

東日本沿岸における津波堆積物の 性状に関する緊急調査 —津波堆積物に起因する土壤汚染リスク—

駒井 武¹⁾・川辺能成¹⁾・原 淳子¹⁾・坂本靖英¹⁾・張 銘¹⁾

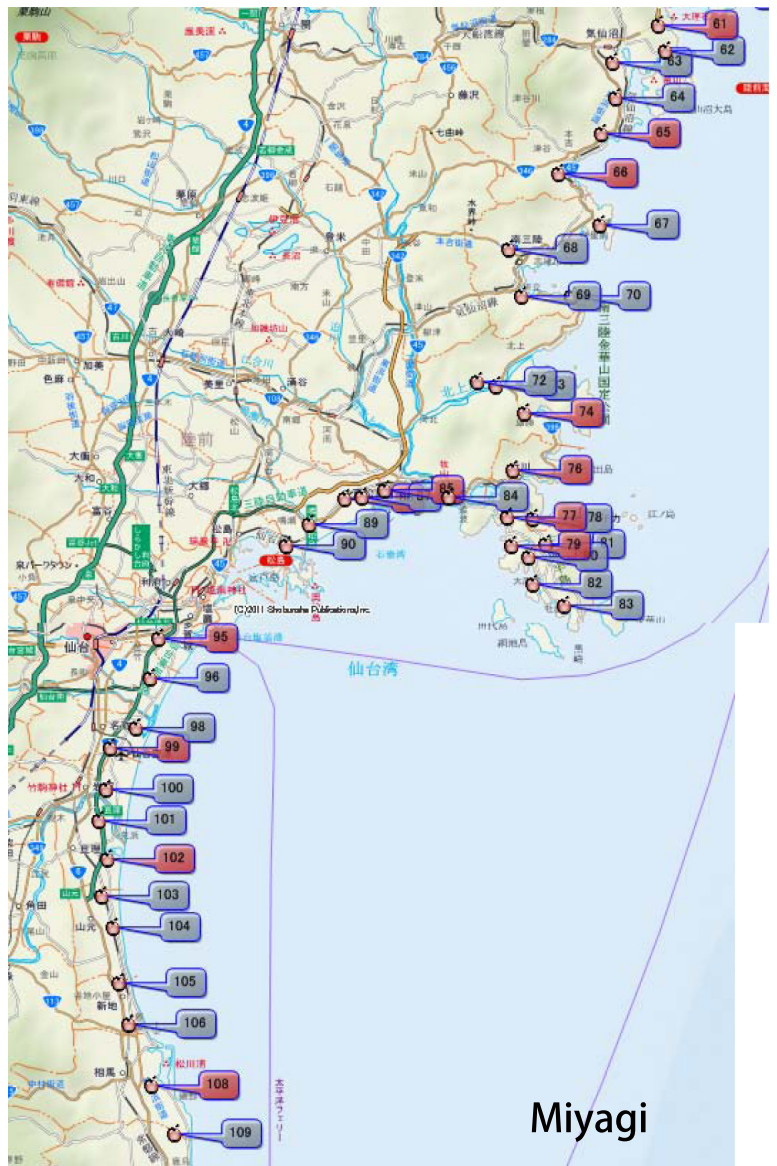
1. はじめに

2011年3月11日に東日本地方を襲った巨大地震は、地震の直接的な被害のみならず、液状化や地盤沈降、さらには沿岸域における広域の大津波による甚大な被害をもたらした。特に、東日本沿岸における膨大な津波堆積物と震災瓦礫は、被災地の復興を妨げる大きな要因となっている。津波堆積物には通常の土壌と比べて、海成堆積物に特有な重金属類が含まれる可能性があり、その地質汚染リスクを適切に評価することが重要である。そのため、震災後の3月から12月にかけて津波被災地の緊急調査を行い、様々な種類の津波堆積物を採取するとともに、その化学的、物理的な組成を分析した。多くの津波堆積物は砂であったが、一部は細粒の泥を含む砂泥互層を形成し、津波による物質の移動の痕跡を残していた。また、泥を含む津波堆積物には砒素や鉛などの重金属類を多く含有するものがあり、その管理には十分な留意が必要である。さらに、海洋底質を起源とする津波堆積物では、嫌気的な環境で生成した有機物や硫化鉱物が含まれ、長期的に酸性化する可能性も示唆された。一方、重金属類の含有が少なく、物理的に安定な津波堆積物は建設材料として復興活動に利活用できる可能性が大きいことも判明した。

