

熊本地震により被災した阿蘇谷の水田における 酸性硫酸塩土壌の分布状況とその特徴

山口典子¹⁾・井原啓貴・草場敬・山根剛²⁾・新美洋・古賀伸久・身次幸二郎³⁾・
富永純司³⁾⁴⁾・門田健太郎³⁾

(2018 年 4 月 5 日 受理)

要 旨

山口典子・井原啓貴・山根剛・新美洋・古賀伸久・草場敬・身次幸二郎・富永純司・門田健太郎：熊本地震により被災した阿蘇谷の水田における酸性硫酸塩土壌の分布状況とその特徴。九州沖縄農研研究資料 95：30-41, 2019.

平成 28 年熊本地震では阿蘇谷（阿蘇カルデラ内の阿蘇中央火口丘より北側の地域）においても農地に亀裂や段差が発生し、修復工事が計画された。しかし阿蘇谷の一部の土壌の下層には、黒泥状を呈し、空気に触れて酸化すると硫酸イオンを生成し、強酸性を示すパイライト（ FeS_2 ）に富む土層（以後、「酸性硫酸塩土壌」と呼ぶ）が分布することが報告されている（川崎, 1982）。そこで、修復工事が予定されている阿蘇市内の 2 工区について各 5 圃場で土壌を採取し、酸性硫酸塩土壌の判定のため、過酸化水素処理した土壌の $\text{pH}(\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2))$ を測定した。

工区 1 では $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ が 1.0 を下回る強い酸性を示す土層が存在し、作土付近にも出現したが、工区 2 では $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ が 3.0 程度の土層のみで比較的酸性は弱く、出現する深さも 80 cm 以深と作土付近での出現は確認できなかった。酸性硫酸塩土壌の土色は緑色を帯びた黒色が多く、酸性硫酸塩土壌と判定された土壌のほとんどで泥炭物質（ヨシなどの植物遺体）が確認された。また、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ が 2 を下回る土層では刺激臭（腐卵臭）が確認できた。現場においても、土色、泥炭物質の有無、臭いで酸性硫酸塩土壌を簡易的に判定できる可能性が示された。以上の結果については、農地の修復工事を担当する熊本県阿蘇地域振興局に報告した。また、酸性硫酸塩土壌の中和石灰量は、上記の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ 測定に用いた土壌抽出液中のイオウ（S）濃度（ H_2O_2 処理 S 濃度）から推定可能であった。 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ 0.87 ～ 2.56 の場合、中和石灰量は乾土重量に対して 5% ～ 30% となり、修復工事により酸性硫酸塩土壌が大量に土壌表面に露出する可能性は低いと考えられるものの、莫大な量となった。

キーワード：平成28年熊本地震, 阿蘇谷, 酸性硫酸塩土壌, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$, 中和石灰量

I. 緒 言

平成28年熊本地震では、熊本県内の広い範囲の農地で亀裂や段差が発生し（吉田ら, 2016）、甚大な農業被害が発生した（金森, 2017）。阿蘇谷（阿蘇カルデラ内の阿蘇中央火口丘より北側の地域）においても農地に亀裂や段差が発生し、修復工事が計画された。しかし阿蘇谷の一部の土壌の下層には、黒泥状を呈し、空気に触れて酸化すると硫酸イオンを生成し、強酸性を示すパイライト（ FeS_2 ）に富む土層（以後、「酸性硫酸塩土壌」と呼ぶ）が分布することが古くから知られている（川崎, 1982）。酸性硫酸塩土壌は世界的には主として熱帯・亜熱帯の低湿地に分布する（岡川, 1984）が、日本においては北海道から沖縄まで、低地だけではなく台地や丘陵地にも分布する（渡辺, 1997）。海水や火山・マグマ活動の影響により過去に生じた酸性硫酸塩土壌が大規模な工事により地表に掘り起こされ、各地で問題が生じている（渡辺, 1997）。阿蘇谷における修復工事では表土扱い（表土を一度持ち出し、修復後に表土を戻す工法）が予定されており、下層の酸性硫酸塩土壌が作土に混入し、工事後の作物栽培に悪影響を及ぼすおそれは低いものの、酸性硫酸塩土壌は還元状態での土壌pHは中性（渡辺, 1997）であり、一定期間空気にさらすか、あるいは酸化剤で土壌を強制的に酸化しないと強酸性を示さないため、通常のpH測定では酸性硫酸塩土壌の判定は困難であり、誤って判定する可能性が高い。そこで修復工事施工にあたっての参考とするため、修復工事実施予定圃場から土壌を採取して酸性硫酸塩土壌の判定を行い、酸性硫酸塩土壌の空間的分布、色および臭いなどの特徴を調査した。また、修復工事実施予定圃場近くの、地震により生じた段差を伴った亀裂において、土壌断面を観察し、酸性硫酸塩土壌の垂直分布について調査を行うとともに、酸性硫酸塩土壌の中和石灰量についても検討を行った。

