

研究報告・学術雑誌等に掲載された論文の転載

東日本大震災による津波堆積物の化学的性質 (県北部)

島秀之・小野寺和英¹⁾・金澤由紀恵・佐藤一良・小野寺博稔²⁾・阿部倫則・若嶋惇子³⁾
 ・稲生栄子⁴⁾・森谷和幸⁵⁾・今野知佐子⁶⁾・上山啓一⁴⁾・伊藤豊彰⁷⁾・菅野均志⁸⁾

Chemical property of Tsunami sediment deposited following the East Japan great earthquake (Northern part of Miyagi prefecture)

Hideyuki SHIMA, Kazuhide ONODERA, Yukie KANAZAWA, Kazuyoshi SATOH,
 Hirotohi ONODERA, Tomonori ABE, Atsuko WAKASHIMA, Eiko INAO, Kazuyuki MORIYA,
 Chisako KONNO, Keiichi KAMIYAMA, Toyoaki ITOH and Hitoshi KANNO

抄 録

2011年3月11日の東日本大震災の津波で被災した農地の堆積物について調査した。調査した県北部(本吉, 石巻, 松島地区)164点のうち堆積物が確認された地点は130点であった。

堆積物はECが高く, 重金属(カドミウム, 銅, ヒ素)が微量であるが含有されている。堆積物の厚さや重金属の含有量からは作物生産上は問題ない範囲の含有量と判断されるが, 堆積物を混合した作土の調査が必要である。

【キーワード】東日本大震災, 津波, 堆積物, 電気伝導度(EC), 重金属, カドミウム, 銅, ヒ素

Key words: East Japan great earthquake, tsunami, sediment, Electric Conductivity (EC), heavy metal, cadmium, copper, arsenic

緒 言

2011年3月11日に発生した東日本大震災の津波で宮城県内の農地は大きな被害を受けた。県では東北大学と連携し, 津波浸水被害を受けた農地の復旧のために実態調査を実施した。

本報では県北部地域(気仙沼~多賀城市)の津波堆積物の状況について報告する。仙台市以南の県南部については農業・園芸総合研究所研究報告に掲載される。

第1表: 調査地点と採取時期

地域	市町	浸水面積(ha)	調査地点	試料採取日
本吉農改管内 (本吉地区)	気仙沼市	580	23	5/13
	南三陸町	342	15	5/13
石巻農改管内 (石巻地区)	石巻市	1,831	66(55)	5/11(3/31-4/3)
	東松島市	989	46(34)	5/11(3/31-4/3)
仙台農改管内 (松島地区)	松島町	4	3	5/19
	七ヶ浜町	143	5	5/19
	多賀城市	80	6	5/19

※浸水面積は農村振興課調べ(4月末)

※石巻地区の112点のうち89点は3/31-4/3の調査

調査方法

1. 調査地点及び採取時期

調査地点, 試料採取時期については, 第1表および第23図, 第24図, 第25図に示すとおりである。調査地点は, 水田を中心に1kmメッシュあたり3~4地点を採取することを基本とし, 瓦礫により侵入の不可能なほ場や湛水状態のほ場は除いた。



第1図: 土壌採取ほ場と採取土壌

平成24年3月9日受理

1)農業大学校園芸学部, 2)農村整備課, 3)登米農業改良普及センター, 4)農業・園芸総合研究所, 5)農産園芸環境課, 6)亙理農業改良普及センター, 7)東北大学大学院農学研究科資源生物科学専攻栽培植物環境科学分野, 8)東北大学大学院農学研究科資源生物科学専攻土壌立地学分野

ほ場での土壌採取は、ほ場の対角線上の2カ所から、①堆積物層、②作土層(0~10 cm)、③次層(10~20 cm)と分けて取り、2カ所分を混合して1試料とした。堆積物層が泥、砂と分けられる場合は分けて採取し、それぞれ泥層、砂層として分析した。

2. 調査項目と方法

1) 堆積土砂の厚さ

1 ほ場2カ所の土壌採取地点で、堆積物層と作土の境界を目視で判断し、その平均をとった。

2) 水素イオン指数(pH(H₂O))

乾土10g相当量の未風乾土を秤量し、土壌の水分を含めて、固液比が1:5になるように蒸留水を加え、1時間振とう後pHメーターで測定した。常法では固液比は1:2.5であるが、電気伝導度の測定を優先したため、電気伝導度測定用の固液比とした。

3) 過酸化水素処理した水素イオン指数(pH(H₂O₂))

乾土2g相当量の未風乾土を秤量し、過酸化水素水を20mL加え、湯煎上で加熱し激しい反応が終了したら放冷し、固液比が1:10の状態でのpHを測定した。

4) 電気伝導度(EC)

pH(H₂O)測定に用いた液について、ECメーターで測定した。

5) 重金属(カドミウム, 銅, ヒ素)

乾土10g相当量の未風乾土を秤量し、1M塩酸を50mL加え、室温で2時間振とう後濾過して、濾液を原子吸光分光光度計等で測定した。全量分析については、過塩素酸分解の後、原子吸光分光光度計等で測定した。

