

津波被災農地の実態調査(3)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	南條, 正巳
巻/号	86巻5号
掲載ページ	p. 401-403
発行年月	2015年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



津波被災農地の実態調査

3. 宮城県の津波被災農地の土壌と堆積物の性質

南條正巳

キーワード 津波, 土壌, 石コウ, 塩類, ソーダ質化

1. はじめに

2011年3月11日の大津波は青森県から千葉県におよぶ太平洋沿岸に広く上陸した。宮城県沿岸部においては、同年5月11～19日に広域土壌調査(344地点)が行われた(菅野, 2014; 島ら, 2012; 稲生ら, 2013)。その時に採取された土壌の分析結果を中心に農地土壌に対する津波の影響を概観した。この調査では津波堆積物とその下の残存土壌を深さ10 cm ずつ2層(第I層, 第II層)採取した。津波堆積物は厚さ1 cm 以上であれば、分離して採取し、それがさらに、泥質(泥層)、砂質(砂層)と異なる層に区分できる場合にはそれらを分離して採取した。その風乾細土を用いて、全炭素(C)、全窒素(N)、全イオウ(S)、電気伝導度(EC(1:5))、水溶性カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)含量、交換性Ca, Mg, Na, K含量などを分担して測定した。

2. 全炭素含量から推測される津波堆積物・残存土壌の性質

津波は急激な海底の変動が海水に伝わって引き起こされ、海水の深部も波動しながら陸に達する。津波による侵食域として沿岸部が挙げられる(Srisutam and Wagner, 2010)。上陸した津波の色は場所によって変化し、海岸の地形や海底の堆積物が異なるためと考えられる。報道によれば、宮古などでは黒い津波が上陸し、仙台湾岸では白い津波が上陸した。仙台平野では津波が陸を進む間に津波の色が黒変した。

農地における津波の侵食は津波が道路や畦などの微高地を超えて落下(箕浦, 2014)した所で認められた。仙台平野の津波の色はこのような場所で黒変したと推測された。また、耕起済みの水田では、津波の到達域にもよるが、作土が流されがちであった。これらに対して、耕起前の水田では、刈り株が立っているところが多く、侵食は比較的弱かった(Nanzyo, 2012)。

このようにして津波が引いた跡の農地には侵食部と堆積物が残され、様々な瓦礫が様々な度合いで散在した。上記広域調査の時点では、道路の瓦礫は除去され、農地の瓦礫の一部は片付けられ、部分的に積み上げられていた。その後、宮城県の農地では津波の堆積物は除去され、山土が客土された。一部では客土された農地の改良も課題になった。

津波が4～5 km に渡って広く上陸した仙台湾岸について見ると、津波の運んだ堆積物は海岸側で厚かった(菅野, 2014)。その内訳を見ると砂質物は海岸側で多く、泥質物は津波の到達した中程(海岸から2～3 km 程度)で多い傾向であった。津波堆積物および残存土の全C含量は6～204 g kg⁻¹で200 g kg⁻¹を超える試料は少なく、層別に見ても平均値は25～27 g kg⁻¹の範囲にあり、差は小さかった。しかし、その水平分布を見ると、当地域の土壌分布との関係が深かった(南條, 2015)。

国土調査の土壌図(国土調査, 1967 他)および農耕地の土壌図(高田, 2011)によれば、仙台湾岸の低地には泥炭土または黒泥土が仙台市(七北田川と広瀬川の間)、名取市～岩沼市(広瀬川と阿武隈川の間)、亶理町～山元町(阿武隈川以南)の3カ所にまとまって分布する。これらに対応して、残存土第I層, 第II層とも全C含量40 g kg⁻¹以上の地域も3カ所にまとまって分布した。さらに泥層における全C含量も残存土第I, II層にほぼ対応して3カ所にまとまって分布した。これらの結果は、泥層の主要部分はこの地域の表土であることを示唆する。これに対して、砂質堆積物は海岸側で厚いことから、その多くは海岸付近に由来すると見られる。今回の津波堆積物には海底泥質物が少ないと指摘された(Szczuciński *et al.*, 2012)。

3. イオウ化合物の特徴

一般に土壌有機物は生物の影響が強く、その構成元素としてC, 水素(H), 酸素(O)の他にN, S, リン(P)などを含む。特に全N含量と全C含量は土壌の基礎的特性として汎用され、密接な比例関係にあり、泥層、残存土の第I層, 第II層とも同様な傾向であった(南條, 2013)。全S含量も表土では一般に有機態が多くを占める(Eriksen, 2009)。今回の津波被災地の同第I層, 第II層でも全S含量は全C含量と比例関係であった。これに対して、特に泥層の全S含量はその比例関係を超過して増加した。その多くは石コウ[CaSO₄・2H₂O]が沈殿したた