農研機構農業環境変動研究センター土壌資源評価ユニットの小原洋博士には土壌分類についてご助言をいただいた。九州沖縄農業研究センター業務第1科の青木亮氏には現地での土壌採取および断面調査に、同センター土壌肥料グループの森田恵子氏、古川圭子氏、前田真由美氏、上野真央氏には土壌の調製および分析にご協力いただいた。感謝の意を表す

る。本調査は、農林水産省の平成28年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業の緊急対応研究課題として実施された。

II. 材料および方法

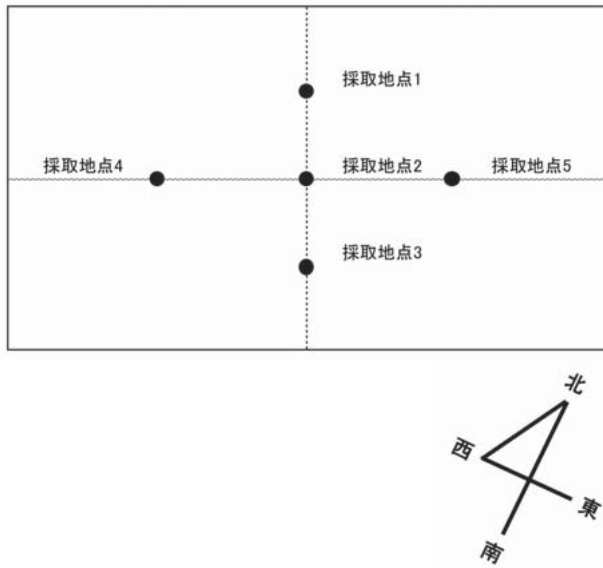
1. 調査地点の概要

阿蘇谷は阿蘇中央火口丘と北外輪山に囲まれた標高480～490 mの水田地帯である。調査地点は亀裂や段差の修復工事が予定されている阿蘇谷の2工区（以後、工区1、工区2）で、工区1と2は約5 km 離れ、ともにカルデラ内を流れる黒川沿いに位置する。5万分の1都道府県土地分類基本調査（熊本県, 1982；熊本県, 1992）の地形分類図では両区ともに扇状地および谷底平野に該当する低地である。

2. 土壌の採取方法と分析項目

熊本県阿蘇地域振興局から指定された2工区の各5圃場（工区1—A～E、工区2—A～E）で酸性硫酸塩土壌の圃場内分布を調査した。土壌採取は2016年9月15～16日に行った。各圃場内の採取地点は5地点とし、圃場の中心を採取地点2、圃場の中心と長辺との中間点を北西側から順に採取地点1、3、圃場の中心と短辺との中間点を南西側から順に採取地点4、5とした（第1図）。土壌は20 cm刻みで深さ1 mまでハンドオーガーで採取した。一部、地下水位が高く、土壌の採取が困難であった層位の土壌は採取しなかったため、採取した土壌は全246点となった。土壌は高水分であったため1週間風乾させた後、村上(1961)および土壌環境分析法(1997)に準じ、土壌2 gに30% H_2O_2 (pH 5.2) を20 ml 加え強制的に酸化させ、pH (H_2O_2) を測定した。また、pH(H_2O_2) の測定に用いた土壌抽出液に塩化バリウム溶液を滴下し、硫酸イオンの生成を確認した。土壌環境分析法(1997)に準じ、pH(H_2O_2) が3.0未満かつ硫酸イオンの生成が確認された土壌を酸性硫酸塩土壌とした。そして酸性硫酸塩土壌と判定された全ての土層および酸性硫酸塩土壌と判定されなかった一部の土層について、土色や泥炭物質混入の有無などを調査した。