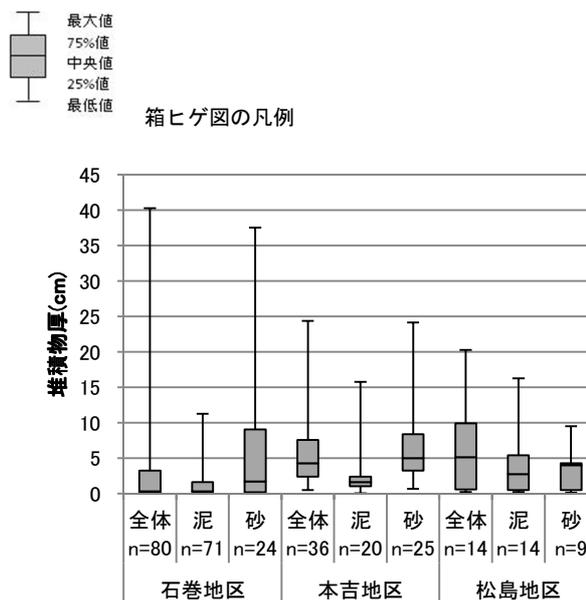
結果と考察

1. 堆積土砂の厚さ

	石巻地区	本吉地区	松島地区	計
泥層+砂層	15	9	9	33
泥層のみ	56	11	5	72
砂層のみ	9	16	0	25
計	80	36	14	130

調査地点164地点のうち、堆積物が確認されたのは130地点であった。堆積物は泥層と砂層に分けられ、泥のみの層、砂のみの層、砂層の上に泥層が堆

積した層の3種類があった。地区別には、石巻地区では泥層のみの堆積物が多く、本吉地区では砂層のみの堆積物が多くなっている。また、松島地区では砂層のみの堆積物は確認できなかった(第2表)。

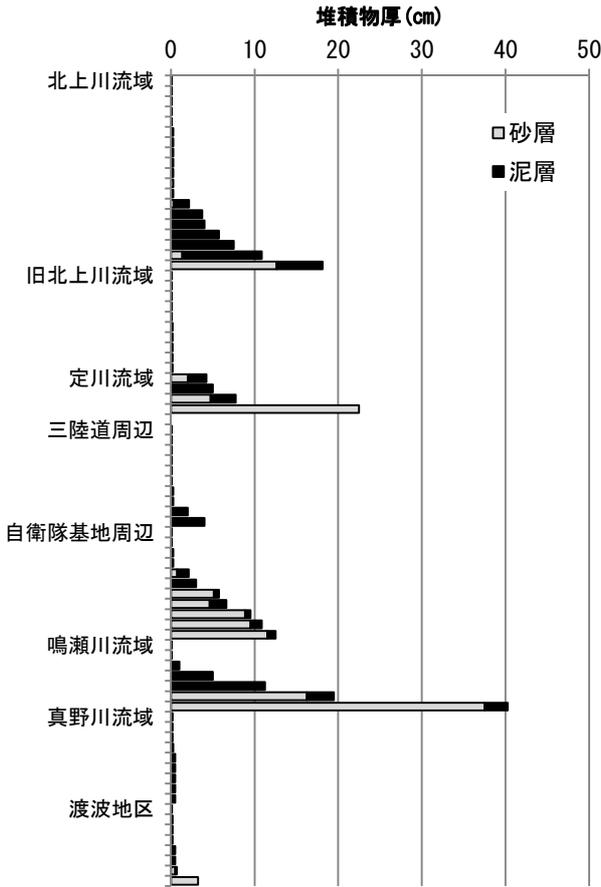


第2図: 確認された堆積物の厚さ

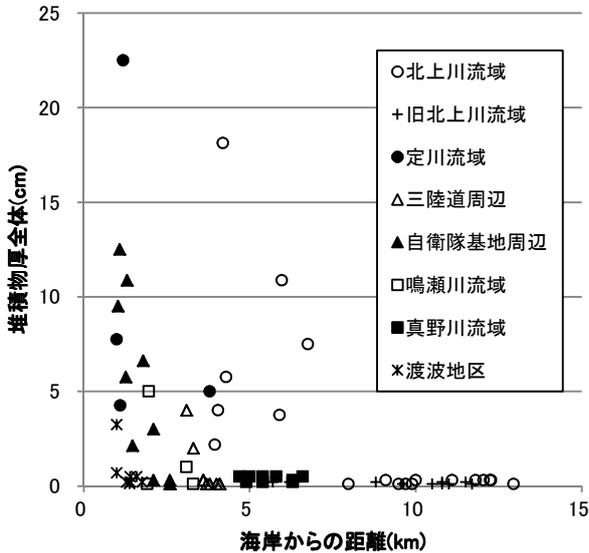
確認された堆積物の厚さを第2図に示す。ここで全体とは砂層の上に泥層が堆積したものだけでなく、泥層のみ、砂層のみのものも含まれる。堆積物の厚さの平均は石巻地区で3.0 cm(中央値0.3 cm)、本吉地区で5.9 cm(中央値4.3 cm)、松島地区で6.3 cm(中央値5.1 cm)と松島地区が最も厚かった(第2図)。最大値は石巻地区で40.3 cm(東松島市)、本吉地区で24.4 cm(気仙沼市)、松島地区で20.3 cm(七ヶ浜町)であった。

堆積物の厚さが5 cm以上の地点は石巻地区で16地点、本吉地区で15地点、松島地区で7地点であった。泥層だけで5 cm以上ある地点は石巻地区で7地点、本吉地区では2地点、松島地区で5地点であった。砂層だけで5 cm以上ある地点は石巻地区で8地点、本吉地区で13地点、松島地区で2地点であった。

