

Sea salt-damaged rice fields after the Noto Hanto Earthquake in 2007 (<Special issue>The Noto Hanto Earthquake in 2007(Part2))

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061691

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



能登半島地震による水田の塩害被害

田崎和江*・野村正純*・馬場奈緒子*

Sea salt-damaged rice fields after the Noto Hanto Earthquake in 2007

TAZAKI Kazue*, NOMURA Masazumi* and BABA Naoko*

Abstract The Noto Hanto Earthquake with a magnitude of 6.9 struck off the North coast of Ishikawa Prefecture that occurred at 9:41 a.m. on the 25th March 2007. It was an undersea earthquake with an epicentre of about 30km Southwest of Wajima, shaking up the Hokuriku district and cutting electricity and drinking water system for 1-2 weeks. All residents, especially those who are near the hardest hit areas, were advised to use drinking water collected from springs, wells and mountain natural waters with extra caution, because the water had become muddy after the quake. Some of waters were shifted from neutral to acidic pH (pH 5) that was not drinkable due to SO_4^{2-} . On the other hand, the rice fields were also damaged by sea salt after 2 months of the earthquake, because of several factors to consider, such as cracks, faults, and subsidence near reservoir water for rice field irrigation at Nakajima-machi, Nanao City, Ishikawa Prefecture at the beginning of June 2007. The field measurements of the pH of the water (pH 8) and high electrical conductivity (EC) suggest that seawater flowed into the rice fields, which agreed with X-ray Fluorescence quantitative analysis, showing high chlorine content. The soil and rice at damaged fields indicated high Na, S, Cl, and Fe contents, showing typical phenomenon of sea-salt damage. Farmers have asked the government for compensation and prevention of the damaged rice fields even after 2-3 months of the earthquake.

Key Words : The Noto Hanto Earthquake in 2007, drinking water, rice field water, chlorine, pH, EC, sea salt damage, compensation

はじめに

2007年3月25日午前9時41分に能登半島地震(M. 6.9)が発生し、能登半島一帯において、死者1名と多くの家屋の倒壊、道路の陥没、崖や斜面の崩落などの被害をもたらした。また、電気・ガス・水道などのライフラインにも被害が及んだ。災害時には上水道がストップすると決めてかかるのがよい。関東大震災や阪神大震災(1995年1月)のとき、小さな井戸が生きていて、地震の影響で一時的に多少の濁りは生じたがすぐに清澄さを取り戻し、多くの被災者の飲料水として大役に立った(井上・高井1996)。また、新潟中越地震(2004年10月)のとき、湧き水や山からの地下水を炊飯や用水に使用したとの報告がある(新潟県越路・大地の会2007)。その教訓をもとに、私たちはすぐに水質測定の現地調査を行い、地質専門家の立場で地域のライフラインの確保に貢献した。石川県輪島市では、断水した被災地の15ヶ所の生活水(湧き水、井戸水、山水)の水質測定を行った。その結果、白色、灰色、褐色の濁りのある水が中性からpH5と酸性に変化していたため、飲料不可の指摘を行い、かつ、

分析結果をもとに硫酸イオンの増加による湧き水の酸性化について保健所に報告した(田崎ほか2007)。また、生活水に使用した湧き水や井戸水から多量の微生物や大腸菌が認められ、これについても飲料不可の指導を行った。

一方、輪島市門前町のじんのびの湯の温泉水はこの地震の後、中性からアルカリ性(pH8.1)に変化し、塩化ナトリウムが多く含まれ、海水が流入した可能性を示した(田崎ほか2007)。すなわち、今回の地震により、地下水の水脈に大きな変化を生じたことを示している。ライフラインは人間のみならず、生物、植物、特に農作物にとって大変重要である。農業用水はおもに灌漑用に使われている真水であり、米作農家にとって真水の有無は死活問題である。3月末の能登半島地震の時には、まだ水田には水も稲もなく水路の整備期間中であった。4月中旬から水入れと田起こしが始まり、5月の連休に一斉に田植えが行われた。苗が20cm位になった6月初旬、干拓地である石川県七尾市中島町奥吉田地内の水田に塩害が現れ始め、一部の水田の苗はほぼ全滅した。農業用水を貯水池に溜め、各水田に水をポンプで給水する配管システムが完成してから20年たつが、これまで塩害にみまわれ

2007年6月25日受付。2007年7月10日受理。

*北陸支部。金沢大学大学院自然科学研究科。〒920-1192 金沢市角間町。

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, 920-1192 Japan

たことは一度もなかったという。この貯水池口への用水路の沈下、そして貯水池に隣接する日用川（ひょうがわ）の土手のあちこちに亀裂・陥没・ずれが生じていることから、能登半島地震によってこの貯水池へ日用川の海水が浸透した可能性が考えられ、本調査研究を開始した。能登半島地震後約2ヶ月たった2007年5月末から6月にかけて、石川県七尾市中島町奥吉田における地震被害と水田の塩害調査を実施しその結果を報告し、対策について地元の方に提案した。

調査方法と試料採取

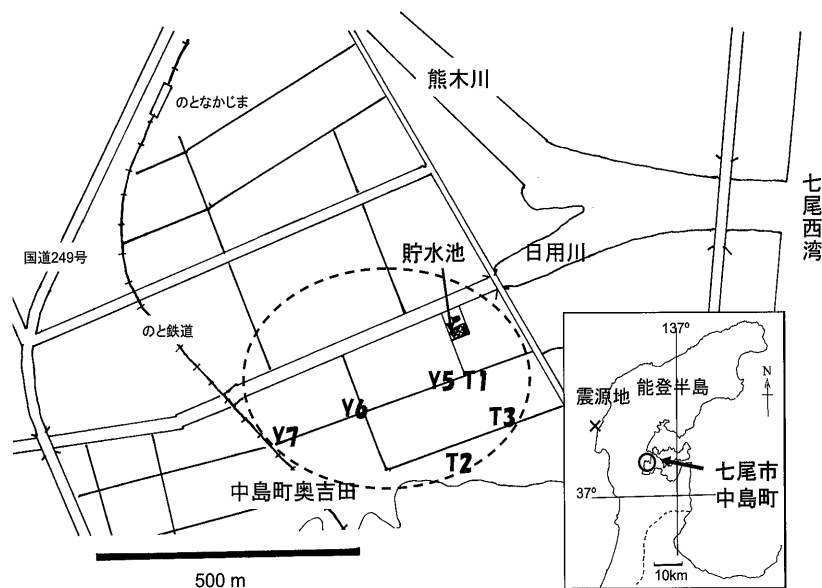
2007年6月5日、能登半島の七尾市中島町奥吉田の農業用の貯水池で、塩分濃度が通常の10～20倍も上昇し、5月30日から、農家約50軒の水田約60ヘクタールに送水できない状態が生じた。市と県の関係者が原因究明のため6月5日に調査を行った。しかし、その原因がつかめなかった。そこで、私たちは6月6～7日に現地で水質測定と空間ベータ線の測定を行った。測定項目は、pH、酸化還元電位（ORP）、電気伝導度（EC）、溶存酸素（DO）、水温（いずれもHORIBA カスタニーメーター使用）および空間ベータ線である。空間ベータ線の測定はGMサーベーター（TGS-146, ALOKA 社）を使用した。また、豊川水利組合員数名から聞き取り調査を行い、日用川の河川水、農業用ため池の水、被害の出ている3つの水田の水と土壌、稲苗を採取し、蛍光X線分析（XRF）により含有元素の定量分析を行った。日本電子製エネルギー分散型蛍光X線分析装置JSM-3201, Rh-K α 線源を分析に用いた。なお、今回着目する塩素はX管球ターゲット材Rhと重なるため、一次フィルターにCr用フィルターを用い、加速電圧は30kVと50kVで2回測定した。定量分析はフィルターなしの測定とCr、Pb用フィルターの3つを組み合わせたフィルターFT法で、スペクトルの強度差による定量的な判定を行った。水試料は専用ホルダ（1530タイプ+プロレン）に試料液体4mlをシリンジで採取し、測定した。比較のために塩素が検出されない昭島市工業用水も用いた。稲苗の試料は水道水で付着している土壌を洗浄した後、純水で洗浄し、70度で約3時間乾燥させ、細かく切断した後試料成形プレスで成形した。なお、土壌試料6.69gは70度で約3時間乾燥させると3.68gになった。メノウ乳鉢で粉碎後、成形プレスで成形した。植物は慣例にならって元素表示を、水と土壌は酸化物で表示した。なお、地震に関連した放射能異常について、大気あるいは井戸水の放射性ラドン（ ^{222}Rn , 半減期3.8日の希ガス）濃度の変化と地震の関係について、多くの報告がある（ラドン族調査研究委員会1995；辻本ほか1995）。