さらに、上述のpH(H_2O_2) と、地表に移動した酸性硫酸塩土壌が酸化した状態を想定して3ヶ月間風乾後に測定したpH (H_2O) との間の関係を調べた。



第 1 図 調査圃場内の土壌採取地点

a) 圃場の北西側長辺の中央から南東側長辺の中央に引いた線上の圃場の中心を採取地点 2 とし、圃場の中心と縁との中間点を北西側から順に採取地点 1, 3 とした。また、圃場の南西側短辺の中央から北東側短辺の中央に引いた線上の圃場の中心と縁との中間点を南西側から順に採取地点 4, 5 とした。

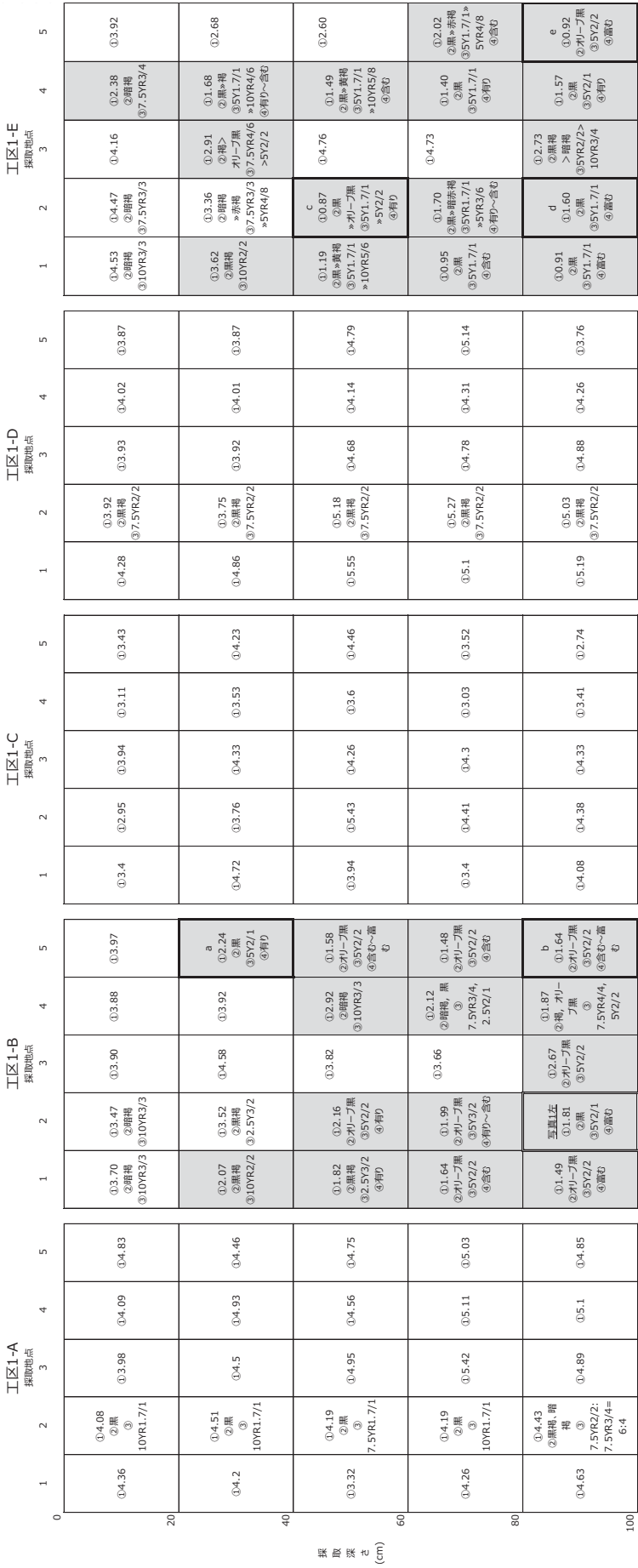
また地震により工区 1 - B 圃場から南に 40 m 離れた地点に生じた、深さ 1 m 程度の段差を伴った亀裂において土壌断面を観察した。工区 1 - B 圃場では酸性硫酸塩土壌が浅い層から出現したことから、B 圃場周辺の酸性硫酸塩土壌の詳細な観察の対象とした。調査は 2016 年 10 月 14 日に行った。段差の露出面の表面を削り整形後、土壌調査ハンドブック改訂版（日本ペドロロジー学会編，1997）に従い土壌層位を区分した。それぞれの層位について土色、斑紋、有機物、野外土性、土壌構造、コンシステンシー、ジピリジル反応、活性 Al を記載した。さらに、層位別に土壌試料を採取し、リン酸吸収係数、pH (H₂O)、pH (H₂O₂)、EC を土壌環境分析法（土壌環境分析法編集委員会，1997）に従い測定した。