石巻地区の堆積物厚を地域別にみると、最も堆積物厚が大きいのは、鳴瀬川流域、次いで東松島市の定川周辺、北上川流域、自衛隊基地周辺と続く(第3図)。河川を遡上するかたちで津波が浸水した場合や自衛隊基地周辺のように海から直接津波が浸水した場合に堆積物が大量に運ばれたと考えられる。堆積物層が10 cm以上ある地点の堆積物の大部分は砂層であった。



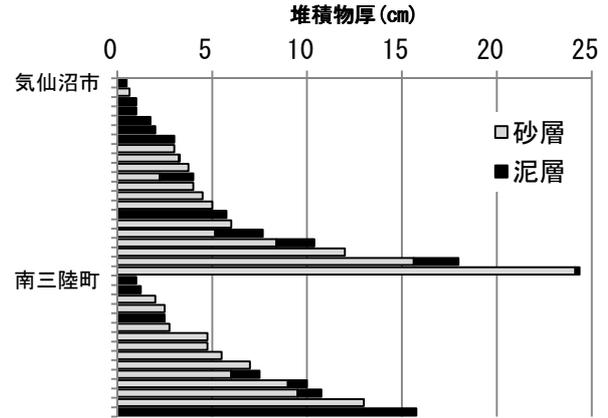
第3図：石巻地区の堆積物厚



第4図：石巻地区の海岸からの距離と堆積物厚

第4図は石巻地区の土壌採取地点の海岸からの距離と堆積物（全体）の厚さの関係をみたものである（第4図）。堆積物がある程度確認された地点では、海岸に近い程堆積厚は厚くなる傾向がある。地域別で傾きが違うのは、海から直接津波が来た地域と河

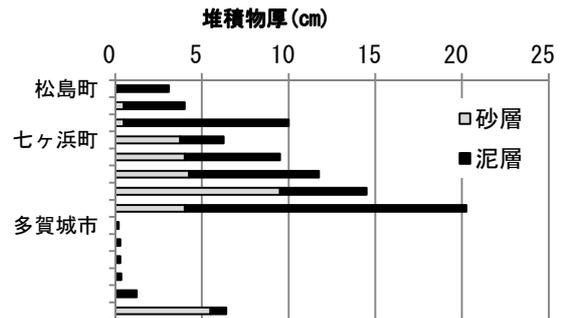
川を遡ってきた地域の違いや地形、標高差等の影響と考えられる。



第5図：本吉地区の堆積物厚

本吉地区の堆積物厚を地域別にみると、気仙沼市の方で堆積物厚が大きく、堆積物厚が10 cm以上ある地点の堆積物の大部分は砂層であった(第5図)。

松島地区の堆積物厚を地域別にみると、海から直接津波が浸水したと考えられる七ヶ浜町が入江状の地形で滞水時間が長かったためか最も堆積物厚が大きく、平均（全体）が12.5 cmであった(第6図)。やや内陸に入り仙台港から浸水したと考えられる多賀城市は堆積物厚が小さく平均（全体）で1.5cmであった。また、松島町は湾内の奥まった地形のためか他の地域と比べ、砂層がとても薄かった。

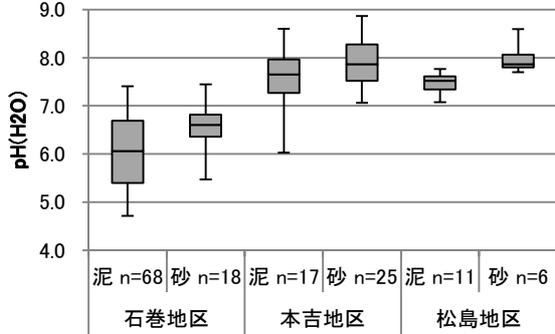


第6図：松島地区の堆積物厚

2. pH(H₂O)

本吉地区、松島地区のpH(H₂O)が高く、本吉地区の泥層の平均で7.6（中央値7.7）、砂層の平均で7.9（中央値7.9）、松島地区の泥層の平均で7.5（中央値7.5）、砂層の平均で8.0（中央値7.9）となり、石巻地区では泥層の平均で6.1（中央値6.1）、砂層で6.5（中央値6.6）であった(第7図)。泥層の最高は本吉地区で8.6、砂層では8.9であった。

岩手県から宮城県にかけて調査した廃棄物資源循環学会のまとめた「津波堆積物処理指針(案)」¹⁾によると、津波堆積物のpHはほぼ7.0~9.0の間にあるとされており、本吉地区、松島地区は概ねこれと一致する。

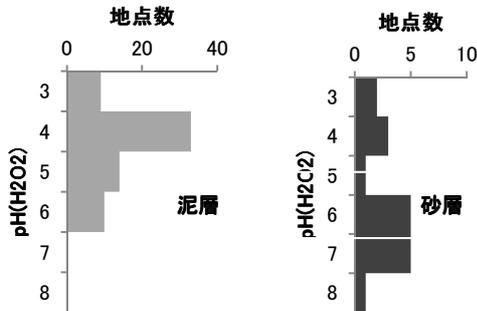


第7図：堆積物 pH(H₂O)