本報告では、東日本沿岸における津波堆積物の性状と化学的特性を中心に、津波堆積物に含有する重金属類や塩分の組成について表層土壌や海底堆積物と比較した結果について報告する。また、緊急調査の結果として得られた各種データを用いて環境リスクの評価を行い、地震に伴う複合地質リスクの管理と津波堆積物の再利用に際してのリスク低減について論じる。

2. 津波堆積物の調査と試料採取

東日本沿岸の青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県および千葉県を対象にして、津波浸水域に蓄積された津波



第1図 津波堆積物の採取地点（宮城県の沿岸地域）。赤印（地点番号61, 65, 66, 74, 76, 77, 79, 85, 95, 99, 102, 108）：重金属基準超過。基図として、国土交通省の国土数値情報「行政区域（面）データ」およびESRIジャパンの「全国市区町村界データ」を使用した。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：津波堆積物，東日本大震災，土壌汚染，リスク評価，地球化学図



第2図 宮城県地域における津波堆積物。

堆積物を調査するとともに、各種分析のため試料の採取を行った。初期の予察調査は津波発生後の3月から8月にかけて実施し、地形図をもとに沿岸域のおおよそ5 km 間隔に採取地点を設定した。調査では津波浸水の状況、津波による地盤の変化、津波堆積物の性状を詳しく調べた。今回の調査対象は、主に自然由来の津波堆積物であり、人為的な汚染物質はできるだけ排除するようにした。

東日本の沿岸地域で約200地点を選定して、地理情報システムを用いてマッピングした。宮城県内の調査地点を第1図に示す。かなりの地域で津波被害により海岸線の地形が変化している箇所があったが、海岸線から浸水限界までのほぼ中間あるいは特徴的な堆積状態を示す地点で試料を採取した。採取した津波堆積物の試料は、人為的な混在物を除去するなどの前処理を行った後に、実験室において化学分析、微生物分析、粒度分析などを実施した。

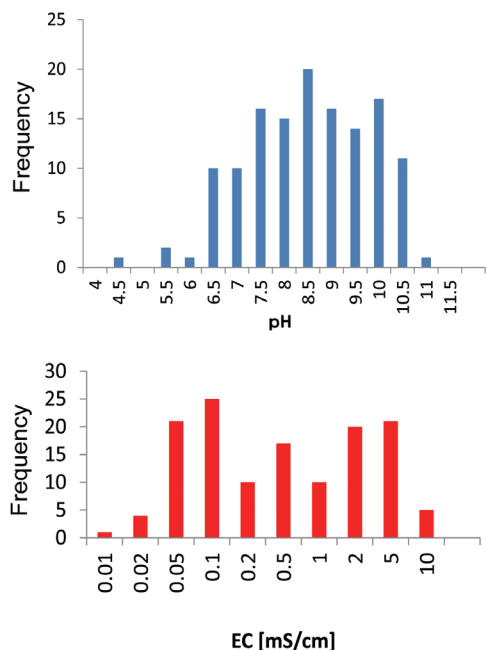
3. 津波の被害状況と堆積物の性状

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う大津波は、これま

での想定を超える巨大なものであり、数百年に1度の災害と言われている。環境省の調査によれば、東北、関東6県内の津波堆積物の総量は、1000～1500万トンと推計されている（環境省，2011）。

宮城県内の地質調査により、実際に観察された津波堆積物は砂が中心であるが、砂と泥の数枚の層状の構造を形成することが認められた。このことは、津波が第一波から数波にわたり断続的に陸域方向に押し寄せ、その後陸域から沿岸域に引き波となったことを表している。また、詳しい調査によれば、海岸線付近では砂質の堆積物、中間付近では泥質と砂質の互層、浸水限界では塩水のみが存在していることがわかった。

第2図は、宮城県内の数カ所における津波の被害と津波堆積物の状況を示したものである。大津波により海岸付近の構造物が破壊され、陸域では強固な岩盤すら粉碎されて、その破壊力の大きさを物語っている。また、巨大地震の影響で沿岸部の地盤が沈降して、一部では沿岸部の地形や標高が変化し、南三陸や石巻では水没現象が続いている地域も多い。そのため、津波堆積物の堆積状態は元の地形



