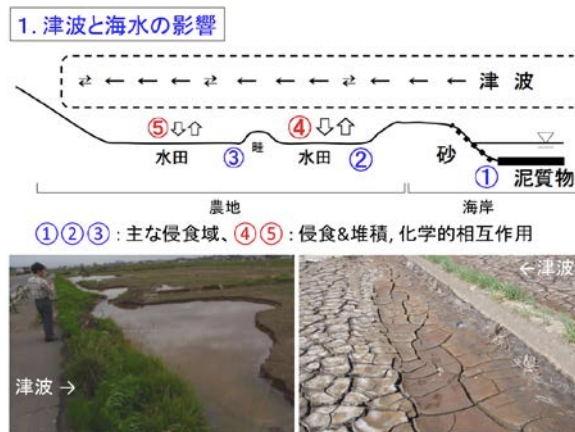


農地土壌に対する津波影響の概要

南條正巳（東北大・農）



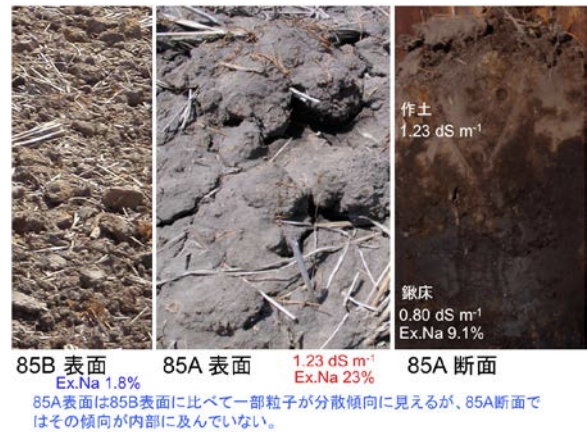
1. 農地の受けた津波の影響についてご報告します。前半は津波と海水の影響、後半は除塩と作物栽培についてです。



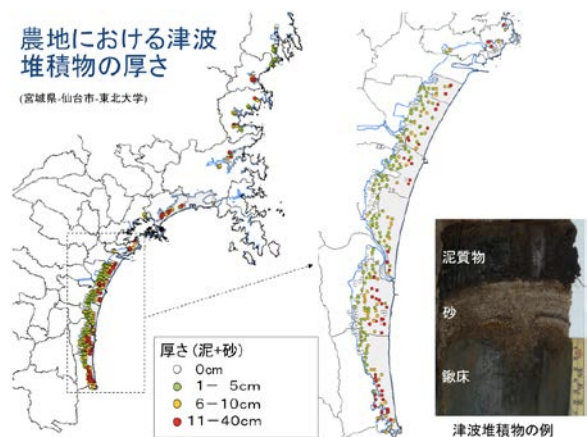
2. 津波の物理的影響と海水の化学的影響についてです。

上はその模式図で、津波はこちらから来まして、①は見えていないですが、②、③に侵食域があります。津波がわずかに高い所を超えて落ちたところで農地が侵食されています。左下は道路を超えた所、右下は畦を超えたところです。その他、水田が耕起済みであれば、海側の④の作土は流され、陸側の⑤の方では水量が少ないと作土が残っています。耕起前であれば、どちらも作土の大部分は残っています。

この他海水と土壌の間のイオン交換反応、海水が乾けば沈殿反応もあります。次のスライドはこの模式図の左側で海岸から遠く、土がほとんど海水だけをかぶった地点のことです。



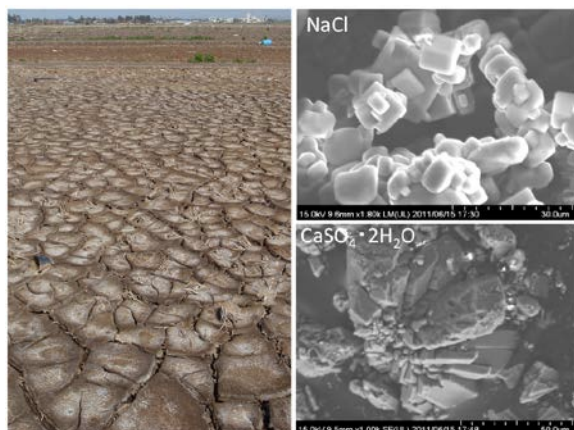
3. 左は普通の耕起後の土で土塊が角ばっています。しかし、土が海水をかぶった後、雨があたりますと中央のようなべったりした感じになっています。これは土に吸着しているナトリウム（以下のスライドには交換性ナトリウムと書いています）が増えたためです。しかし、右の写真のように、固くなったのは表面だけで、内部は柔らかいままでした。