結果

このたび塩害を被った石川県七尾市中島町奥吉田は能登半島の一番細くなった七尾西湾に面しており、和倉温泉の北西5kmにある干拓地である。200年前に湾の一部を埋め立てて

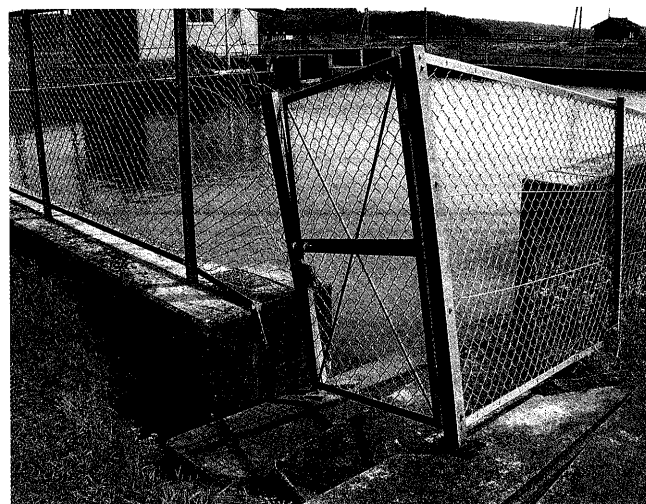
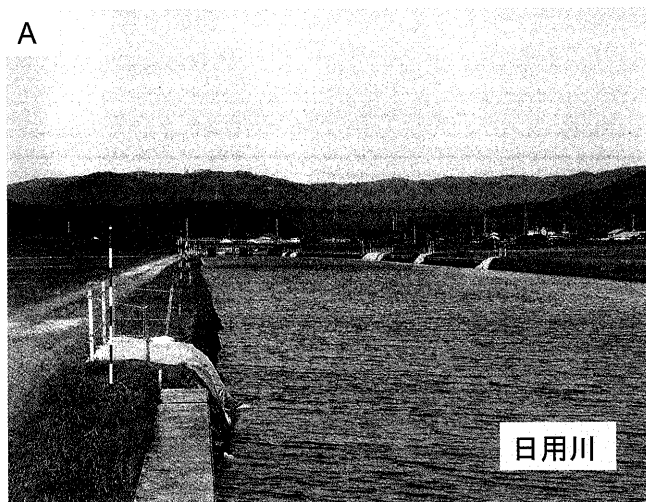
水田にし、約20年前の圃場整備事業で耕地整理を行い用水の循環システムを設置したところである。用水循環システムの源である貯水池は、海から600m内陸に位置し、日用川の右岸にある。日用川の水質測定点をN1～3、水田の水質測定地点をT1～3、そして、用水路の水質測定点をY5～7で示している（第1図）。日用川の右岸および左岸の十数ヶ所の石垣部分で亀裂や湾曲が起り、水色のシートで覆われている。石垣部分が河川側にせり出しているが、コンクリートの部分は一見すると異常がないように見える（第2図A）。日用川沿いの貯水池は深さ2-3mで、水は赤褐色に濁り、フナや亀が死んでいた（第2図B）。その貯水池の南側角の金網のフェンスは根元のコンクリートの陥没により傾き破損している（第3図）。この陥没部分は水田を循環してきた水が貯水池に集められる場所であり、ここに接する大型のU字溝は5cmほど海側にずれを生じている。今回塩害を被った水田は4月中旬に水を入れ、5月6日に田植えをしたが、6月7日現在約20cmに成長した稲の葉先が枯れ（第4図A）、または、完全に茶色になって立ち枯れしている（第4図B）。その完全に立ち枯れた水田の水や湧き水も採取して水質測定を行った（第5図）。第6図は6月7日に調査した水田とその20日後の様子を示した。この間の雨水による掛け流しの効果が上がり、少しは稲が緑色に復活したが、生育状態はよくない。なお、第6図Bの右下に注水栓を示したが、ここから塩水化が生じたことを示している。6月7日の水質調査の後、地元の農家数軒が集まり、結果の報告を求めたので現地説明会を開いた（第7図）。当日は、行政側も十数名で調査を行っていたが、地元農家に説明をする機会を持たなかったし、我々の調査結果の説明も求められなかった。

七尾市中島町奥吉田の貯水池およびその周辺の調査地点の概略図を第8図に示した。水質測定およびラドン測定（R）を行った日用川（N）、水田の用水路（Y）、貯水池（C）、水田（T）および貯水池の敷地内に掘削した試掘溝（S）の位置を示している。なお、試掘溝（深さ135cmと190cm）の上部は砂層であり、下部は泥層である。貯水池周辺のラドン測定値を第9図に示した。大気中のラドン値は40～50cpmと低い。貯水池や日用川周辺の亀裂や陥没部分はいずれも90～140cpmと2～3倍高い値を示した。なお、土壌や水田は70～80cpmを示している。すなわち、これらの値は今回の地震による陥没や亀裂の部分でラドン値が高いので、地下深部の変化を示唆している。また、貯水池および周辺の水質測定結果のうち、pH値を第10図にプロットした。日用川は海水なので勿論pH8を示したが、地震による亀裂や陥没が生じた場所やラドン値が高い場所もpH8を示した。特に、貯水池の金網が破損している所はpH8.14を示し、試掘溝もpH7.85～7.94と高い値を示したことからラドン値とpH値には相関関係がある。また、pH値が高いところではEC値も高く、両者に相関関係が認められる（第1表）。さらに、採集した水のXRF分析結果からEC値と塩素Clの含有量に