第3図 津波堆積物の性状 (pH, 電気伝導度)。

に依存し、田畑のような窪地や湿地帯では厚く堆積し、市街地などでは比較的薄い堆積状況になっている。堆積物の平均の厚さは5～10cm程度であり、最大では40cm以上に及ぶ地点もあった。第2図に示すように、堆積物の色彩は多様で、砂ではグレー、泥では茶褐色から黒色まで千差万別であった。また、砂の粒度は比較的粗く、泥は細かい粒子が大半を占めていた。

4. 津波堆積物の特性

4.1 塩分濃度と電気伝導度

採取した津波堆積物の化学的組成を調べるため、塩分濃度やpH、重金属成分を中心に化学分析を行った。第3図にそれぞれ土壤pHと電気伝導度の分布を示す。土壤pHは6.5～11の範囲にあり、平均値は8～8.5となって塩水のpH環境をよく反映している。陸域の土壤pHは比較的酸性側にあることから、今回調査した津波堆積物は通常の土壤の組成とは大きく異なっていることがわかる。また、電気伝導度の測定結果からも同様の傾向を示し、平均的な塩分濃度は0.3～0.8%と、通常の土壤よりも高い塩分濃度を示した。0.5%を超える土壤では植物の生育阻害を生じる可能性があることから、塩害対策が必要となる地域もあった(日本土壤肥料学会, 2011)。

4.2 重金属成分

本調査では、鉛、カドミウム、セレン、砒素、クロム、

水銀などの重金属、無機成分としてフッ素およびホウ素を分析した。全般的な傾向としては、出版している表層土壤環境基本図「宮城県地域」(原ほか, 2008)に示した組成とほぼ同様であり、バックグラウンドレベルと大差がないことが示された。しかし、重金属類の分析結果によれば、砒素、鉛の成分において通常の土壤よりも高濃度となる地点が多いのがわかった。宮城県内および岩手県内の沿岸部では、それぞれ15%と8%の試料が土壤環境基準値を超過していた。通常の土壤でも基準値を超える場合があるが、これらの超過率は土壤の場合よりもかなり大きくなっている。特に、泥質堆積物においてこの傾向が顕著なことから、津波堆積物の多くは海成堆積物に由来していることが示唆される。また、海洋の底質には海成堆積物を起源とするものや河川から流出した土砂が沿岸堆積物として蓄積され、土壤よりも高濃度の砒素や鉛を含有していることが報告されている(土屋, 2012)。さらに、海成堆積物には海洋の微生物作用により砒素が高濃度で濃縮され、津波によって海洋堆積物や底質が巻き上げられて陸域に達したことが考えられる。

4.3 化学成分の長期変質と微生物作用

津波堆積物が蓄積されている陸域では、9月から12月にかけて表面の性状が大きく変質していることが観察された。当初は砂質土砂と大差がなかったが、数ヶ月の経過とともに赤褐色の堆積物となり、ため池や用水路では褐色の鉄分が溶出していることが示唆された。このような地域では、堆積物中の鉄やマンガンの含有量が高く、長期の堆積によって鉄酸化により変質が進行していることが考えられる。鉄などのミネラルは、河川から供給されて沿岸部の海岸線付近の底質に蓄積されていたものと考えられ、津波によって大量の鉄成分が陸域に巻き上げられた。海洋底質では嫌気的な環境であったが、陸域で酸化作用を受けることにより徐々に酸性化して赤褐色の土砂に変質したと思われる。この変質には鉄酸化細菌が深く関与していることが考えられ、現在堆積物を対象にして微生物相の解析を進めている。

5. リスク評価

5.1 重金属等による環境リスク

採取した津波堆積物の化学成分のうち、砒素や鉛などの重金属類を対象にして環境リスク評価を行う。重金属を含む堆積物は、土壤摂取、土壤粒子の摂取、植物への移行、

地下水への移行などの暴露経路を通じて作業員や居住者にとってのリスクとなる。そこで、産総研で開発した地圏環境リスク評価システム GERAS (駒井, 2007) を用いて現在の堆積状況を想定したリスク評価を実施した。その結果、砒素については宮城県および岩手県の一部の地点において許容される暴露量をわずかに超過することが見出された。しかし、地下水の飲用などがなければ、許容されるリスク基準値 (耐用摂取量) 以内であり、安全な管理条件にあることが判明した。このほか、沿岸部の特定の地域において、フッ素とホウ素の溶出量が基準値を超過する事例が見つかったが、健康リスク上問題となるレベルではなかった。