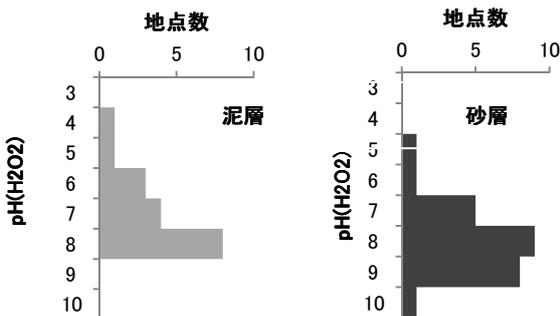
3. pH(H₂O₂)

pH(H₂O₂)は堆積物の硫酸酸性土壌の可能性をみるために測定した。pH(H₂O₂)が3未満で硫酸酸性土壌と判定される。

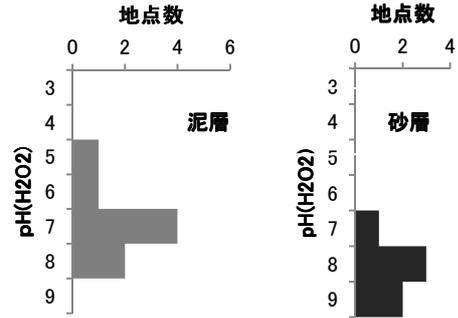
石巻地区の泥層11点、砂層2点が3未満となり、硫酸酸性土壌と判定された。本吉地区、松島地区には該当はなかった(第8図、第9図、第10図)。



第8図：石巻地区の堆積物 pH(H₂O₂)

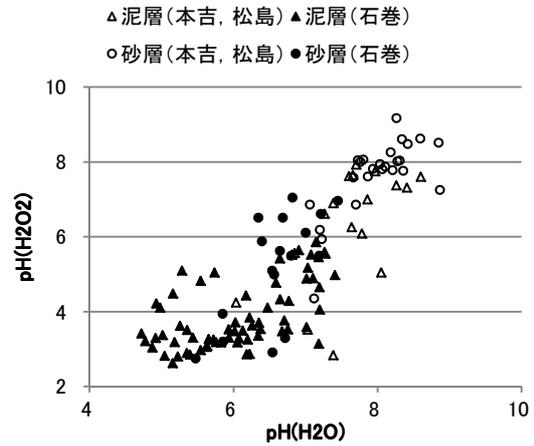


第9図：本吉地区の堆積物 pH(H₂O₂)



第10図：松島地区の堆積物 pH(H₂O₂)

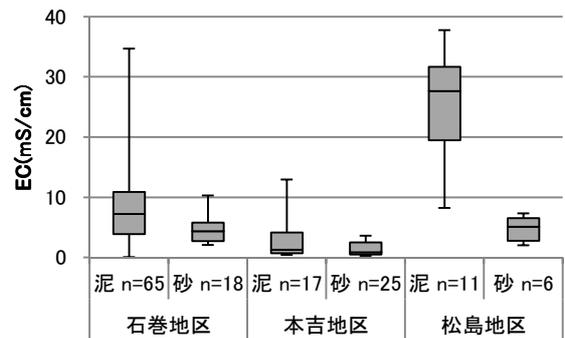
第11図は今回の調査地点のpH(H₂O)とpH(H₂O₂)の関係を見たものであるが、硫酸酸性土壌と判定された試料のある石巻地区のpH(H₂O)とpH(H₂O₂)が全体に本吉、松島地区に比べ、低くなっている(第11図)。



第11図：pH(H₂O)とpH(H₂O₂)

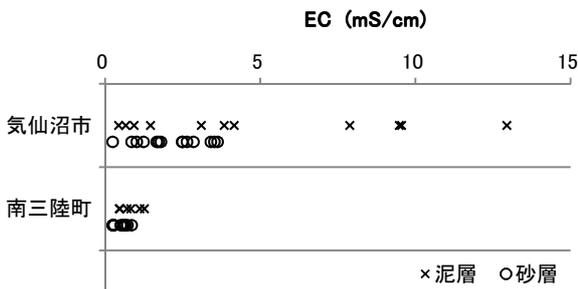
前に述べた「津波堆積物処理指針(案)」では、一部の試料が硫酸の影響で強酸性を示したとされており、石巻地区のpH(H₂O)が7.0よりもやや低くなっているのは、硫酸酸性土壌の影響が考えられる。

4. 電気伝導度 (EC)



第12図：堆積物の電気伝導度

EC は土壌中の塩分濃度を反映する。砂層よりは泥層の方が高く、固液比 1 : 5 では海水の EC (45 mS/cm) を超える地点はなかった。泥層の厚い松島地区で最も高く、その平均は 24.9 mS/cm(中央値 24.7 mS/cm), それに対し砂層はそれほど高くなく、平均は 4.8 mS/cm(中央値 5.1 mS/cm)であった。石巻地区の平均は泥層で 8.4 mS/cm (中央値 7.2 mS/cm), 砂層で 4.6 mS/cm (中央値 4.6 mS/cm), 本吉地区では泥層で 3.5 mS/cm(中央値 1.3 mS/cm), 砂層で 1.4 mS/cm(中央値 0.9 mS/cm)であった(第 12 図)。



