

大津波（2011年）に被災した農地土壌の概況 Properties of farmland soils damaged by huge tsunami (2011)

南條正巳¹

¹東北大学大学院農学研究科

要旨(Abstract)

2011年3月11日の大津波に被災した宮城県沿岸部の農地土壌の概況を同年5月11～19日に調査し、試料採取した。土壌侵食は津波が道路や畦などの微高地から落下する地点に認められた。津波の運んだ砂は沿岸部に多く、泥質堆積物は津波の到達した中間的位置に多かった。塩濃度は泥質堆積物で高く、残存土壌で低下した。泥質堆積物の表面には塩化ナトリウムの他に石コウの結晶も認められた。炭素含量の水平分布から泥質堆積物の主な由来は農地の作土と見られた。

キーワード：東日本大震災、津波、農地、土壌

Key words: The great east Japan earthquake, tsunami, farmland, soil

1. はじめに

2011年3月11日午後、巨大地震が発生した。その数十分後巨大津波が太平洋沿岸を襲い、多くの人命と資産が失われた。沿岸農地にも海水が流入し、建築物の破片や倒木などの瓦礫と砂、泥などの津波堆積物に覆われた。以下の多くは、2011年5月中旬に行われた宮城県沿岸部の農地における広域調査での状況とそのときに得られた土壌試料を主とする分析結果である。

2. 宮城県沿岸部における広域土壌調査

(1) 調査の方法

この広域調査は1 km²メッシュにおける農地の面積に応じて最大3圃場とし、合計344圃場を調査した。一つの圃場内では2カ所で採取した同じ層どうしを同量ずつ混合してその圃場の試料とした。多くの場合、津波堆積物は砂によりその下の土壌と区別でき、1 cm以上の厚さで分かれていれば、泥質堆積物と砂質堆積物を分離して採取した。その下の土壌は一律に0-10、10-20 cmを採取し、それぞれ第I層、第II層とした。3月11日からこの調査が終わる5月中旬までの約2ヶ月間の降水量は合計約150 mmであった。

これらの土壌から風乾細土を調製し、堆積層についての電気伝導度 (EC(1:5))、過酸化水

素処理後のpH (pH(H₂O₂))、1M塩酸可溶Cd, Cu, As含量 (宮城県)、全試料について、EC(1:5)、水溶性Cl⁻, SO₄²⁻ (栽培植物環境科学分野)、水溶性のNa⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺、交換性のNa⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺、可給態リン含量 (トルオーグ法) (土壌立地学分野)、全炭素、全窒素、全イオン含量 (株)朝日工業・(株)環境科学コーポレーション)を分析した。

pH(H₂O₂)は硫化物含量を簡易判定するために測定した。硫化物は水没した還元堆積物中で沈殿し、地上で空気に触れると酸化されて、その含量が多いと強酸性土壌となる。現在は山地にあっても地質時代に海底または湖底で堆積したものの中には硫化物に富むものがある。

水溶性の陰イオンと陽イオン含量は海水の影響を検討するため、交換性陽イオンは海水をかぶったために土壌に吸着されている交換性イオンの量がどのように変化したかを検討するために測定した。それらのイオンはNa⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺である。

土壌には純粋な水にほとんど溶出しないが、他のイオンとは交換可能な交換性イオン (上記)が保持されている。通常、これらの交換性イオン含量は風乾細土を前処理なしで、1 mol L⁻¹, pH7の酢酸アンモニウムで抽出して測定す

る。土壌の水溶性イオン含量は、普通、交換性イオン含量の数パーセント以下だからである。しかし、海水の Na^+ 、 Cl^- の濃度は表1のように河川水の千倍以上である。海水をかぶった土壌の水溶性イオンは大幅に増加する。このような土壌の交換性イオン含量を通常の方法で測定すると、交換性イオン含量として表示される数値は土壌のイオン交換基に保持されうる量を大幅に超えることがある（菅野他, 2012; 南條, 2014）。

(2) 農地土壌の状況

今回の津波の建築物に対する破壊力は甚大であった。これに対して、農地土壌に対する物理的被害は建築物に対するほど壊滅的ではなかった。多くの場合津波は農地と衝突せず、農地の上を進むことが多かったためと考えられる。

農地における比較的大きな侵食域は海岸から約 1km 弱のところを海岸と平行して走る道路の陸側にあった。津波がこの道路を超えて農地に落下するときに強く侵食したと推察される。その深さは水田の鋤床層よりさらに下まで及んだ。同様の侵食は、規模が小さくなっていたが、さらに陸側で畦を超えた位置にも認められた。この畦を超えた位置では鋤床が深く削られるほどではなかった。この他、海岸に近く、耕起済みの水田では作土が津波に削られた。一方、耕起されていなかった水田では稲の刈り株が立っており、作土の削剥は限定的であった。

津波が退いた跡には堆積物が残された。それは大まかに砂質堆積物と泥質堆積物に区分される。多くの場合は砂質堆積物の上に泥質堆積物が積層するという順であった。砂質堆積物は、海岸や農地土壌に含まれていた粗砂であると考えられる。泥質堆積物は、浅海底あるいは農地の作土の細粒部分が粗砂よりゆっくり沈降して粗砂の上に堆積した。泥質堆積物の粒径組成は細砂、シルト、粘土から成ると推測される。これらの堆積物はほぼ全面に分布するが、砂質