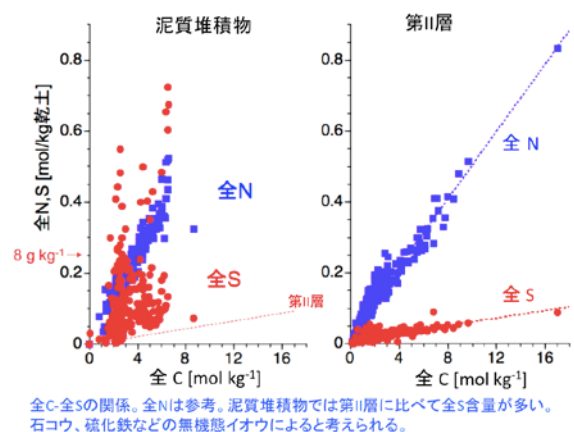
4. 次は堆積物の話です。この調査は2011年5月11～19日に行いました。左は宮城県沿岸部全体、中央はその南部の拡大図です。赤丸は堆積物が厚い地点で、海に近い方が厚い傾向です。この調査の中では最大約40cmでした。内陸側では堆積物が少なくなりました。

堆積物は右の写真のように泥と砂からなっていて、砂が下で、泥が上に堆積する傾向でした。懸濁物として流れてきて、流れが遅くなったとき、砂が先に沈み、泥が遅れて沈んだためです。砂は海に近い方で厚いものに対して、泥は津波侵入域の中程で厚くなる傾向でした。

なお、右の写真は耕起済みの水田で、作土は侵食され、鍬床だけが残り、その上に津波堆積物が堆積しています。



5. 泥が乾く（左）と表面には塩類が結晶化しました。その塩類を電子顕微鏡で見ますと、サイコロのような塩化ナトリウム（右上）とその他に意外と多かったのは棒状の石こうです（右下）。石こうは硫酸カルシウムです。そして、つぎに硫黄を見ていきます。



6. はじめに右のグラフです。こちら（第II層）は津波堆積物の下に残っていた元の水田の下層の土です。硫黄の含量は炭素と比例しています。窒素の含量もそうで、両方とも多くは有機態であるためです。

ところが、左の津波堆積物の泥を見ますと、窒素は右のグラフとほぼ同じように炭素含量と比例していますが、硫黄は炭素と比例せずにいろいろな割合で多くなっています。無機態の石こうが沈殿したためです。他の結果も合わせて考えますと、小さい赤字で示した硫黄が 8 g kg^{-1} ほどまでは石こうの沈殿によると見ることができます。

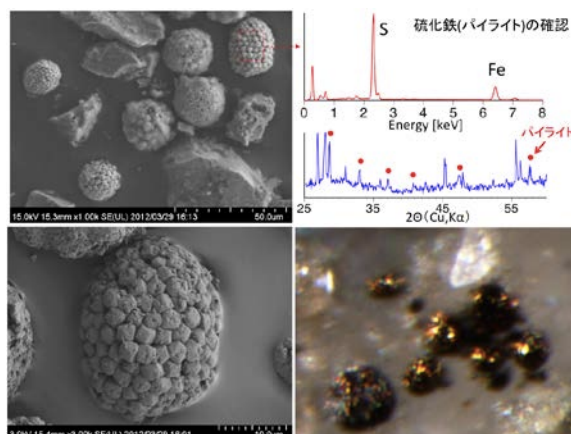
しかし、十数点ですが、それよりさらに硫黄含量の多い試料もあります。それは後のスライドで検討します。

海水と川水

	平均海水	国内9河川平均
	mM	
Cl^-	545.0	0.17
SO_4^{2-}	28.2	0.18
HCO_3^-	2.38	0.22
Na^+	468.0	0.26
K^+	10.2	0.03
Ca^{2+}	10.2	0.26
Mg^{2+}	53.2	0.10
	Stumm & Morgan (1996)	理科年表 (1989)

7. 海水を川の水と比べますと塩化物イオンとナトリウムイオンの濃度が断然高いです。しかし、その他のイオン濃度も高いです。海水が乾けば、それらの塩類が結晶化しますが、塩化ナトリウムは溶けやすいので少しの雨で流れます。その結果、少し溶けにくい石こうが残りやすかったと思われます。

他で検討した結果によりますと、排水の良い所では、さらに数ヶ月が経過すると大部分の石こうも雨水に溶けてなくなったようです。



8. 硫黄の含量が 8 g kg^{-1} 以上と特に多い堆積物から4試料を選んで調べますとそのいずれにもこのような丸いもの（左上、左下、右下）が見つかりました。