第 13 図：本吉地区の EC

本吉地区の EC は、気仙沼市の 3 点 (泥層) が他の地点よりも高いが、全体的に石巻、松島地区よりも低い(第 13 図)。急な傾斜の山地が海岸にまで迫るリアス式海岸の影響で、海水の滞水時間が比較的に短かったためと考えられる。

5. 重金属含有量

重金属類に関しては、土壌汚染に係る環境基準が定められており、農用地については農用地土壌汚染防止法でカドミウム、銅、ヒ素の基準がある。第 3 表にその基準を示す。なお、カドミウムについては、その土壌から産する米についての基準があるが、土壌そのものについての基準はない。

第3表：農用地土壌汚染防止法で定める基準

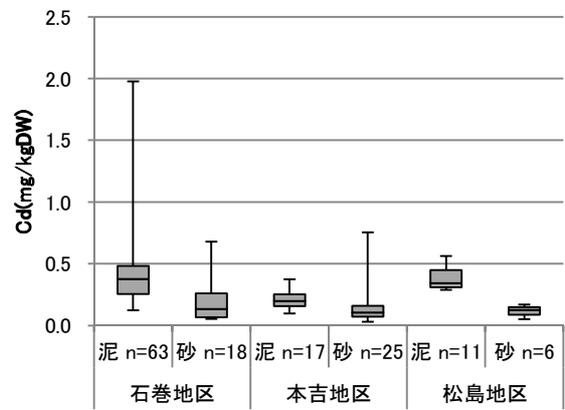
項目	基準
カドミウム	産する米について、1kgにつき0.4mgを超えないこと(土壌についての基準なし)
銅	125mg/kg未満
ヒ素	15mg/kg未満

1) カドミウム

カドミウムについては、法律上の基準はないが、今回の調査方法では法律で定められた方法(公定法)

よりも強い酸で抽出しており、公定法で抽出した場合よりも高めの数値となると考えられる。

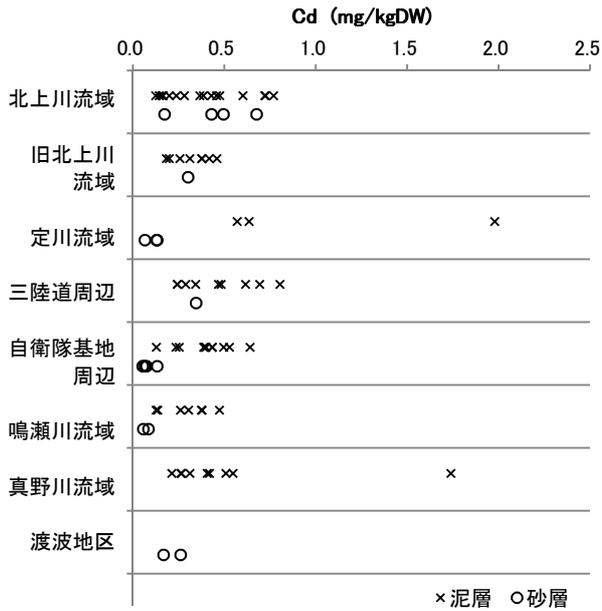
堆積物中のカドミウムは、石巻地区では、泥層の平均で 0.4 mg/kg (中央値 0.4 mg/kg), 砂層で 0.2 mg/kg (中央値 0.1 mg/kg), 本吉地区の平均は泥層で 0.2mg/kg (中央値 0.2 mg/kg), 砂層で 0.2 mg/kg (中央値 0.1 mg/kg) で、松島地区は泥層で 0.4 mg/kg (中央値 0.4 mg/kg), 砂層で 0.1 mg/kg (中央値 0.1 mg/kg) であった。本吉地区よりも石巻地区、松島地区の方が高い(第 14 図)。最高値は石巻地区の泥層で 2.0 mg/kg (堆積厚 5 cm) であった。いずれの地区でも泥層の方が砂層よりも高い。



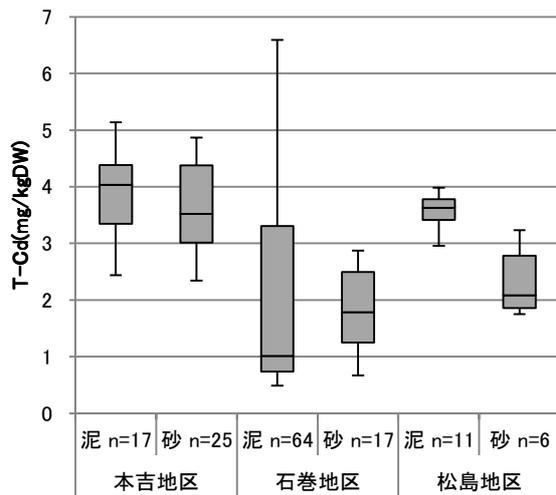
第 14 図：堆積物のカドミウム含有量 (1M 塩酸抽出)

石巻地区の堆積物のカドミウムを地域別にみると、泥層の東松島市の定川流域の地域の 1 点 (2.0 mg/kg 堆積厚 5.0 cm) と石巻市の真野川流域の 1 点 (1.7 mg/kg 堆積厚 0.5 cm) が他の地点よりも特に高くなっている(第 15 図)。

