個体の減少が激しい 2 個体の減少がある 1 変化なし
c. 採集 ・選択的採集の危険度 5 極めて強い 4 強い 3 中 2 弱い 1 無い	f. 生育基盤の変化 ・復興工事等の人為的な改変によるもの 5 完全な改変あり 4 大規模な改変あり 3 部分的な改変あり 2 一部に改変あり 1 変化なし

表3 消失リスク評価の結果一覧

調査地	種名	津波前	津波直後	2016年	2020年	2021年
角の浜	オオアカバナ		9	10	9	18
角の浜	キタノコギリソウ	14	15	10	11	15
八木港海岸	ハマボウフウ			20	13	13
久慈川	ナミキソウ	14	16	9	13	12
	ハマボウフウ			18	24	消失
小袖海岸	ホソバエゾノコギリソウ	9	10	9	13	13
明戸海岸	ハマボウフウ			14	11	11
	ナミキソウ			13	10	9
	カワデシヤ			19	17	18
小本北	カワラナデシコ			24	12	13
小本南	ナミキソウ	8	8	11	11	9
	ハマベンケイ			17	13	12
	ハマボウフウ			18	消失	－
津軽石川河口	ウミミドリ	6	14	消失	－	－
津軽石川河口	シバナ	6	15	23	21	20
津軽石川河口	ウミミドリ			11	8	7
太田浜	エゾオグルマ	12	19	20	消失	－
重茂漁港	アオノイワレンゲ			12	9	7
織笠川	ウミミドリ	10	15	11	10	11
織笠川	エゾツルキンバイ	9	13	20	20	16
大槌川	カワデシヤ	6	7	17	消失	－
小槌側	カワデシヤ	11	14	19	16	消失
甲子川	カワデシヤ			21	17	消失
盛川	カワデシヤ			20	消失	－
	シバナ			15	18	11
大野海岸	ハマボウフウ	9	17	14	16	15
	ナミキソウ			11	12	9
	アオノイワレンゲ			12	13	10
泊	ハマナデシコ			24	消失	－

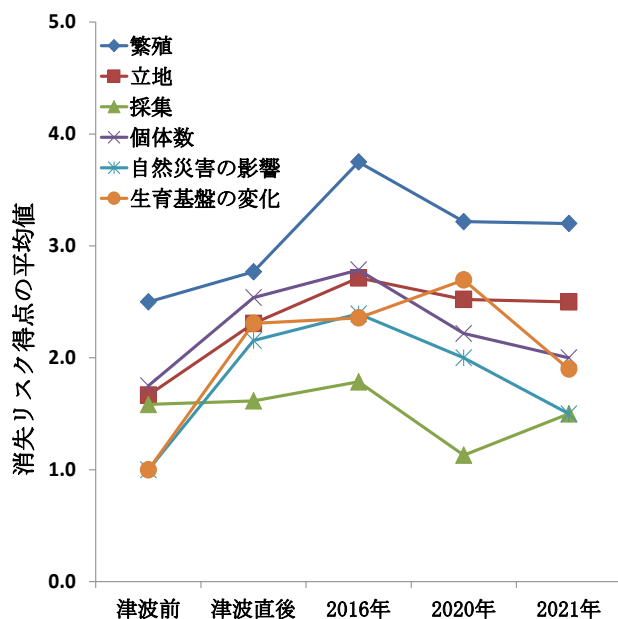


図8 6項目別消失リスク得点の平均値の推移

3.3 これからの展望

東日本大震災津波から10年、これまで岩手県の海岸に自生する海浜性希少植物の確認調査とその動態について調査を行ってきた。この10年間の調査を行った中で岩手県初となるオオアカバナを2011年に確認し、大震災以降から見るができなかったスナビキソウやハマハタザオを2020年に実施した全域調査で再確認することもできた。

2021年の調査では個体数が回復している植物もある一方で、現在でも消失する植物があり、また、一度消失した植物については、その後はその地点で再確認できた事例がないことから、今後は従来の調査と合わせて、絶滅回避策となる「生息域内保全」や「生息域外保全」に取り組む必要性が生じてきている。そのため、当センターでは、これまでに確認した海浜性希少植物から残存する自生地が少なく消失すれば直ちに県内絶滅につながると想定されるオオアカバナ、スナビキソウ、エゾツルキンバイ、ハマナデシコの4種をモデルに、「生息域内保全」として現地保全の方法や「生息域外保全」としての種子確保や苗生産に有効な技術開発に取り組む予定としている。



図9 県内2か所に自生するオオアカバナ



図10 県内3か所に自生するスナビキソウ



図11 県内2か所に自生するエゾツルキンバイ



図12 県内1か所に自生するハマナデシコ

4. 引用文献

- 1) Kadokami, K., Tanada, K., Taneda, K. and Nakagawa, K. : Novel gas chromatography-mass spectrometry database for automatic identification and quantification of micropollutants. *Journal of Chromatography A*, 1089, 219-226, 2005
- 2) H. Maki and G. Kanaya, Analysis of Hydrocarbon Contamination of Bottom Sediments of Sanriku Coastline Due to the Great East Japan Earthquake. *Journal of the Japan Institution of Marine Engineering*, **51**, (6), 75-82, 2016
- 3) 陣矢大助ら, 第16回環境科学討論会講演要旨集, 624-625, 2007
- 4) 宮崎照美ら, 第16回環境科学討論会講演要旨集, 632-633, 2007
- 5) Daisuke NAKAJIMA, Go SUZUKI, Shoji F. NAKAYAMA, Fujio SHIRAISHI, Hiroshi NITTA, Yosuke KOYAMA, Mayuko YAGISHITA, Takashi MIYAWAKI, Hironori NAKASHIMA, Junko KIMURA and Kiwao KADOKAMI : Environmental Monitoring during Disasters using Automated Identification and Quantification System (AIQS) -Utilization in the Great East Japan Earthquake-. *Journal of Environmental Chemistry*, **29**, (3), 129-137, 2019
- 6) Kadokami, K. and Ueno, D. : Comprehensive target analysis for 484 organic micropollutants in environmental waters by the combination of tandem solid-phase extraction and quadrupole time-of-flight mass spectrometry with sequential window acquisition of all theoretical fragmentation spectra acquisition. *Analytical Chemistry*, **91**, 7749-7755, 2019
- 7) 財団法人日本食品分析センター：緊急時における化学物質調査マニュアル．平成10年3月
- 8) 鈴木規之, 門上希和夫, 中野武, 吉永淳, 白石不二雄, 中島大介：有害化学物質の緊急時モニタリング実施指針（第一版）．一般財団法人日本環境化学会, https://www.j-ec.or.jp/conference/emergency/emergency_monitoring.html
- 9) 小山田智彰, 鞍懸重和, 新井隆介, 山内貴義, 片山千賀志：東日本大震災津波の津波による岩手県における海浜性植物の消滅．薬用植物研究, **34** (1), 37-48, 2012
- 10) 小山田智彰：津波による海浜性植物への影響．グリーン・エージ465：16-19, 2012
- 11) 小山田智彰, 鞍懸重和, 千崎則正：岩手県における東日本大震災津波の影響調査：海浜性希少植物の動態．全国環境研会誌, **45** (4), 33-38, 2020