第1図 七尾市中島町奥吉田の調査地点図

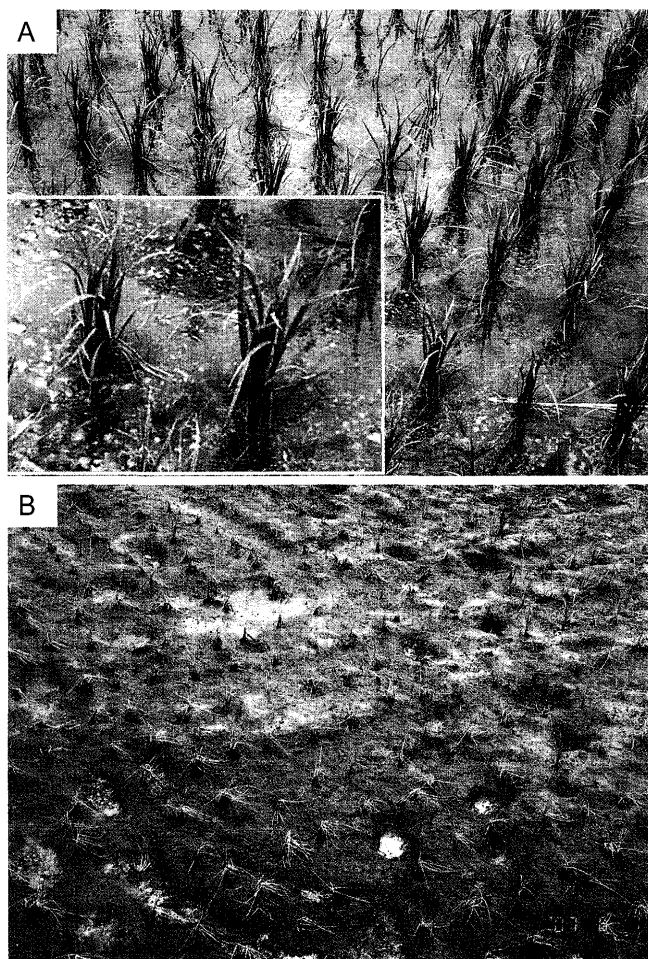
Fig.1 Location map and sampling points at Oku-Yoshida, Nakajima-machi, Nanao City, Ishikawa Prefecture, Japan.



第3図 用水路から貯水池への水の取入れ口での陥没 (R7 地点)
Fig.3 The subsidence at the intake of the reservoir (Sample R7)

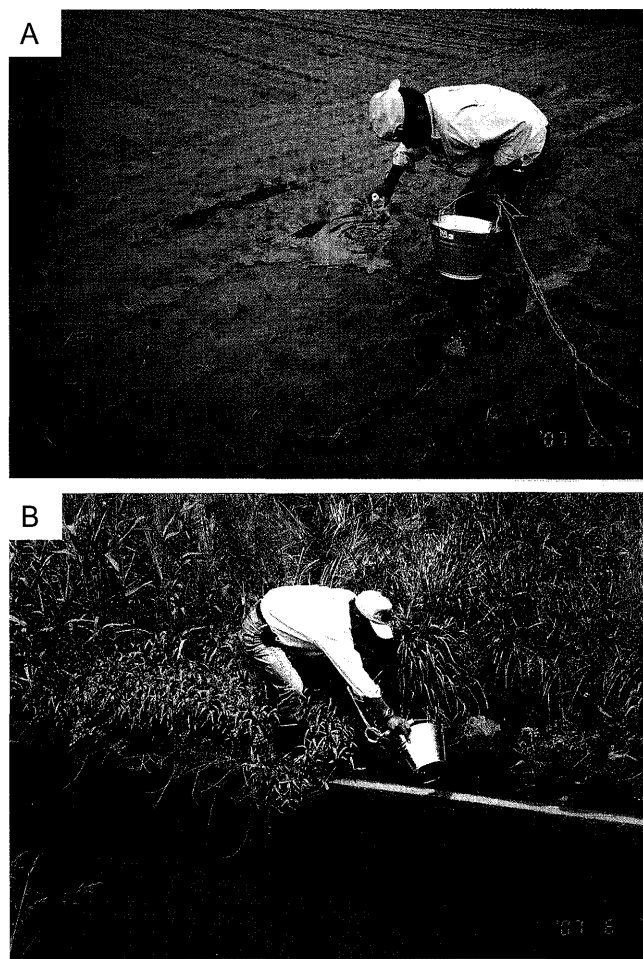
第2図 能登半島地震による日用川土手の被害と貯水池

Fig.2 Cracked banks of the Hiyou River damaged by the Noto Hanto Earthquake in 2007 (A), and the reservoir for irrigation (B).



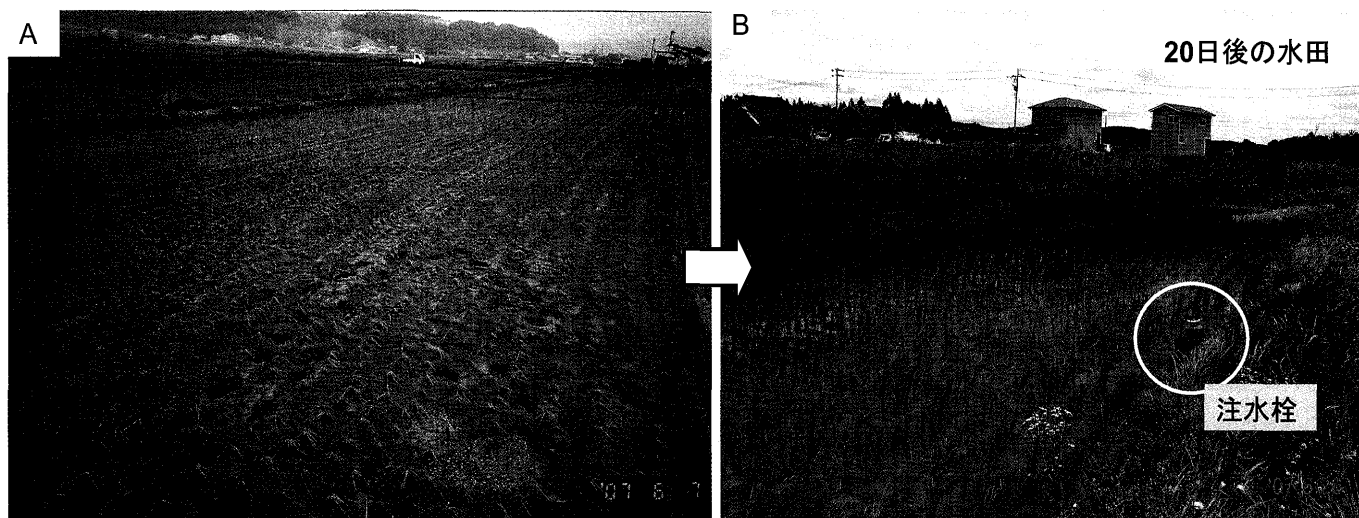
第4図 葉先が少し枯れた苗 (A, 試料 T1) と枯れた苗 (B, 試料 T2)

Fig.4 Withered blades of young plants at rice field (A, sample T1), and the died young plants (B, sample T2).