さらに、2 工区で採取した土壌のうち、過酸化水素処理による方法で酸性硫酸塩土壌と判定された土壌から 6 土壌 (a ~ f) を選び、6 土壌の pH (H₂O₂) の測定に用いた土壌抽出液中のイオウ (S) 濃度（以後、H₂O₂ 処理 S 濃度）を ICP 発光分光分析装置 (ICPE-9820, 島津製作所) で定量した。過酸化水素処理後は土壌抽出液中のイオウは全て硫酸にまで酸化されていると仮定し、硫酸の中和に必要な Ca²⁺ を含む炭酸カルシウム量を「硫酸塩中和石灰量」とし、次の式で計算した。中和により CaSO₄ が生成すると仮定すると、1 モルのイオウ (S) の中和には 1 モルのカルシウム (Ca)、つまり 1 モルの炭酸カルシウム (CaCO₃) が必要となる。そこで、H₂O₂ 処理 S 濃度をイオウの原子量 32.07 で割ってモル数を求め、炭酸カルシウムの分子量 100.09 を乗じて硫酸塩中和石灰量を求めた。

硫酸塩中和石灰量 (mg/g 乾土) = H₂O₂ 処理 S 濃度 (mg/g 乾土) × 100.09 / 32.07

また、渡辺 (1992) に準じ、上記 6 土壌のうち 2 土壌 (c, d) に異なる量の炭酸カルシウムを混和し、保温静置実験後の土壌 pH (H₂O) から推定した最適な炭酸カルシウム量を「土壌中和石灰量」とした。

すなわち 100 ml の培養びん中で乾土 10 g 相当の風乾土と試薬の粉状の炭酸カルシウム (0, 1.0, 2.0, 5.0 g の 4 水準) を混和後、イオン交換水を最大容水量の 60% となるよう添加し、ポリエチレンフィルム 0.02 mm で培養びんの口を覆い、週に 1 回、減少分の水分を添加しながら 30℃ で 4 週間保温静置した。培養は 2 反復で行った。4 週間の保温静置後の pH (H₂O)、電気伝導率 (EC) および水溶性イオウ (S) 濃度を測定し、pH (H₂O) の酸性硫酸塩土壌の判定基準 (pH (H₂O) が 4 未満) との比較、異なる炭酸カルシウム添加量における EC および水溶性 S 濃度の比較、H₂O₂ 処理 S 濃度から計算で求めた硫酸塩中和石灰量と保温静置実験から推定した土壌中和石灰量との比較を行った。