農地災害復旧事業で堆積厚 5 cm 以上の堆積物はほ場から除去されることになっているため、堆積厚 5.0cm の定川流域の地点については問題ないものと考えられる。真野川流域の地点については、旧北上川との合流点が近いため、旧北上川上流の鉾山の影響でカドミウム含量の高い河川底質が津波によってほ場に持ち込まれた可能性がある。この地点については堆積厚が薄いため除去されずにそのまま鋤きこまれる懸念があるが、この地域でこれまで汚染米が発生したとの報告はなく作土の汚染はないものと考えられ、その作土によって希釈されるために、問題となる可能性は低い。



第15図：石巻地区の堆積物のカドミウム含有量（1M 塩酸抽出地域別）



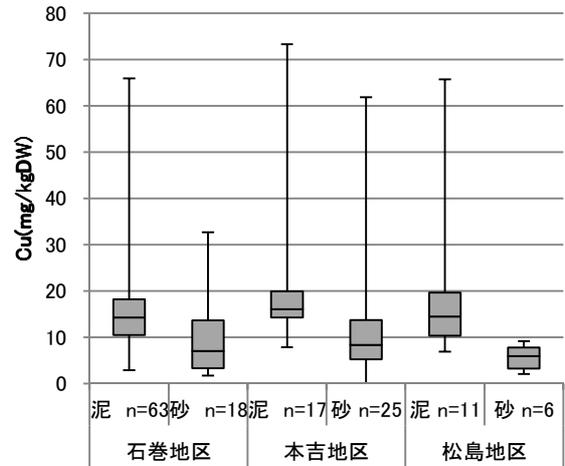
第16図：堆積物中全カドミウム含有量

カドミウム濃度について、対照となる一般土壌に関して産業技術総合研究所地質調査センターが公開している地球化学図データベース²⁾によれば、今回の対象地域周辺の河川底質（陸上）中の全カドミウムは0.137~1.349 mg/kgとなっており、また海域底質（海底）では0.029~0.388 mg/kgとなっている。また、木村ら³⁾と山崎ら⁴⁾の報告によると、宮城県内の農耕地土壌の全カドミウム含有量の平均は0.31~0.39 mg/kg程度と報告されており、今回の調査試料の値は（平均値 2.7 mg/kg, 中央値 2.7 mg/kg）、これらと比較すると高くなっている(第16図)。

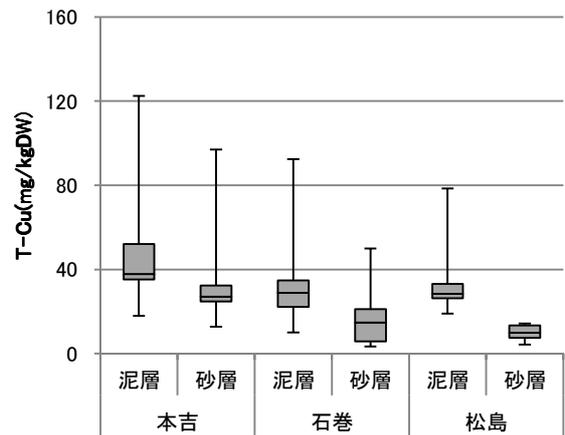
2) 銅

農用地の基準は125 mg/kgで、今回すべての地点でこれを下回った(第17図)。今回の調査方法では、公定法よりも強い酸で抽出しており、公定法で抽出した場合よりも高めの数値となると考えられる。

堆積物中の銅は、石巻地区では、泥層で平均15.9 mg/kg（中央値14.6 mg/kg）、砂層で平均9.6 mg/kg mg/kg）、本吉地区の平均は泥層で19.8 mg/kg（中央値16.1 mg/kg）、砂層で12.8 mg/kg（中央値8.4 mg/kg）で、石巻地区よりも本吉地区の方が高い。最高値は本吉地区の泥層で73.3 mg/kgであった。



第17図：堆積物の銅含有量（1M 塩酸抽出）



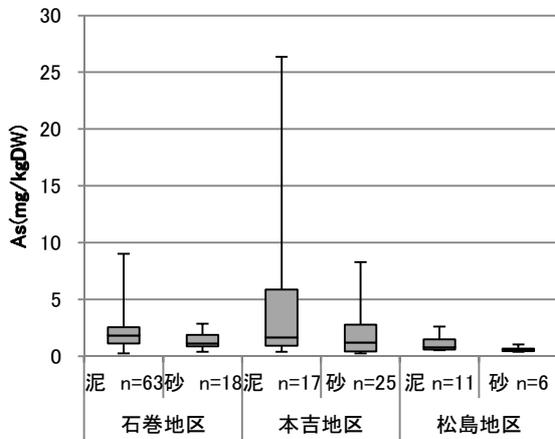
第18図：堆積物中全銅含有量

銅濃度について、対照となる一般土壌に関して地球化学図データベースによれば、今回の対象地域周辺の河川底質（陸上）中の全銅は12~149 mg/kg、また海域底質（海底）では10~58 mg/kgとなっており、今回の調査試料の値（最小値3.31mg/kg~最大値122.4mg/kg）は概ねこの範囲に入っている(第18図)。