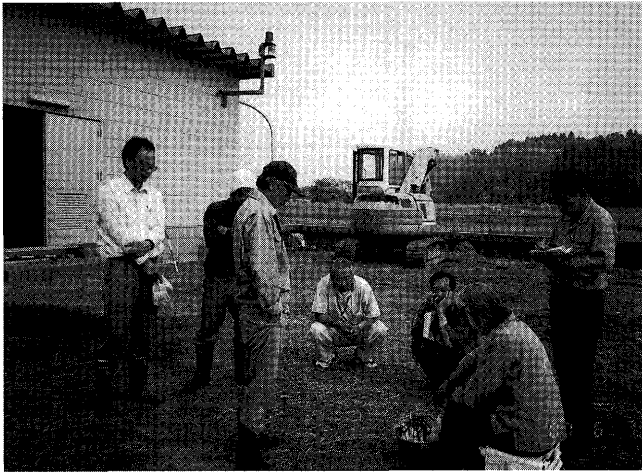
第5図 採水. A: 被害水田 (試料 T2), B: 湧き水 (試料 Y3)

Fig.5 Sampling water at sea salt-damaged rice field (A, sample T2), and spring-water (B, sample Y3).



第6図 被害水田 (試料 T3) の様子

Fig.6 The sea salt-damaged rice field on the 7th June 2007 (A, sample T2) and the little recovered field from sea salt-damage after 20 days (B, sample T2), indicating tap system (circle in B).



第7図 住民への調査報告

Fig.7 A field report for the farmers.

は正の相関が認められる(第1, 2表)。従って、現地で得られたEC値は塩素の含有量を示しているの、塩害の有無が現地でただちに判断できることを示している。現地におけるDO, Ehおよび水温については大きな差異は認められない。土壌および稲苗のFT法で行ったスペクトルの強度差による定量分析結果を第3表に示す。塩害をおこしている水田(T2~3)のECは14~29mS/cmであり、Cl濃度も1.38wt%と際立って高い値を示している(第2, 3表)。さらに、塩害を起こした稲にはClのみならず、K, Ca, Mn, Fe, Br, Srの元素が多く含まれているほか、重金属(Cu, Zn, As)も0.001から0.004wt%含まれている。塩害を起こした土壌は、土壌の主成分であるSiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃に加え、海水の成分であるNa₂O, MgO, SO₃, Cl, K₂O, CaOが多いことが特徴である。これらの元素の値からも海水が水田に侵入したことを示唆している。一方、稲の化学成分についても、稲独自の成分であるSi(2.1wt%)の他に、海水由来のClが1.3wt%入っているのを確認した。なお、Feが5.2~5.4wt%と高濃度に認められたのは、塩害を受けた根は、土壌中の鉄が根の表面に付着して沈積するため、根ぐされに似た養分吸収阻害の結果を示している(千葉県1990)。

考 察

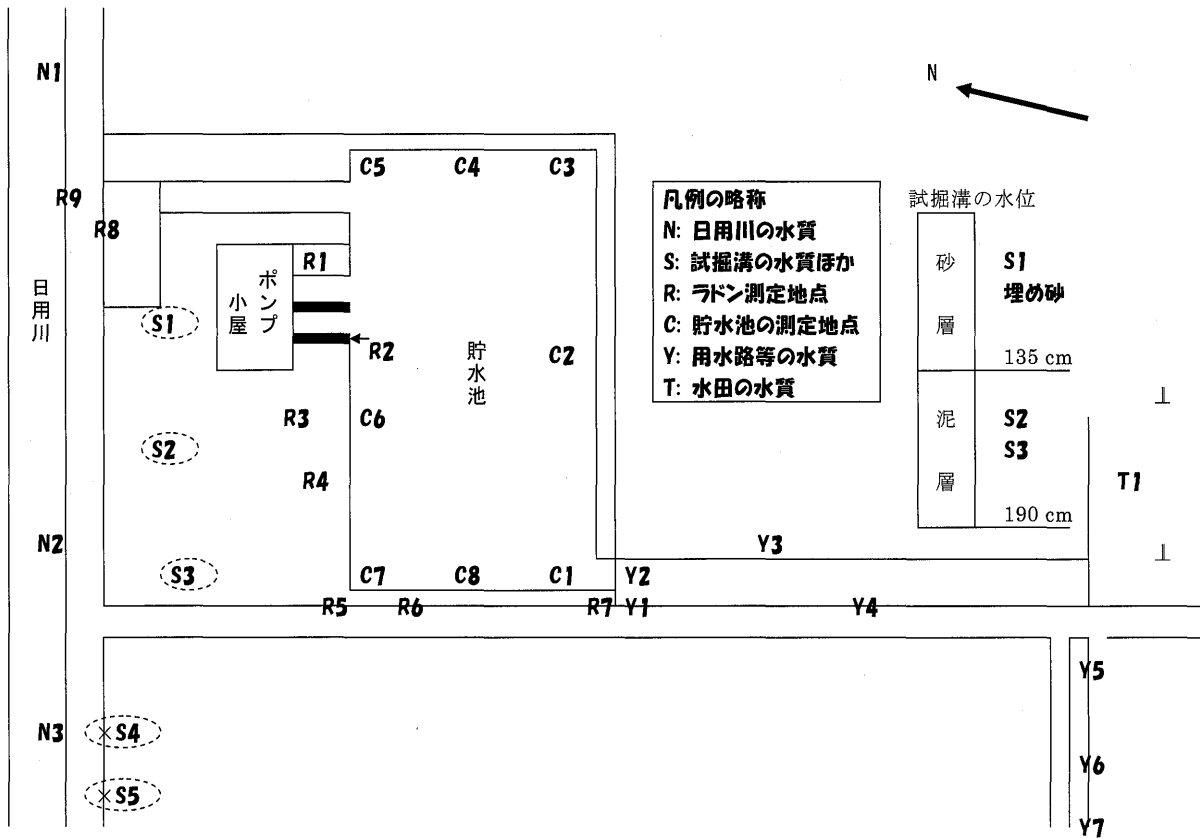
河川水と異なり、地下水がどのように流れているのかをイメージするのはなかなか難しい。自然状態では、帯水層中の土粒子の微細な間隙をぬって流れる層流水の流速はせいぜい1日数cmから数百m程度であり、河川水が1日数kmから数十kmも流れるのとは比べものにならないほど遅い。とくに被圧地下水の流動速度は遅く、道水勾配が小さいところでは、自然状態のままでは動かないといってよいくらいである(真柄1997)。しかし、今回の地震により、輪島市の井戸ではSO₄²⁻による飲料水の酸性化が起こり、門前の温泉ではアルカリ性化が、さらに、七尾市では水田のアルカリ性化が起

こった。これらは地下の地質構造、地層をつくる物質の差異と水道の変化を示唆している。今回七尾市中島町では地下水または貯水池の塩水化が起こったが、通常は海岸地帯では海水が淡水地下水の下方に侵入しており、自然状態では互いに動的平衡を保っている。実際に、七尾西湾に河口を持つ日用川では表層水がpH7.9であるのに対して底の部分の塩水層はpH8.2と高くなっている。一般に、潮位差の小さい日本海側の河川では塩水の侵入は弱混合型であり、塩水くさび型として流入することが知られており、新潟県の阿賀野川、島根県の大橋川がその代表例である(藤井ほか2006;立石ほか2006;Tsuzuki2006)。大橋川の水深1.5m付近に形成される塩分躍層の震動によりECは30mS/cm以上(塩分16psu以上)の塩水が河川を遡上し、それと同時にDO3mg/l程度の貧酸素水になる。