Ⅰ区2-A						Ⅰ区2-B					Ⅰ区2-C					Ⅰ区2-D					Ⅰ区2-E					
採取地点						採取地点					採取地点					採取地点					採取地点					
0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
		①4.86 ②黒褐、赤 褐 ③7.5YR 2/2 ≧ 5YR 4/8	①5.25	①4.54	①4.75	①3.75	①3.62	①3.81	①4.10	①4.02	①3.95	①3.86 ②暗カーブ 褐 ③2.5Y3/3	①3.94	①4.33	①4.35		①3.18	①3.14	①4.21	①4.22	①2.97 ②暗褐 ③10YR3/3	①4.76	①4.6 ②黒褐 ③7.5YR3/1	①4.58	①3.59	①4.85
20		①5.96 ②黒褐 ③7.5YR 2/2	①5.76	①5.57	①5.19	①4.54	①4.77	①4.34	①4.49	①4.40	①4.26	①5.13 ②黒褐≧暗 褐 ③5YR2/1≧ 7.5YR2/3	①5.08	①5.51	①5.80		①3.69	①4.12	①3.77	①4.68	①4.09 ②黒褐 >暗灰黄 ③10YR3/2 > 2.5Y4/2 ④有り	①5.02	①4.91 ②黒褐 ③5YR2/1	①5.46	①5.48	①5.52
40		①6.59 ②暗暗褐 ③7.5YR2/3	①6.36	①6.07	①5.87	①3.74	①4.90	①4.65	①4.30	①5.09	①3.14	①5.04 ②黒褐＝暗 褐 ③ 7.5YR2/2= 7.5YR3/3	①3.73	①5.73	①5.80		①3.49	①3.63	①3.52	①3.64	①3.32 ②暗赤褐 ③5YR3/4 ④黒む～すこ ぶる黒む	①4.81	①5.62 ②黒褐 ③5YR2/1	①5.72	①5.59	①5.5
60		①6.98 ②暗暗褐 ③7.5YR2/3	①6.87	-	①5.9	①3.37	①3.51	①3.16 ②黒褐 ③2.5Y3/2 ④有り～含む	①4.22	①3.67 ②暗褐＝明 褐 ③7.5YR3/3 ④7.5YR5/8	①3.87	①4.80 ②暗褐 ③10YR3/4	①3.38	①5.25	①4.28		①3.15 ②暗暗褐 ③7.5YR2/3 ④有り	①3.55 ②黒褐 ③7.5YR3/2 ④有り～含む	①3.83	①3.50	①2.61 ②黒 ③5YR1.7/1 ④黒む～すこ ぶる黒む	①5	①3.99 ②黒 ③7.5YR2/1	①4.38	①4.62	①5.46
80		-	①6.69	-	-	①2.68 ②カーブ黒 ③5Y2/2 ④有り	①3.05 ②黒 ③5Y1.7/1 ④有り～含む	①2.88 ②カーブ黒 ③5Y2/2	①4.53	①3.12 ②カーブ黒 ③5Y2/2 ④有り	①3.91	f ①2.56 ②暗カーブ 褐 ③2.5Y3/3 ④有り	①2.90 ②黒 ③5Y2/1 ④有り～含む	①2.83 ②黒≧暗褐 ③ 7.5YR1.7/1 ④7.5YR3/4 ⑤含む	互置1中央 ③2.72 ②カーブ黒 ③5Y2/2 ④有り	①3.25 ②カーブ黒 ③5Y2/2 ④有り	①3.02 ②黒褐 ③7.5YR2/1 ④有り	①3.02 ②黒 ③7.5YR2/1 ④含む～黒 む	①3.13 ②黒 ③2.5Y2/1 ④ 7.5YR1.7/1 ⑤有り	①2.62 ②黒 ③2.5Y2/1 ④2.5Y2/1 ⑤ 含む～黒 む	①4.27	①3.56 ②黒褐 ③10YR2/2	①3.34	①5.41	①3.44	
100	①6.26	-																								

第2図 工区1, 工区2における土壌採取地点および採取深さ毎の pH(H₂O₂), 土色, 酸性硫酸塩土壌および泥炭物質の有無

- a) 灰色の網掛けは酸性硫酸塩土壌と判定された土層とした。
- b) 枠内の①は pH (H₂O₂) 値, ②は土色名, ③は Munsell 方式の記号, ④は泥炭物質の有無について記した。②と③は小山・竹原 (2003) に従い記した。①は全ての土層について, ②, ③, ④は一部の層位のみ調査した。
- c) 工区2-A の採取地点2の80～100 cm, 採取地点4の60～80 cm, 80～100 cm, 採取地点5の80～100 cm は地下水位が高く, 土壌の採取が困難であったため, 土壌は採取しなかった。
- d) 太線枠の土層 a～f は中和石灰量の試験に供試し, 第2表, 第3表, 第4図にデータを示した。
- e) 二重線枠の土層は写真1に掲載した。