元素組成を調べますと硫黄と鉄で（右上）、酸素はあまりなく、硫化鉄（パイライト）でした。左上の写真のように丸いものだけを完全に分離できてはいませんが、右上の下のX線回折図には一連のパイライトの回折ピークが認められました。

パイライトは普通還元状態の所にあつて、地表に出れば酸化されて、土は酸性になります。これについては次の伊藤先生からさらに詳しい説明があると思います。

2. 除塩・作物栽培



86 大麦の強い耐塩性

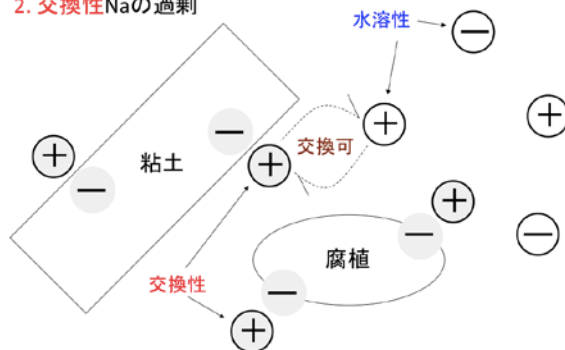


耕起後、かんがい水による水田の除塩作業。 2012_1_19

9. 次は除塩と作物栽培についてです。作物の耐塩性はさまざまです。大麦は塩に強く、2011年5月の時点で、春に施肥がたぶんされていないので小さいですが、左のように穂をつけていました。しかし、稲は大麦ほど耐塩性が強くありません。右の写真は、かんがい水を使って除塩（マニュアル：農林水産省）をしている様子です。除塩は内陸側から進められ、これまではほぼ順調のようです。

塩の影響の主な問題点：

1. 水溶性塩類の過剰
2. 交換性Naの過剰

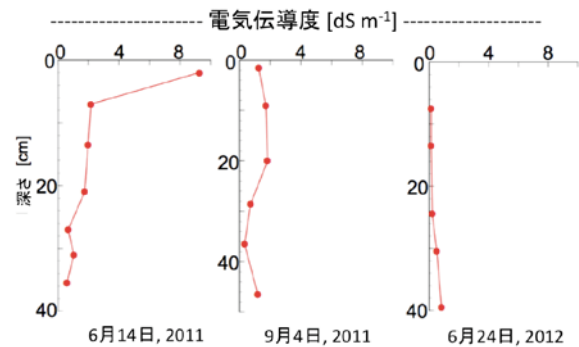


10. 農地の土壌における塩の影響の問題点は2つあります。一つは溶けている塩が過剰になること、二つ目は吸着しているナトリウムが多くなることです。

土には普通マイナスの電荷があって、プラスのイオンが吸着しています。作土では普通、カルシウムイオンが一番多くなっています。ここに海水が来ますと、まず、溶けている塩が多すぎて作物に影響が出ます。さらに一部にイオンの交換が起きて、吸着したナトリウムイオンが多くなります。

淡水をかけると溶けているイオンは流れますが、吸着しているナトリウムは減りにくい性質があります。吸着しているイオンは、他の濃

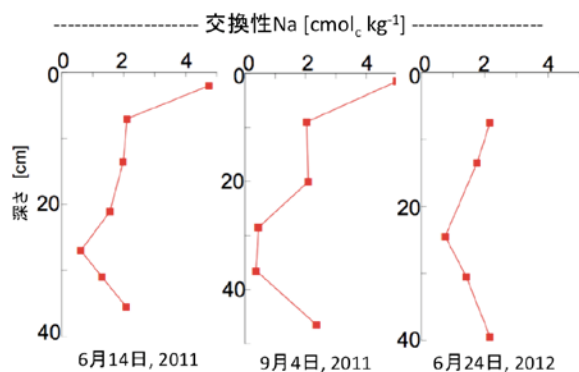
いイオンや親和性の特に高いイオンと出会うと交換しますが、イオン濃度の薄い雨水や淡水では吸着しているナトリウムイオンの量に急な変化は起こりません。例えば次のスライドです。



電気伝導度値の垂直分布の推移。津波堆積物は2011年9月4日以降に除去した。

11. これは自然の降雨だけで塩が次第に除去された事例です。溶けている塩濃度（土:水=1:5の電気伝導度で表現しています）の垂直分布を示しています。津波の約3ヶ月後（左）でも表層の泥の塩濃度は高いですが、6ヶ月経つと泥でも大分減り（中央）、1年経つとごくわずかになっています（右）。