平野の河川には塩水くさびがあり、施設の損壊などによって表層水を採水する施設の中に海水が侵入したことは大きな問題である。このような現象が起こると言うことは、他の平野部の施設においても想定していなかったことであり、農業用水や飲料水の採水にとって、地震後の対応として重要な課題である。全国の塩水くさびの研究例を下記に示すが、平野部の地震災害の面でも新たな問題点を提示している。例えば、阿賀野川では1965年に新潟水俣病が発生したが、その原因として前年の新潟地震で信濃川河口部の農薬倉庫が被害を受け、そこから農薬が海に流出したと言われている。その農薬は塩水の遡上とともに阿賀野川にもたらされ、下流域に被害をおよぼしたとする<塩水くさび>説が主張された。そして、現在も塩水くさびについての調査が行われている(立石ほか2006)。それによると塩水は河口から6km以上遡上して、河川流量、干満によって変化すること、塩水と上位の淡水の境界はかなり明瞭であり、弱混合の状態にある。阿賀野川の潮位変動量は大潮時で46cm、小潮時で10cm、感潮区間は河口から16km、最大塩水遡上距離は14kmである(建設省土木研究所1993)。

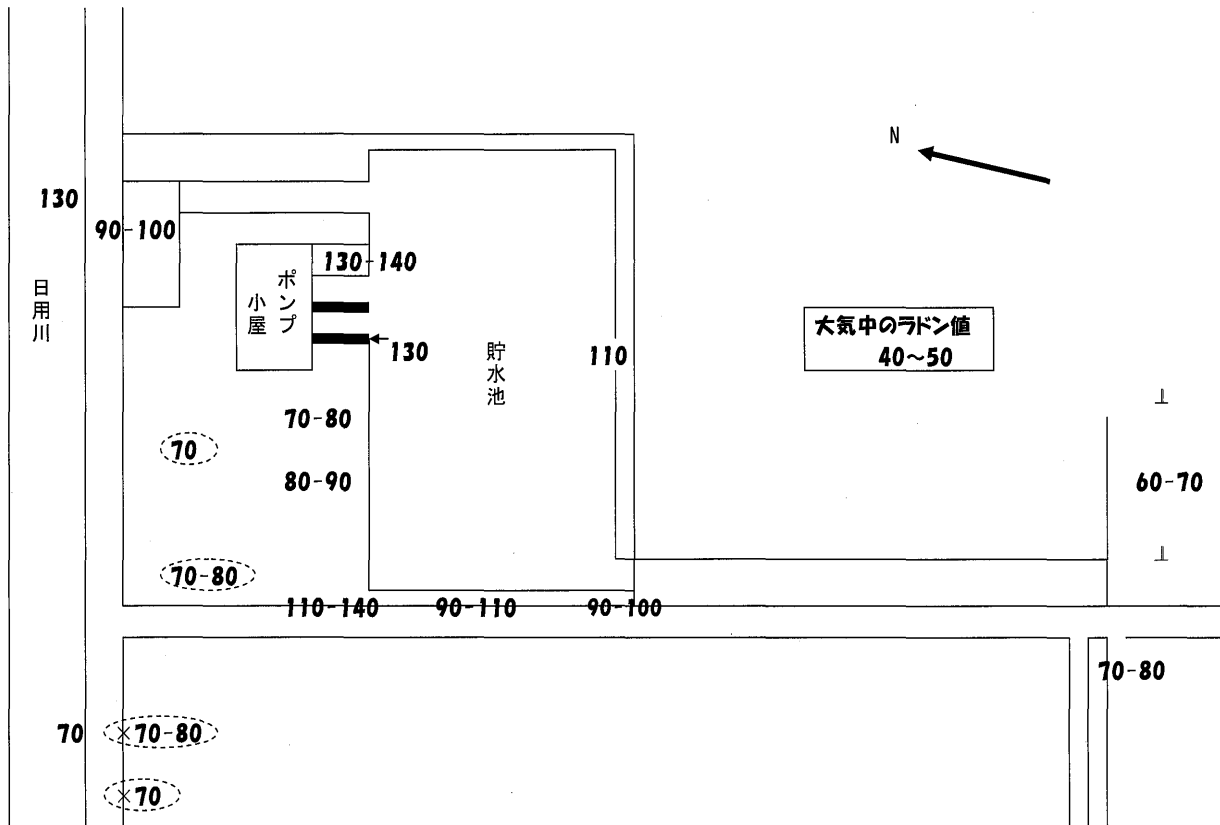
一方、太平洋側でも河川の塩分濃度と流速プロファイルのモニタリングが行われている(Tsuzuki2006)。四万十川の塩水遡上について大潮時に塩水くさび音響プロファイリング装置SC-3と水質計を用いて調査した結果、塩水遡上は通常は河口から5.6kmの井沢の淵までであることを明らかにした(井内ほか2006)。彼らは海水が上げ潮時に下流側から河床に供給され、淡塩境界を押し上げて行き、次第に境界が明瞭になって行く過程を明らかにした。そして、四万十川河口域では昭和49年当時に海水の浸透による農業被害を巡って裁判で争われ、中筋川<塩害訴訟>事件として知られている。

本研究地域である日用川は七尾西湾から海水が遡上するが、河口からわずか600~700mの間で、今回の地震により石積みの数十ヶ所に間隙が生じた(第2図)。コンクリートの見えている部分には亀裂は認められていない。石積みの部分は、海水が陸地側へ侵入するのを防ぐだけの圧力、すなわ