写真1 調査圃場から採取した酸性硫酸塩土壌と泥炭物質（左：工区1—B圃場の採取地点2の80～100 cm深の土層，中央：工区2—C圃場の採取地点5の80～100 cm深の土層，右：工区1—B圃場の採取地点2の80～100 cm深の土層に含まれていた泥炭物質）

a) 左および中央の写真は第2図の二重線枠内の土層の一部である。

Ⅲ．結果および考察

1. 酸性硫酸塩土壌の分布

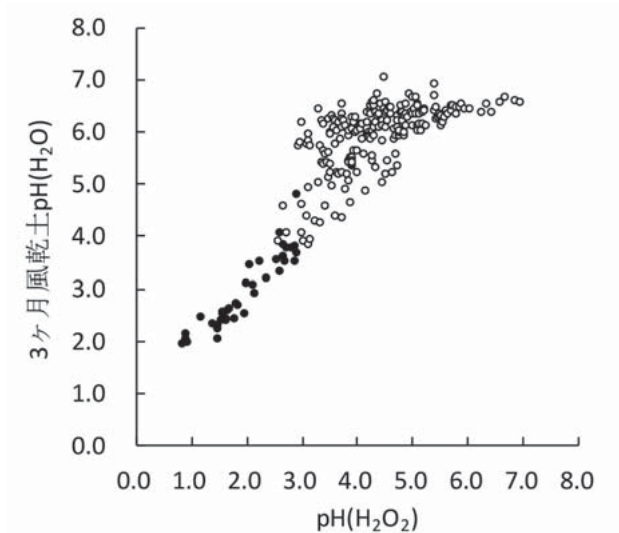
調査圃場から採取した土壌を分析した結果，工区1では調査した5圃場のうち2圃場，工区2では5圃場のうち3圃場において酸性硫酸塩土壌と判定される土層が確認された。第2図には工区1—A～E，工区2—A～Eの10圃場について，全土層のpH (H_2O_2) 値と一部の土層の土色名，Munsell方式の記号，泥炭物質の有無を記載した。工区1と工区2では酸性硫酸塩土壌が出現する土層の深さおよびpH (H_2O_2) 値は異なった。土壌採取は20 cm刻みで行い，それぞれ混合サンプルとしたことから，20 cmの土層全てが酸性硫酸塩土壌ではなかった可能性はあるが，第2図に示すように，工区1の酸性硫酸塩土壌は，工区1—B圃場では，圃場の北側の採取地点1および5では20～40 cm深の比較的浅い土層から出現した。一方，圃場の南東側の採取地点3では80 cm以深のみに出現した。工区1—E圃場では，圃場の南西側の採取地点4では0～20 cm深の浅い土層から出現したが，圃場の北東側の採取地点5では60 cm以深に出現した。このように工区1では，2圃場の5採取地点全てに酸性硫酸塩土壌が出現し，圃場内の広い範囲に分布したが，出現の深さは採取地点で異なり，作土付近の浅い層からも出現した。一方，工区2の酸性硫酸塩土壌は，工区2—B圃場では，北西側の採取地点1と南東側の採取地点3の80 cm以深のみに出現し，工区2—C圃場では，採取地点2～5において80 cm以深に，工区2—D圃場では，北東側の採取地点5にのみ60 cm以深に出現した。工区2では，酸性硫酸塩土壌が出現する採取

地点は3圃場の一部の地点であり，深い土層のみに分布した。また，酸性硫酸塩土壌の土層のpH (H_2O_2) は，工区1では1を下回る強い酸性を示す土層も存在したが，工区2では3を下回る程度の土層のみで，酸性は比較的弱かった。