一方、津波堆積物を長期的に保管・管理する環境条件では、砒素や鉛の長期溶出のリスクがあるため、遮蔽のためのシートや粘土層の設置、浸出水の処理などのリスク管理が必要となる場合があった。特に、砒素を含有する津波堆積物では、長期保管により堆積層内が嫌気的な環境になり、砒素の溶出を促進する可能性が示唆された。また、微生物作用により長期的に鉄バクテリアの活性が高まり、土壌を酸性化する可能性も指摘された。津波堆積物を農用地に適用するためには、このような長期変質のリスクを十分に考慮した上で検討することが重要である。

5. 2 建設資材のリスク管理

現在、津波堆積物の性状や物性、力学的特性や環境リスクなどの情報が不足しているため、現場において膨大な量の堆積物が一時保管されている。しかし、復旧・復興に向けて、津波堆積物を土木・建設資材や農業用途に利活用することが期待されている (一般社団法人廃棄物資源循環学会, 2011)。砂質津波堆積物の場合では、粒度分布や力学特性において土木・建設材料に適しているとされる。しかし、塩分や無機成分などを多く含有する堆積物では、資材として活用するために除塩や洗浄などの処理が必要である。一方、泥および砂泥互層の混合状態の堆積物では、砒素や鉛、有機汚染物質を含有する割合が多いため、そのままの状態でも利活用することは困難である。しかも、化学的、生物学的に長期変質するリスクも伴うため、浄化やモニタリングなどの対策が必要である。膨大な量を対象とするため、微生物や植物を活用した環境共生型のオンサイト浄化技術の開発が期待される。加えて、油分やダイオキシン類などの人工化学物質を含有する堆積物では、それらの除去や分解のためのリスク低減措置の実施が必須である。

6. まとめ

東日本地方を襲った大津波後の3月から12月にかけて津波被災地の緊急調査を行い、様々な種類の津波堆積物を採取するとともに、その化学的、物理的な組成を分析した。津波堆積物は砂が大半であったが、一部は細粒の泥を含む砂泥互層を形成し、津波による海底堆積物の移動の痕跡を残していた。また、泥を含む津波堆積物には砒素や鉛などの重金属類を多く含有するものがあり、その管理には十分な留意が必要であることがわかった。さらに、海洋底質を起源とする津波堆積物では、嫌気的な環境で生成した有機物や硫化鉱物が含まれ、長期的に酸性化する可能性も示唆された。

文献

- 原 淳子・川辺能成・駒井 武 (2008) 表層土壌評価基本図「宮城県地域」. 数値地質図E-3, 産総研地質調査総合センター.
- 一般社団法人廃棄物資源循環学会 (2011) 津波堆積物処理指針 (案). 平成23年7月5日, <http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/archives/001427.html> (2011/04/10 確認)
- 環境省 (2011) 東日本大震災津波堆積物処理指針. 平成23年7月13日, <http://www.env.go.jp/jishin/attach/sisin110713.pdf> (2011/04/10 確認)
- 駒井 武 (2007) 土壌汚染対策の課題と環境地質学の役割. 地学雑誌, 116, 853-863.
- 日本土壌肥料学会 (2011) 原発事故・津波関連情報. 津波関連情報 (1): 津波・高潮による農地の塩害 (1), <http://jssspn.jp/info/nuclear/post-23.html> (2011/04/10 確認)
- 土屋範芳 (2012) 津波堆積物中のヒ素および重金属類と津波堆積物の化学判別. 東北大学第6回震災フォーラム, 講演資料集, 25-32.

KOMAI Takeshi, KAWABE Yoshishige, HARA Junko, SAKAMOTO Yasuhide and ZHANG Ming (2012) Urgent investigation of tsunami deposits at coastal areas of eastern Japan —environmental risk caused by tsunami deposits—.

(受付: 2012年4月24日)