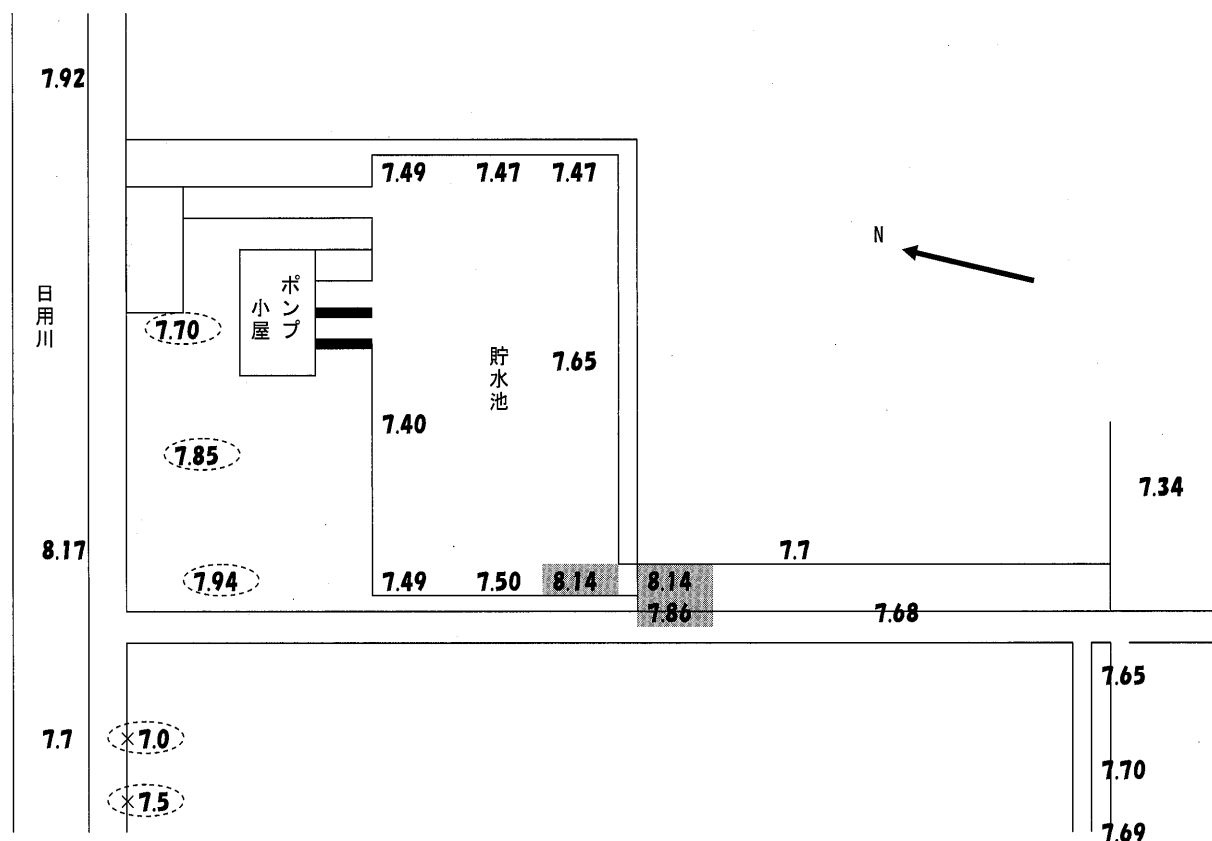
第8図 貯水池および周辺の調査地点概略図

Fig.8 Sampling points and measurement areas around the reservoir.



第9図 貯水池周辺のラドン値 (単位: cpm)

Fig.9 The measurements of $\alpha\beta$ -ray (R_n) counting rate (cpm) using hand-borne around the reservoir.



第10図 貯水池および周辺の水質 pH

Fig.10 The measurements of characteristics pH of the water around the reservoir.

ち淡水の海洋側への圧力が不足したため、普段の平衡が破れ、海水が内陸へ侵入し、地下水の塩水化が起こったと考えられる。2007年3月25日の地震から、ほぼ2ヶ月後に塩害が確認されたが、地震当時、水田には水も入っておらず、稲も植わっていなかったため発見が遅れた。なお、塩水化は現在の海水によるものばかりではなく、化石塩水によっても引き起こされる場合もある(真柄 1997)。七尾市中島町奥吉田の場合、河口まで数100mしかなく、かつ、貯水池内の敷地の掘削を行ったところ、最深190cmでpH8.2(試料S3)の海水がしみ出していることから現在の海水による塩水化が生じたと考えられる。

下記に地震後の地下水の変動、特に塩水化による塩害調査およびその手がかりについて考察し、その対策について述べる。

水質測定からの手がかり

現地における水質測定値とラドン濃度との同時測定により、両者に相関関係があることが明らかになった。大気中のラドン濃度が40~50cpmであるのに対して、地上の建造物の破損箇所や亀裂、陥没の生じている場所はラドン濃度が2~3倍高く、80~140cpmを示した。また、ラドン濃度が高い場所のpHとECが相関して高い傾向が認められた。すなわち、地震の影響が認められる場所のpHは海水の8に近い値

を示し、かつ、ECが6~11mS/cmと高い値を示した。特に、塩害を起こしている水田のECはさらに2倍以上も高く、28.9mS/cmとほぼ日用川の海水(27.3~41.8mS/cm)と同じ値を示した。EC値が高くなる原因として、Cl含有量は勿論、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} の影響もある。また、pH、ECがともに高い値を示す箇所のXRF分析による塩素濃度の高さと合致した。すなわち、地表で何らかの地震の影響が認められる箇所は、地下でも何らかの変動が生じており、ラドン値が高くなるとともに、そこから海水が浸入していることを示唆している。従って、ラドン濃度-pH-EC-塩素濃度が一致して高い値を示している。分析機器の価格や分析時間を考慮すると、現地での塩害調査の折、塩分の直接測定よりもECによる間接測定の方が簡易であり、感度も高く、実用的であることが明らかになった。緊急に塩害対策を行う場合は、ラドン調査と同時に、地表面の変化に従って灌漑水中のECを測定し、塩分濃度の高い場所を迅速に発見する必要がある。この方法は塩水の侵入箇所の特定に有力な手がかりとなる。

XRF分析からの手がかり

今回の試料のすべてから塩素が検出され、日用川の表層水(試料N1)には1wt%も含まれていた。標準試料として昭島市工業用水を分析したが塩素は検出されなかった。海水には、塩分(Na, Cl)の他に一般にBrやSrが含まれている。そこ

No.	試料地点	pH	DO (mg/l)	Eh (mV)	EC (mS/cm)	WT (°C)	ラドン値 (cpm)	備 考
	日用川の水質	6/9, 6/7	6/9	6/9	6/7, 6/9	6/7	6/7	
N1	日用川の下, 表層水	7.88, 7.92	8.03	545	27.3	25°C		
N2	日用川の中, 底水	8.17			41.8	24°C		15:30 測定, 深さ 70cm
N3	日用川の上, 表層水	7.7			3.1	25°C	70	やや塩辛い, 淡黄色で透明
	試掘溝の水質他							
S1	敷地内, 水門角	7.70			6.6	27°C		深さ 135cm, 砂層, 黄茶色濁水
S2	敷地内	7.85			6.2	24°C	70	深さ 190cm, 泥層
S3	敷地内	8.16, 7.94	7.70	529	11.0	24°C	70~80	深さ 190cm, 泥層, 濁水
S4	農道南側	7.0			3.1	25°C	70~80	淡黄色に濁る
S5	農道南側	7.5			1.0	26°C	70	
	ラドンのみ測定							大気 40-50
R1	敷地内の試掘溝						130~140	深さ約 200cm
R2	敷地内のコンクリート亀裂						130	
R3	敷地内の試掘溝						70~80	
R4	敷地内の試掘溝						80~90	
R5	貯水池角のコンクリート亀裂						110~140	
R6	貯水池壁横の穴						90~110	
R7	貯水池南角の陥没穴						90~100	
R8	水門コンクリート枠亀裂						90~100	
R9	日用川土手の小陥没						130	
	貯水池内の水質							
C1	底水, 底は泥	7.75, 8.14	7.45	514	1.4	24.5°C		深さ 70cm, 全体が黄土色に濁る
C2	底水, 底は泥	7.65			1.5	24°C		
C3	底水, 底は泥	7.47			1.6	24°C		深さ 86cm
C4	底水, 底は泥	7.47			1.6	24°C		深さ 80cm
C5	底水, 底は泥	7.63, 7.49	6.87	535	1.78	23.5°C		深さ 97cm+泥約 10cm
C6	底水, 底は泥	7.40			1.7	24°C		深さ 103cm
C7	底水, 底は泥	7.49			1.4	25°C		深さ 67cm
C8	底水, 底は泥	7.50			1.4	25°C		
	用水路などの水質							
Y1	貯水池入口水路西側, 底水	7.5-7.7			1.4	22°C		
	貯水池入口水路西側, 底水	7.86			1.3	25°C		深さ 80cm
Y2	貯水池入口水路東側, 表層	7.87, 7.9	8.13	509	1.5	22°C		黄色く濁る
	貯水池入口水路東側, 底水	8.14			1.3	25°C		深さ 77cm
Y3	用水路東側上, 湧水	7.7			1.3	24°C		コンクリート片を埋めた荒地
Y4	水路中間点, 底水	7.68			1.1	25.5°C		深さ 70cm
Y5	水路曲り角, 表層	8.04, 7.5	8.12	519	1.4	24°C	70~80	黄土色の濁り水
	水路曲り角, 底水	7.65			1.0	26°C		深さ 70cm
Y6	農道と農道の交差点	7.70			0.6	27°C		深さ 60cm
Y7	鉄道線路近く	7.69			0.7	27°C		深さ 50cm
	水田の水質							
T1	苗の葉先黄色の水田	7.83, 7.34	8.20	534	2.4	32°C	60~70	
T2	苗枯れの水田 1	5.96			14.2	26°C		田植え時期が遅れ, 水不足
T3	苗枯れの水田 2	6.18			28.9	24°C		一番被害の大きい田

第 1 表 水質およびラドンの測定値

Table 1 The measurements of characteristics of water and β -ray (Rn) counting rate (cpm) using hand-borne around the reservoir.