酸性硫酸塩土壌の土層の土色は10YR2/2（黒褐色）や7.5YR1.7/1（黒色）など，酸性硫酸塩土壌と判定されなかった土層と同じ土色も確認されたが，第2図および写真1に示すように，工区1、工区2ともに2.5Y2/1～3/3（黒色～暗オリーブ褐色），5Y1.7/1～3/2（黒色～オリーブ黒色）など緑色を帯び，酸性硫酸塩土壌にのみ見られる土色が多かった。泥炭物質が確認されない酸性硫酸塩土壌もあったものの，工区1、工区2ともにほぼ泥炭物質が確認され，阿蘇谷の酸性硫酸塩土壌は黒泥層（泥炭を含む黒色ないし黒褐色の土層）との川崎（1982）の報告と一致した。また採取したそのままの土壌（生土）と風乾後の土壌のそれぞれで臭いを調査したところ，pH (H_2O_2) が3程度の土層では確認は難しかったが，pH (H_2O_2) が2を下回る土層では生土の状態でもわずかに刺激臭（腐卵臭）が確認でき，1週間風乾後では強い刺激臭（腐卵臭）があった。このように，土色や泥炭物質の有無，臭いにより現場でも酸性硫酸塩土壌が簡易的に判定できる可能性が高かった。以上の結果は，農地の修復工事を担当する熊本県阿蘇地域振興局に報告した。

2. 阿蘇谷の酸性硫酸塩土壌における過酸化水素処理による判定法の有効性の確認

工区1—A～E，工区2—A～Eの10圃場から採取した土壌246点について，1週間風乾後に測定したpH (H_2O_2) と，3ヶ月間風乾後に測定したpH



第3図 工区1と工区2から採取した土層の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ (1週間風乾後測定) と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ (3ヶ月間風乾後測定) の関係

- a) 黒色のプロットは酸性硫酸塩土壌と判定された土層 ($n=38$; $r=0.927$, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の平均値, 最小値および最大値はそれぞれ 2.9, 1.9 および 4.8)。白色のプロットは酸性硫酸塩土壌と判定されなかった土層 ($n=208$)。
- b) $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は, 3ヶ月間風乾した風乾土 10 g に純水を 25 ml 加え, 30分振とうおよび30分静置後に pH 計で測定した。 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ は, 高水分のため1週間風乾した生土 2 g に 30% H_2O_2 ($\text{pH} 5.2$) を 20 ml 加え加熱, 放冷後に pH 計で測定した。

(H_2O) の関係を第3図に示した。 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ により酸性硫酸塩土壌と判定された土壌の, 3ヶ月間風乾後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は平均値が 2.9, 最小値が 1.9, 最大値が 4.8 と強酸性であった。 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ による強性的な酸化と3ヶ月間風乾による自然状態での酸化の結果があてはまったことから, 阿蘇谷の酸性硫酸塩土壌についても $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ による迅速な判定が有効であることが確認できた。また, 酸性硫酸塩土壌の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ と3ヶ月風乾後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の相関係数は 0.927 と高く, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ は酸性硫酸塩土壌の酸性の強さも評価可能であった。

3. 浅い層から酸性硫酸塩土壌が出現する地点における土壌断面の観察

酸性硫酸塩土壌が浅い層から出現した工区1-B 圃場近傍の観察地点周辺の景観と土壌断面を写真2に示した。断面記載と層位毎のリン酸吸収係数, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$, EC を第1表に示した。断面は6層位に分けられた。第1層~第2層 (0~30 cm) の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ はそれぞれ 4.5 と 5.0 と値は高かったが, 第3層~第6層 (30~100 cm+) の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ は



写真2 土壌断面調査地点周辺の景観 (上) と段差を伴った亀裂における土壌断面 (下)

a) 調査地点は工区1-B 圃場から約 40 m 南に位置する。

それぞれ 2.3, 1.2, 1.4 および 1.7 といずれも 3 未満であり, かつ硫酸イオンの生成が確認され, 酸性硫酸塩土壌にあてはまった。これは工区1-B 圃場の酸性硫酸塩土壌の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ および出現の深さとほぼ同じであった。

第1層 (Ap1, 0~14 cm) と第2層 (Ap2, 14~30 cm) の土色はそれぞれ 7.5YR3/3 (暗褐色) と 7.5YR4/4 (褐色) であったが, 第3層 (B, 30~45 cm) は 5YR4/6 の赤褐色の層の中にレンズ状に黒色の層が挟まっていた。その下の第4層~第6層 (H~3H, 45~100 cm+) はそれぞれ 5G1.7/1 (緑黒色), 7.5YR1/1 (黒色) と 5G1.7/1 (緑黒色) の黒色の層が連続しており, 泥炭物質が含まれていた。第4層~第6層には泥炭物質が含まれ, 構造は壁状であること, さらに第4層と第6層はジピリジル反応が即時鮮明, 土色は 5G であったことから, 第4層~第6層は地下水グライ層と判断できた。また, 第1層 (0~14 cm) と第3層 (30~45 cm) は黒ボク特徴 (リン酸吸収係数がそれぞれ 1637, 1760 と 1500 以上であり, かつ泥炭物質を含まない) を示した。以上,