めであった。石コウの存在は、泥層表面にできた白色の晶出物中にX線回折(XRD)と走査電子顕微鏡(SEM)観察、エネルギー分散型X線分析(EDX)により確認した。また、石コウは農地土壌にモデル海水を加えて、一旦懸濁状態とし、そのまま乾燥すると土壌表面に晶出した。津波被災から2ヶ月が経過した当広域土壌調査の時点までに合計100~150mmの降水があり、塩化ナトリウム(NaCl)が部分的に溶脱する中で、石コウはNaClより溶けにくく、残存する傾向であったと推察される。さらに、全S含量の特に高い($>8\text{gkg}^{-1}$)泥層(16地点)から選択した4地点の試料には、濃縮操作を経て、XRD, SEM-EDXにより多面体の微小結晶の集合体としてのフランボイダルパイライト(Vallentyne, 1963)が検出された(南條, 2013)。フランボイダルパイライトは、湖底、川底堆積物や土壌を津波が深く侵食した部分等に由来すると推察される。硫化物含量が高いと酸化により土壌が強く酸性化する可能性がある(斎藤ら, 2006; 伊藤, 2014)。

4. 塩分と交換性イオンの水平垂直分布

土壌に対する塩分の影響は2つに区分でき、水溶性塩類含量の増加と交換性Naの増加である。2011年3月25日の1地点のみの測定結果では、耕起前の水田であったが、塩分濃度の高い部分は表層数cmで、その下では深さとともに急減した。同様の事例は2006年のインド洋津波の際にも観察された(赤江他, 2010)。同年5月の広域調査の結果でも垂直分布の形は泥質津波堆積物で塩分濃度が高く、その下で減少する傾向は類似した。その一方、EC(1:5)の値は第II層でも多くの地点で除塩目標の $0.3\sim 0.5\text{dSm}^{-1}$ より高い値になった。土壌中の水分が上下移動を繰り返す中で、泥質堆積物に塩分が残留傾向であった理由として、乾燥時に塩分が表面に晶出・集積したこと、粒度がやや細かく、緻密で塩分の拡散が相対的に遅かったことなどが考えられる。泥層、砂層、第I、II層ともEC(1:5)は水溶性塩類含量を反映し、水溶性Na, K, Ca, Mgの電荷合計と緩やかな曲線関係にあった(亀和田, 1991)。

水溶性Na, K, Ca, Mg含量をイオン別に比較すると、 $\text{Na} \gg \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$ であり、海水と類似した。層別に見ると、水溶性Ca, Mg, K, Na含量とも泥層で最も多い傾向であった。次いで、第I層>第II層であり、海水の影響を受けやすい順であった。砂層の値は変動幅が広く、第I層に近いものから第II層に近いものまでであった。

交換性イオンのイオン別含量順位は、平均値で見れば、4つの層とも $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ であり、Caが最大であった。次いでMgである点は一般の農耕地土壌と同じであるが、NaはKよりも多かった。後述のイオン交換の検討も合わせると、Caは海水中のNaと交換して多少減少したが、交換性イオンを繰り返し平衡法で測定したため、酢酸アンモニウム抽出の間に溶解した石コウの影響が加わり、大きめの値になったと推察される。Mg, K, Na含量を層別に見れば、海水の影響を受けやすい順と同じく、泥

層>第I層、第II層の順であった。これらに対して、Caは泥層、第I、II層の間の差が小さかった。交換性Na含量は第II層でも交換性Kより多量であることが多く、海水の影響が第II層まで達した所は多かった。尚、Na, K, Ca, Mgの水溶性と交換性の全体的関係を当量分率で表現する方法も試みられた(南條, 2015)。

5. ソーダ質化の進行度

土壌の交換性イオン組成は土壌粒子の挙動に影響する。特に交換性Naの増加は土壌粒子の単粒化を促進し、分散性を高め、乾燥時には固化とクラストの形成を促す。上記泥層の交換性Na含量は、4つの交換性イオンの合計電荷に対する割合を見ると、平均18%であった。土壌の物理性悪化が懸念される目安とされる交換性Na率15%の域に達した地点も少なくない。除塩後の水稻初期生育の時期には、一部に田面水の濁りが報告された。

今回の津波堆積物に含まれる水溶性陽イオンの含量順は上記のように海水と同じであり、Naが他より非常に多かった。これに対して、交換性イオンの平均値の方は $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)と電荷の量でCaが最大の状況を維持した。この状況は土壌のソーダ質化に関する既報と同じかどうか検討した。土壌のソーダ質化の過程は経験式 $\text{ESP}/(100-\text{ESP})=0.015 \times \text{SAR}$ で表現されてきた(Bolt and Bruggenwert, 1976)。ここで、ESPは交換性Na率(%), SARはNa吸着比(濃度の単位は mmolL^{-1})である。この式を風乾細土の1:5水抽出懸濁液中の陽イオン組成と吸着している交換性イオン組成の間に適用した。但し、ここではCECを測定していないので、ESPに代えて交換性Ca, Mg, K, Naの電荷合計に対するNaの電荷の百分率を用いた。また、 $\text{SAR} = [\text{Na}^+]/([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])^{1/2}$ 、濃度の単位は mmolL^{-1} である。なお、 $[\text{Na}^+] \gg [\text{K}^+]$ であり、 $[\text{Na}^+]$ の代わりに $[\text{Na}^+] + [\text{K}^+]$ を用いても計算結果への影響は小さい。