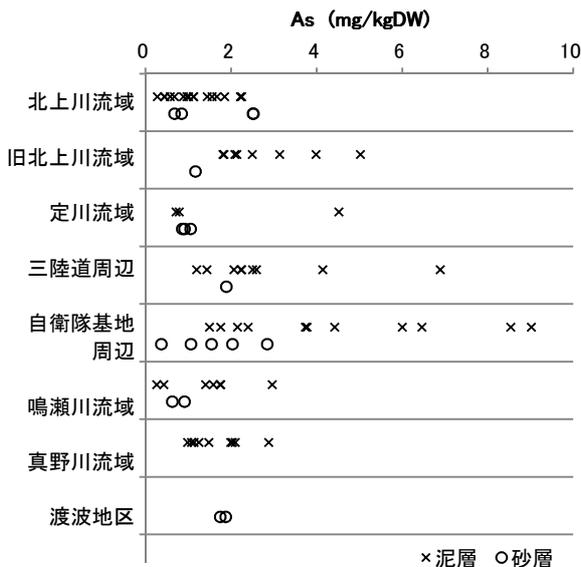
3) ヒ素

農用地の基準は 15 mg/kg で、今回 1 地点でこれを上回った。ただし、法律で定められた方法と今回の調査方法では、土壌からの抽出条件が異なることに留意する必要がある。

堆積物中のヒ素は、石巻地区の平均では、泥層で 2.3 mg/kgDW (中央値 1.8 mg/kg), 砂層で 1.4 mg/kg (中央値 1.1 mg/kg), 本吉地区の平均は泥層で 4.4 mg/kg (中央値 1.6 mg/kg), 砂層で 2.0 mg/kg (中央値 1.2 mg/kg) で、石巻地区よりも本吉地区の方が高い。最高値は本吉地区の泥層で 26.4 mg/kg (堆積厚 1.0 cm) であった (第 19 図)。

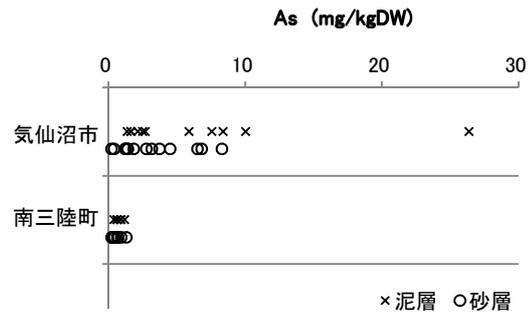


第 19 図: 堆積物のヒ素含有量 (1M 塩酸抽出)



第 20 図: 石巻地区の堆積物のヒ素含有量 (1M 塩酸抽出 地域別)

石巻地区の堆積物のヒ素を地域別にみると、最高値の泥層 9.0 mg/kg, 次点の 8.5 mg/kg の 2 地点とも自衛隊基地近くの地域であった (第 20 図)。

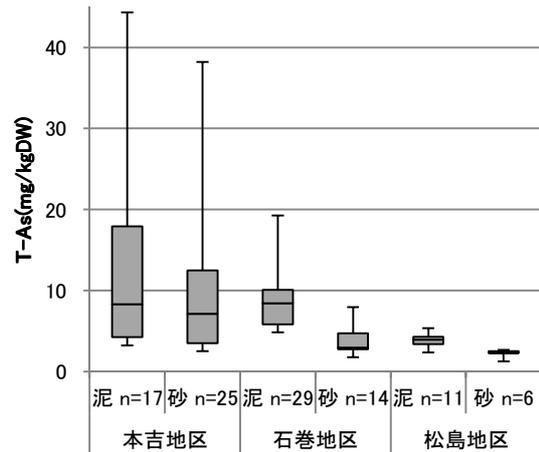


第 21 図: 本吉地区の堆積物のヒ素含有量 (1M 塩酸抽出 地域別)

本吉地区の堆積物のヒ素を地域別にみると、気仙沼市の平均は泥層で 6.4 mg/kg (中央値 2.7 mg/kg), 砂層で 3.1 mg/kg (中央値 2.3 mg/kg), 南三陸町では泥層で 0.8 mg/kg (中央値 0.8 mg/kg), 砂層で 0.6 mg/kg (中央値 0.5 mg/kg) と、気仙沼市の方が高い。最高値の泥層 26.4 mg/kg は、気仙沼市の泥層 (堆積泥の厚さ 1 cm) であった (第 21 図)。

この地域には大谷鉱山を始め古くから採掘された鉱山跡があり、自然由来のバックグラウンドが高い可能性がある。

ヒ素濃度について、対照となる一般土壌に関して地球化学図データベースによれば、今回対象となる地区周辺の河川底質中のヒ素は 6~56 mg/kg, 海底底質中は 5~25mg/kg となっている。今回の調査試料について、地球化学図と同様の全含有量 (最低値 1.4 mg/kg~最大値 44.3 mg/kg) を比較すると、概ね同程度からやや低い程度といえる (第 22 図)。



第 22 図: 堆積物中全ヒ素含有量

第 4 表: 重金属間の相関係数 (1M 塩酸抽出含有量)

	Cd	Cu	As
Cd	1		
Cu	0.5030572	1	
As	0.1450675	0.2726106	1

堆積物中の各重金属間の相関をみたが、特に相関関係はみられなかった(第4表)。

堆積物の重金属については、カドミウムは基準がないが一般土壌に比べて高い傾向にあり、ヒ素は一般土壌並みの含有量であるが1点基準を超えた。しかし、堆積した泥・砂層の厚さと濃度から判断すると、土壌汚染の可能性は低いと考えられる。今後、安全性の確認のために、耕起後の作土層の重金属含有量について調査していく必要がある。