堆積物は海岸側で厚く、泥質堆積物は津波浸入地域の中程で厚く、陸側の端では両者とも薄くなる傾向であった。

3. 土壌の分析結果

(1) EC(1:5)、水溶性イオン、交換性イオン

泥質堆積物など海水をかぶった土壌では NaCl 濃度が高まり、交換性 Na 含量もある程度増加した。しかし、海水は NaCl が極端に高いことを除けば、他の主な溶存イオンである K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} は植物の養分となる。 Cl^- も濃すぎなければ、必須微量元素の一つである。泥質堆積物の窒素やリンなどの含量も高めであることが少なくない。これらは農地の養分状態を高める方向に働く。その一方、負の影響として泥質堆積物には有害元素や硫化物が過剰に含まれることも懸念された。宮城県の発表では、土壌汚染防止法の定める特定有害元素について、ヒ素 1 カ所を除いて、 Cd 、 Cu とも基準を超えないと見られた。

(2) C, N, S 他

泥質堆積物には硫化物含量過剰の指標となる $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ が3以下を示す試料もあった。そして、全 S 含量には土層ごとに特徴が認められた。元の土壌では全 S 含量は全 C 、全 N 含量と相関が強く、これらの土層の S は有機態が主であると見られた。これに対して、泥質堆積物では様々な割合で全 S 含量が高まり、無機態 S の存在が示唆された。その無機態 S の一つとして全 S 含量の高い泥質堆積物中にはフランボイダルパイライトが認められた。これは浅海堆積物または水田下層に含まれていたものと推察される。宮城県では津波堆積物の除去と一緒に硫化物の多くも除去されたと思われる。その他の無機態 S として泥質堆積物表面の NaCl を主とする析出物の中に石コウ $[\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ が確認された。石コウは海水そのものが濃縮されても沈殿しうるが、農地土壌から Na^+ と交換して溶出された Ca^{2+} と海水中に多く含まれる SO_4^{2-} との沈殿反応も関与した可能性が考えられる(南

條, 2013)。

4. その後の経過と今後の課題

海水の入った土壌での作物栽培における主な問題点は水溶性塩濃度が高いことと交換性 Na の過剰に起因する。上記広域土壌調査の時点では特に泥質堆積物の塩濃度が高かったが、下層土の塩濃度上昇はそれほどでなかった。このような中で、大麦は津波堆積物の上に伸びて穂を付け、その耐塩性が目を引いた。

アブラナ科作物は稲より耐塩性が強めで、津波被災地での栽培を試みた。津波堆積物が少なく排水のよい畑地では降水による除塩が進み、6月中旬には塩濃度が低下し、菜種は順調に生育した。これに対して、泥質堆積物中の塩濃度は低下しにくく、試験に用いた水田では泥質堆積物を除去して菜種を栽培した。セイヨウナタネは冬期に鳥の食害を受けたが、茎と葉柄は残り、2012年6月末に収穫に至った。

交換性 Na の過剰は、土壌粒子の単粒化による物理性の悪化と植物体における陽イオンバランスの悪化、特に Ca^{2+} の不足を引き起こす。海外では数種の果樹において交換性 Na の過剰に対する感受性が高いとされる。交換性 Na は雨水だけではあまり減少しにくい。畑作物でも Ca^{2+} 不足を引き起こす可能性はあり得る。河川水は電荷濃度としてみれば Ca^{2+} が Na^+ より高く、河川水のかんがいにより交換性 Na 含量は次第に低下すると期待される。交換性 Mg, K は津波により増加傾向であった。

除塩の過程では土壌 pH も上昇傾向にある。塩濃度が低下するにつれて土壌固相表面の -O^- が -OH に変わり、液相中に OH^- が残るためである。水田における Cd 汚染対策の一つとして行われた石灰資材を施与して土壌 pH を上げる試験によれば、pH7.5 (風乾土での値) 程度では稲の生育に大きな問題はなかった。 Ca^{2+} は土壌固相表面の -O^- と親和性が強く、交換性 Ca^{2+} の含量が増す過程で pH も低下に向かうと考えられる。

2011年においても津波被災地の一部で除塩と水稻栽培が行われ、生育が向上する例も報告された。 NaCl が除去されれば、各種養分元素の添加効果の発現もありうる。初期に沈降しにくい泥水が認められたとの観察もある。

謝辞：支援と協力を頂いた宮城県、仙台市、(独)科学技術振興機構、(株)朝日工業、(株)環境科学コーポレーション、(株)クレハ、大林組技術研究所、被災地農業者、内藤記念科学振興財団、東北大学大学院農学研究科他の方々に厚く謝意を表す。

引用文献

菅野均志, 伊藤豊彰, 高橋 正, 南條正巳, 島秀之, 小野寺和英, 金澤由紀恵, 稲生栄子, 森谷和幸, 今野知佐子 (2012) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震津波の宮城県沿岸部農地への影響-広域土壌調査による農地 344 地点の被害状況-, 日本ペドロロジー学会 2012 年度大会講演要旨集, p. 54.

南條正巳 (2013) : 農地における塩害の概況とその修復. シリーズ 21 世紀の農学、日本農学会編、東日本大震災からの農林水産業と地域社会の復興、p.1-19. 養賢堂、東京.

南條正巳 (2014) : 津波被災土壌の分析、東北大学菜の花プロジェクト編菜の花サイエンス 津波塩害農地の復興, pp. 66-78. 東北大学出版会、仙台.