計算の結果、第I層、第II層の多くは右辺の係数が $0.008\sim 0.02$ とバラツキがあるが、当経験式にほぼ適合した。これに対して、泥層と砂層では係数部分がそれより低い $0.004\sim 0.014$ に分布した。これは、溶液の陽イオン組成に比べて、交換性Naが少ないことを示す。交換性イオンの測定に1:5水抽出の後、酢酸アンモニウム液による2回繰り返し平衡法を用いたため、同水抽出液に溶け残った石コウがその後の酢酸アンモニウム液抽出の過程で抽出されたためと考えられる。その根拠に、泥層、砂層における上式右辺の係数0.015相当からの低下分と全S含量は有意に相関したことが挙げられる。これらの結果は当地域の農地土壌が海水を受けても上記の経験式を大きく超えてソーダ質化が進むことはないことを示唆する(南條, 2015)。

文 献

赤江剛夫・濱田浩正・諸泉利嗣・石黒宗秀・守田秀則・中矢哲郎

2010. 2004年インド洋津波による農村地帯の農業被害実態と復旧対策. 農業農村工学会誌, **78**,775-778.
- Bolt, G. H., and Bruggenwert, M. G. M. 1976. Soil chemistry A. Basic elements, 2nd ed. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 岩田進午・三輪睿太郎・井上隆弘・陽捷行訳 1980. 土壌の化学, 学会出版センター.
- Ericksen, J. 2009. Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. *Advances in Agronomy*, **102**,55-89.
- 稲生栄子・上山啓一・森谷和幸・今野知佐子・小野寺和英・島 秀之・伊藤豊彰・菅野均志 2013. 東日本大震災による津波堆積物の化学的性質 (宮城県南部). 宮城県農業・園芸総合研究所研究報告, **81**,63-87.
- 伊藤豊彰 2014. 津波被災水田における除塩後の作物生産上の問題と対策. ベドロジスト, **58**,51-58.
- 菅野均志 2014. 2011年5月の広域土壌調査から明らかになった仙台平野の津波被災農地の実態. ベドロジスト, **58**,44-50.
- 亀和田國彦 1991. 土壌溶液イオン組成からの EC の推定とアニオン種の違いが EC および浸透圧に及ぼす影響. 土肥誌, **62**, 634-640.
- 国土調査 1967. 仙台, 1982. 岩沼, 1986. 角田.
- 箕浦幸治 2014. 海溝型地震津波による水災害—3.11津波遡上の水理学的教訓. ベドロジスト, **58**,32-43.
- 三宅靖人・下瀬 昇・河内知道 1988. 笠岡湾干拓地畑土壌に対する土壌改良資材の除塩効果. 岡山大農学報, **72**,77-87.
- Nanzyo, M. 2012. Impacts of tsunami (March 11, 2011) on paddy field soils in Miyagi Prefecture, Japan. *Journal of Integrated Field Science*, **9**,3-10.
- 南條正巳 2013. 農地における塩害の概況とその修復. 日本農学会編, シリーズ21世紀の農学, 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. 東京, 養賢堂
- 南條正巳 2015. 大津波 (2011年) に被災した宮城県沿岸部農地土壌の概況. 土壌の物理性, **129**,5-12.
- 斎藤公夫・島 秀之・加藤正美・広上佳作・武田 忠 2006. 仙台沿岸部における酸性硫酸塩水田の改善のための石灰施用量策定. 宮城県古川農業試験場研究報告, **6**,43-52.
- 島 秀之・小野寺和英・金澤由紀恵・佐藤一良・小野寺博稔・阿部倫則・若嶋淳子・稲生栄子・森谷和幸・今野知佐子・上山啓一・伊藤豊彰・菅野均志 2012. 東日本大震災による津波堆積物の化学的性質 (県北部). 宮城県古川農業試験場報告, **10**,33-42.
- Srisutam, C., and Wagner J.-F. 2010. Tsunami sediment characteristics at the Thai Andaman Coast. *Pure Appl. Geophys.*, **167**,215-232.
- Szczuciński, W., Kokociński, M., Rzeszewski, M., Chague-Goff, C., Cachao, M., Goto, K., and Sugawara, D. 2012. Sediment sources and sedimentation processes of 2011 Tohoku-oki tsunami deposits on the Sendai Plain, Japan - Insights from diatoms, nannoliths and grain size distribution. *Sedimentary Geology*, **282**,40-56.
- 高田祐介 2011. 土壌情報閲覧システムの構築と利用. インベントリー, **9**,29-33.
- Vallentyne, J. R. 1963. Isolation of pyrite spherules from recent sediments. *Limnology and Oceanography*, **8**,16-29.