謝 辞

土壌採取に協力いただいた関係市町、JA 等関係機関、農業改良普及センター並びに、被災地支援として土壌の分析(重金属全含有量分析)を支援いただいた山形県農業総合研究センター食の安全研究部熊谷部長を始め関係者のみなさまに深謝いたします。

要 約

2011年3月11日の東日本大震災の津波で被災した農地の堆積物について調査した。調査した県北部(本吉、石巻、松島地区)164点のうち堆積物が確認された地点は130点であった。

- ① 堆積物は海水の影響で EC が高く、河川や海底底質土壌の影響で重金属(カドミウム、銅、ヒ素)が微量であるが含まれている。
- ② 堆積物が厚いものは除塩事業で排除される。薄いものは作土との混合によって希釈されるので、作物生産上の問題はない。
- ③ 但し、安全性の確認のため、混合した後の作土の調査が必要である。

引用文献

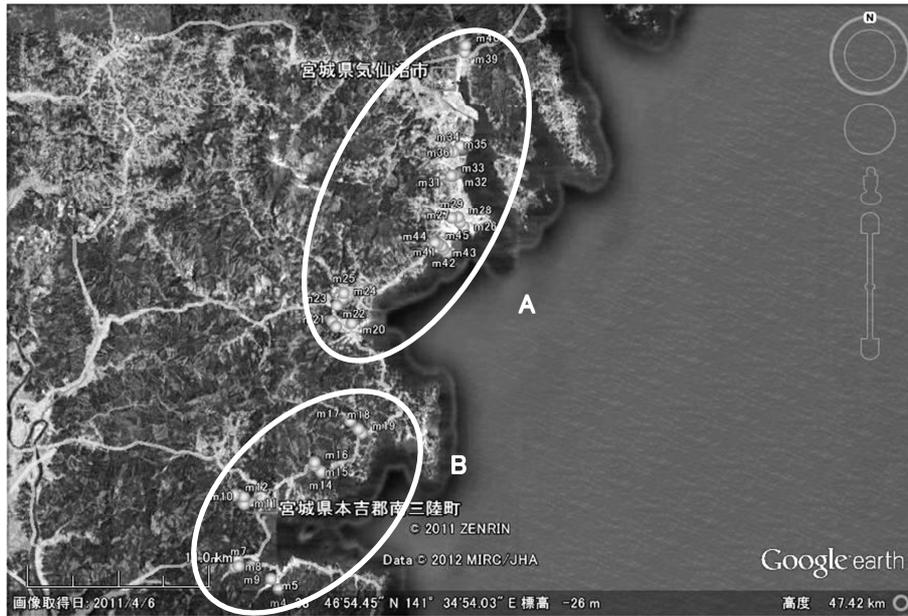
- 1) 一般社団法人廃棄物資源循環学会 津波堆積物処理指針(案)
<http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/archives/001427.html> (2011)
- 2) 独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査セン

ター 地球化学図

<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/geochemmap/index.htm>

- 3) 木村和彦, 本吉博美, 武田晃, 山崎慎一 宮城県の農耕地土壌中の微量元素濃度 日本土壌肥料学会誌 79:358-364 (2008)
- 4) 山崎慎一, 木村和彦, 本吉博美, 武田晃, 南條正巳 日本の土壌中のカドミウム濃度 日本土壌肥料学会誌 80:30-35 (2009)

島ら：東日本大震災による津波体積物の化学的性質（県北部）



第 23 図：本吉地区土壤採取場所 (A：気仙沼市, B：南三陸町) ©2011 Google, ©2011 ZENRIN, ©2012 MIRC/JHA



第 24 図：石巻地区土壤採取場所 (C：北上川流域, D：旧北上川流域, E：定川流域, F：三陸道周辺, G：自衛隊基地周辺, H：鳴瀬川流域, I：真野川流域, J：渡波地区) ©2011 Google, ©2011 ZENRIN, ©2012 MIRC/JHA



第 25 図：松島地区土壤採取地点 (K：松島町, L：七ヶ浜町, M：多賀城市) ©2011 Google, ©2011 ZENRIN, ©2012 MIRC/JHA

Chemical property of Tsunami sediment deposited following the East Japan great earthquake (Northern part of Miyagi prefecture)

Hideyuki SHIMA, Kazuhide ONODERA, Yukie KANAZAWA, Kazuyoshi SATOH,
Hirotohi ONODERA, Tomonori ABE, Atsuko WAKASHIMA, Eiko INAO, Kazuyuki MORIYA,
Chisako KONNO, Keiichi KAMIYAMA, Toyoaki ITOH and Hitoshi KANNO

Summary

We investigated the sediments of farmland affected by the tsunami caused by the East Japan great earthquake disaster of March 11, 2011. We investigated 164 points in the northern part of Miyagi prefecture (Motoyoshi, Ishinomaki, Matsushima district) and the sediments were confirmed at 130 points. The sediments showed high EC(Electric Conductivity) and the heavy metal (cadmium, copper, arsenic) concentration was very low but detectable. Our content findings do not reveal any problem for crop production based on the sediment thickness and heavy metal content of the sediments. However, an investigation on the effect of mixing the sediment with surface soil is necessary.