No.	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Br	Sr	H ₂ O	Cu	Zn	As	CHO	加速電圧
N1	0.9520	0.0134	0.0270	0.0004	0.0090	0.0024	0.0002	98.9955					
S3	0.2618	0.0167	0.0098	0.0004	0.0155	0.0009	0.0001	99.6948					
C1	nd	nd	0.0073	0.0006	0.0119	0.0001		99.9802					
C5	0.0257	nd	0.0058	0.0006	0.0106	0.0001		99.9571					
Y2	nd	0.0036	0.0043	0.0009	0.0169	0.0001		99.9741					
Y5	nd	nd	0.0044	0.0004	0.0086	0.0001		99.9866					
T1	0.0212	nd	0.0069	0.0003	0.0073	0.0002		99.9641					
T3 の 稲	1.3283	0.1632	0.7683	0.1267	5.2205	0.0047	0.0046		0.001	0.0042	0.0028	87.9495	30kV
	1.3856	0.1279	0.7616	0.1385	5.4413	0.0055	0.0047		0.0011	0.0043	0.0030	87.8858	50kV
	1.3835	0.1277	0.7603	0.1382	5.4318	0.0055	0.0047		0.0011	0.0042	0.0030	87.9806	50kV

nd: not detected

第2表 水と枯れた稲苗のXRF分析結果 (wt%)

Table 2 XRF analysis of chemical compositions of waters and died young plants (wt%).

でBrとSrに着目してXRF分析を行った所、0.0001～0.0024wt%のBrやSrが検出された。すなわち、海水由来の塩害であれば、Cl含有量の増減に伴ってBrやSrも変化するであろう。しかし、標準試料や水田に散布されている肥料や農薬等にBrやSrが含まれていないことが条件となる。

塩害で立ち枯れした土壌と稲からはClが2wt% 検出されたほか、少量ながらCu, Zn, As, Pbなどの重金属が認められた。農業用地の土壌汚染防止法等に関する法律第3条第1項に基づく対策地域指定要件によれば、米についてはCdのみに基準があり、1mg/kg以上となる恐れがある地域とされている。そこで、土壌および稲の中のCdの存在の有無を調べるため、20,000秒測定したが、両者ともCdのスペクトルは確認できなかった。従って、Cdは2または1ppm未満の検出限界以下の濃度と考えられる。また、Hgのスペクトルも確認できなかったので数ppm未満の検出限界以下の濃度と考えられる。さらに、特定有害物質のうちCu, As, Znは農用地(田に限る)の土壌中にそれぞれ125mg/kg, 15mg/kg, 120mg/kg以上が指定要件となっている。

一方、産業技術総合研究所地質調査総合センター(2004)が行った河川堆積物の地球化学図によれば、七尾市の沿岸にはFe₂O₃(9.80-10.8%)、P₂O₅(0.317-0.788%)、TiO₂(1.82-3.19%)、Pb(100-150ppm)が濃集している。本研究における七尾市中島町奥吉田の土壌成分についても、これらの酸化物やイオン含有量が高い傾向が認められた。しかし、多量のFeの含有量の起源については、海水にはこのオーダーでは含有されていないので除外される。日用川(N1)でFe 0.0090wt%に対して貯水池内の水のFeが0.0106～0.0169wt%と1.5倍ほど多くなっているので貯水池の地下から鉄分の多い地下水が湧出している可能性も否定できない。

塩害の土壌と水稻

本調査研究結果より、塩分濃度が高い水が圃場に流入した

ことにより、作物に塩害を起こしたことが明らかになった。高濃度の塩水が水田に流入すると、短時間のうちに全葉が枯死する。塩害を受けた根は、土壌中の鉄が根の表面に付着して沈積するため、褐色に変色し、根ぐされをおこすことが知られている。塩水が流入した水田の土壌は、塩基置換反応を起こし、塩分中のナトリウムを吸着して、塩基類、二価鉄などを放出する。このため二価鉄は活性化され、水稻は二価鉄によって根ぐされに似た養分吸収阻害を起こす。この時、被害発現濃度は水稻の生育時期および環境条件によって異なるが、土壌中の塩素濃度として、活着期0.05～0.07%、分けつ期0.07～0.1%、出穂期以降0.07～0.1%位と考えられている。通常の場合、塩素濃度が0.05%以下の水を使用していれば、被害が発生する可能性は低い(千葉県1990)。本研究による塩害を受けた水田土壌中のClが2wt%と高く、また、枯死した稲のClが1.4wt%であったので、この分析結果は、まさにこの事例に相当する。

対策と今後の課題

七尾市中島町奥吉田の豊川水利組合は、2007年5月30日午前9時10分に塩水の侵入を確認した。その時の塩分濃度は0.47%であった。それから6月8日まで塩水の侵入箇所を調査したが異常箇所が認められなかった。その後、貯水池の用水を日用川へ排水し、6月8日から9日にかけて降った大雨を利用した水田の掛け流しを行ったところ、当初0.48%であった塩分濃度が6月9日には0.34%に、6月11日には0.23%に減少した。これらの作業を行いながら七尾市農林課や北陸農政局へ状況報告や対策の陳情を行って来た。その結果、石川県農林水産部は、給水地と日用川をつなぐ排水路に亀裂が発生したため海水が侵入したとし、排水路の復旧工事を年内に完了する予定であると回答している。