右の2012年の図は泥が除去された後です。深さ10~20cmの値も低くなって、塩の除去が進んでいます。



交換性Na含量の時間経過。2011年9月4日以降に津波堆積物除去を除去した。交換性Naは降水により除去されにくい。

12. 次に吸着しているナトリウムです。3ヶ月後に泥で多く、6ヶ月後でもほとんど減りませんでした。また、下層を見ても泥より少ないですが、時間が経ってもあまり減っていません。1年を経過しても、表層の泥は除去されましたが、下層には交換性ナトリウムが残っています。

深さ30~40cm付近には砂があり、吸着容量が低いために吸着している交換性ナトリウムの量も少なくなっています。



13. 交換性ナトリウムは残りますが、菜種、稲やその他の野菜の生育はほとんど順調のようです。右手前は除塩後の稲で道路の向こう側も去年は作付けされませんでした。除塩が済み、今年は作付けされると思います。

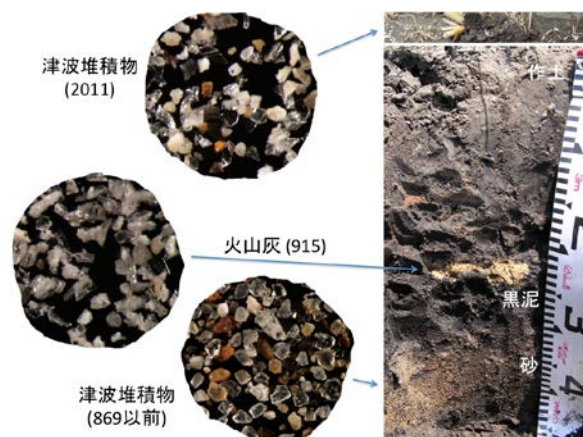


地質学、歴史研究によれば、最近の2000年間に、4回の大津波が仙台平野に上陸した。

2011	(平成)
1611	慶長
869	貞観
B.P. 2000	弥生

Minoura and Nakaya, 1990; 飯沼 1995; Matsumoto et al., 2011.

14. 最後に土の中に見られる津波被災の歴史です。仙台平野にはこの2000年の間に4回大津波が上陸したとされます。弥生、貞観、慶長、そして今回の平成です。



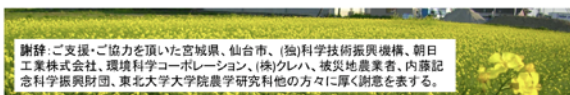
15. 私たちが調査した地点の中にも貞観津波の砂ではないかと思われるものがありました。どうしてわかるかといいますと、ここに降灰した年代既知の火山灰があるからです。

上は今回の津波の運んだ泥でその中の砂を見るとやや角の取れたもので火山ガラスも含まれ、農地造成の影響もあつてか、いろいろなものの混合物です。中ほどの火山灰は西暦 915 年の火山灰で、顕微鏡でみると大部分が火山ガラスです。この下の砂はやや丸みを帯び、海岸や川の下流のものの特徴で、貞観以前のものと思われます。

この地点は、上のスライドの塩分と吸着しているナトリウムの垂直分布を測定した場所です。貞観以前の津波に運ばれてきた砂の層は、排水を促し、今回の津波後の除塩に貢献したと考えられます。

3. まとめ

1. 津波による微高地を超えた所での侵食
2. 耕起済み作土の流亡、耕起前の水田では弱い侵食
3. 津波による運搬物の堆積
4. NaCl、交換性Na⁺の増加
5. CaSO₄・2H₂Oの沈殿、一部で硫化物混入、有害元素の微増
6. 除塩後の濁り水、乾燥時の土壌の固化、交換性Na⁺の緩慢な減少と作物にCa欠乏症の可能性
7. 津波堆積物の除去による硫化物、有害元素等の影響緩和
8. 地盤沈下対策、堤防・排水機・排水設備の増強



16. 最後にまとめです。農地では津波が高みを超えた所で侵食を受けました。耕起済みですと作土が流されたところもありました。その上に、砂と泥が堆積しています。

海水をかぶると土の塩分、吸着しているナトリウムが増加し、石こうの沈殿、硫化物の混入、そして、有害元素がわずかに増える傾向などもありました。

除塩後は吸着しているナトリウムがやや残り、その影響が出れば、カルシウムを補給する必要があります。堆積物は厚ければ除去されましたが、硫化物や有害元素の影響もそれに伴い緩和されます。

今後は地盤沈下対策や、塩は一旦表層から除去してもまた上に動く可能性(例えば、転換畑などで)もあり、排水設備の増強とその管理強化等が望まれます。