本調査研究結果により、水田への海水の流入は地震による地下の亀裂や陥没が原因であることが明らかになった。塩分

加速電圧	土壌		加速電圧	稲		
	30kV	50kV		30kV	50kV	50kV
化学式	wt%	wt%	元素	wt%	wt%	wt%
Na ₂ O	2.6682	2.5800	Na	0.6706	0.6434	0.5658
MgO	1.7459	1.6774	Mg	0.2876	0.2775	0.2792
Al ₂ O ₃	15.0514	14.3166	Al	0.1942	0.187	0.1865
SiO ₂	64.9585	64.9107	Si	2.1559	2.1072	2.1041
P ₂ O ₅		0.4089	P	0.3758	0.3095	0.3090
SO ₃	0.2542	0.4757	S	0.7231	0.6975	0.6965
Cl	1.9848	2.0348	Cl	1.3283	1.3856	1.3835
K ₂ O	2.4891	2.0973	K	0.1632	0.1279	0.1277
CaO	2.0201	2.0845	Ca	0.7683	0.7616	0.7603
TiO ₂	1.006	1.0466	Ti	0.019	0.0184	0.0184
MnO	0.1123	0.1423	Mn	0.1267	0.1385	0.1382
Fe ₂ O ₃	7.6052	8.1025	Fe	5.2205	5.4413	5.4318
			Cu	0.001	0.0011	0.0011
ZnO	0.0132	0.0168	Zn	0.0042	0.0043	0.0042
As ₂ O ₃		0.0052	As	0.0028	0.003	0.0030
Br	0.0094	0.0088	Br	0.0047	0.0055	0.0055
Rb ₂ O	0.0083	0.0097				
SrO	0.0388	0.0382	Sr	0.0046	0.0047	0.0047
ZrO ₂	0.0346	0.041				
Y ₂ O ₃		0.003				
Cd		nd	Cd		nd	
Pb		あり	Pb		nd	
			Hg		nd	
			CHO	87.9495	87.8858	87.9806

nd: not detected

第3表 土壌および稲苗のFT法で行ったスペクトルの強度差による定量結果

Table 3 XRF quantitative analysis using the FT method on the soils and died young plants.

(Cl) は、土壌粒子に吸着されず、ほとんど全量が土壌中に溶解してイオンとなっているので、土壌から塩分を除去するには、土壌の水洗によって比較的容易に達成できる。水洗の方法には<掛け流し法>と<除塩溝法>があるが、いずれも塩害圃場に真水を入れ、田面水を排水するとともに塩分を除去する方法である(千葉県1990)。しかし、本研究地のように水田に苗があるまま塩分除去を行うので、耕耘して土壌と真水を混合することができず、根の深い部分の塩分除去は難しい。梅雨時の雨水を最大限に利用して、畝の間の溝から掛

け流す方法がよいと考える。

また、降雨時に水田の塩抜きをするとともに、塩水が浸透する亀裂や陥没場所の修復工事が先決である。ラドン値が高い値を示す亀裂や陥没場所、石積みが乱れている場所を修復し、海水の侵入を防ぐことが必要である。さらに、地震後3週間以内に被害届けを県に提出する期限が過ぎていて保証対象にならないこのような場合でも、被災時にさかのぼって補助・支援が適用されるように、支援制度の改正も早急に解決すべき問題である。

まとめ

能登半島地震の約2ヶ月後の6月初旬に石川県七尾市中島町奥吉田の水田に塩害が発生した。貯水池周辺のラドン測定、現地における水質測定 (pH, Eh, EC, DO, 水温), 蛍光X線分析による水, 土壌, 稲の化学分析を行った。その結果, 大気中のラドン濃度が40-50cpmであるのに対して, 地震による地盤の亀裂や陥没箇所は2-3倍高い値を示した。また, 貯水池, 河川, 田んぼの水のpHは海水とほぼ同じpH8を示し塩分濃度が高い。これらの水の電気伝導度(EC)はこれに相関して高く, 特に塩害被害の大きい水田は海水とほぼ同じ値を示した。枯死した稲にはNa, Si, Cl, Fe濃度が高く含まれており, 典型的な塩害による養分吸収阻害を起こしていた。本論文は, 地震によって(1)給排水施設が損壊して塩水くさびの塩水が侵入した,(2)河川護岸や地盤の亀裂によって貯水池に塩水が侵入した,(3)地震によって水路の基底や地盤に亀裂が生じ,水路に沿った空隙から塩水が侵入したことが考えられる。これらの要因によって,貯水池に塩水が侵入し,稲作に塩害の被害が出た。すなわち,今回の塩害は地震による被害である。

謝辞 日本電子(株)分析器本部応用研究グループの小野寺浩氏と雨宮将美氏にはXRF分析の技術的な面でお世話になった。また,バンドン工科大学のDr. Siti Khodijah ChaerunにはAbstractについてご助言をいただいた。さらに,2名の査読者には本論文に対する有益なご助言と今後の被災地における復興対策についてもご指導をいただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げる。

文献

- 千葉県(1990)農林公害ハンドブック(改訂版). 90-120.
 藤井智康・森脇晋平・奥田節夫(2006)橋川を溯上する貧酸素水塊の実状と宍道湖に及ぼす影響. LAGUNA, 13: 1-7.
 井上勝也・高井 雄(1996)水の中の有害元素. 研成社, 東京, 171p.
 井内美郎・井上卓彦・中原知明・徳岡隆夫・吹田 歩(2006)四万十川の塩水溯上. LAGUNA, 13: 63-77.
 建設省土木研究所(1993)感潮河川の塩水作条実態と混合特性. 土木研究所資料, 82p.
 真柄泰基(1997)水道の水質調査法: 水源から給水栓まで. 水道水質問題研究会, 技報堂出版, 東京, 351p.
 ラドン族調査研究委員会(1995)大気中のラドン族と環境放射能 III. 岡部茂他編集, 社団法人日本原子力学会発行, 234p.
 新潟県越路・大地の会(2007)語りつぐ10.23-ふるさとの大地と中越地震-. 299p.
 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2004)日本の地球化学図. 茨城県, 209p.
 立石雅昭・本多 結・徳岡隆夫・吹田 歩・松田滋夫・安間 恵・西村清和(2006)阿賀野川の塩水溯上. LAGUNA, 13: 43-62.
 田崎和江・馬場奈緒子・佐藤和也・奥野正幸・福士圭介(2007)能登半島地震被害地の生活水(井戸水, 湧き水, 山水)の調査結果: 地震災害時の迅速な指導と指示. 地球科学, 61: 281-292.
 辻本 忠・山崎敬三・三枝 純・下 道國・八木信行(1995)山間部におけるラドン濃度と空間 γ 線線量率の関係(序報). 大気中のラドン族と環境放射能 III, 社団法人日本原子力学会発行, 65-68.
 Tsuzuki Y(2006) Preliminary research on salinity and flow rate profiles of a river with an estuarine by the analysis of water quality monitoring data. LAGUNA, 13: 79-88.

田崎和江・野村正純・馬場奈緒子. 2007. 能登半島地震による水田の塩害被害. 地球科学, 61, 389-400.

TAZAKI Kazue, NOMURA Masazumi and BABA Naoko. 2007. Sea salt-damaged rice fields after the Noto Hanto Earthquake in 2007. Earth Science (Chikyu Kagaku), 61, 389-400.

要 旨

2007年3月25日9時41分にマグニチュード6.9の地震が石川県能登半島を襲った。その地震のため1～2週間電気や水道が止まった。住民は近所の井戸、湧き水、山水を注意深く使用した。なぜならば、地震後のそれらの水は、泥などで色が変わり、pHも硫酸イオンのために中性から酸性に変化し飲料不可になった井戸水があったからである。一方、地震から2ヶ月後の6月初旬、石川県七尾市中島町において、亀裂や陥没等々の地下構造の変化のため、海水が水田に浸透し稲が枯れる塩害が発生した。塩害が発生した水田を始め、周辺の用水路、貯水池の水を現地で測定したところ、pH8を示し電気伝導度(EC)も高い値を示した。また、塩害を起こした水田の土壌と稲を蛍光X線分析により定量分析をおこなったところ高濃度の塩素のほか典型的な塩害現象を示すNa, S, Feが高濃度に検出された。