第1表 浅層から酸性硫酸塩土壌が出現する地点における土壌断面の層序、断面記載および層位毎のリン酸吸収係数、pH(H₂O)、pH(H₂O₂)と電気伝導率(EC)

層位	深さ (cm)	層界	土色	斑紋・結 核	有機物	土性	構造	コンシ デンス	ち密度 (mm)	活性アル ミニウム 反応	シベリ ン反応	リン酸 吸収係数 (mgP ₂ O ₅ /100g)	pH(H ₂ O)	pH(H ₂ O ₂)	EC (dS/m)	備考
第1層	Ap1	0-14	7.5YR 3/3	無し		CL	亜角塊・不明 2~3 cm	粘着性 可塑性 中	22 mm	—	—	1637	5.9	4.5	0.9	
第2層	Ap2	14-30	7.5YR 4/4	糸根状斑 紋有り		L	亜角塊・弱 3~5 cm	粘着性 弱 可塑性 中	22 mm	—	—	1433	5.8	5.0	1.5	
第3層	B	30-45	5YR 4/6	無し	黒>黄 1:1~1:4	Lc	壁状	黄: 粘着性 強 可塑性 中	黒 16 mm 黄 17 mm	—	—	1760	2.9	2.3	8.1	泥炭-デフラ五層、上端が基盤整備 により切れている。黒連続無く、しば しばレンズ状(厚4 cm~30 cm)
第4層	H	45-60	5G 1.7/1	無し	泥炭(ヨシ)含 む	HC	壁状			—	+++	1057	1.4	1.2	18	デフラ(レンズ状)あり
第5層	2H	60-75	7.5YR 1/1	無し	泥炭(ヨシ) mm、褐色 35 %	HC	壁状			—	+	1133	1.7	1.4	11	68 cmにポケット状に灰
第6層	3H	75-100+	5G 1.7/1	無し	泥炭 (ヨシ)1~1.5 cm、灰色 30 %		壁状			—	+++	2447	2.3	1.7	10	94 cmにポケット状に灰

a) 調査地点は工区1—B 圃場から約40 m 南に位置する。

第1層 (0～14 cm) と第3層 (30～45 cm) は黒ボク特徴を示し、第4層～第6層 (45～100 cm+) は地下水グライ層であり、第1層は腐植物質に乏しく褐色を示すことから、包括的土壌分類第1次試案 (小原ら, 2011) に基づいて分類を行うと、「典型泥炭質グライ黒ボク土」に分類できた。

4. 中和石灰量

第2表に土壌 a～f の pH (H₂O₂), H₂O₂ 処理 S 濃度と硫酸塩中和石灰量を示した。H₂O₂ 処理 S 濃度および硫酸塩中和石灰量は6土壌で様々であり、中和石灰量は土層毎に推定が必要であった。保温静置実験に供試した2土壌 (c, d) の pH (H₂O₂) はそれぞれ 0.87 と 1.60, H₂O₂ 処理 S 濃度は 94.9 と 50.9 mg/g であり、H₂O₂ 処理 S 濃度から求めた硫酸塩中和石灰量は乾土 10 g 当たり 3.0 g と 1.6 g であった。2土壌の保温静置後の pH (H₂O) を第3表に示した。土壌 c では、乾土 10.0 g に対し炭酸カルシウムを 2.0 g 添加すると土壌 pH (H₂O) は 2.0 と低かったが、土壌 c の硫酸塩中和石灰量である 3.0 g を超える量の炭酸カルシウム (5.0 g) を添加すると、6.3 にまで上昇した。土壌 d では、乾土 10.0 g に対し炭酸カルシウムを 1.0 g 添加すると土壌 pH (H₂O) は 2.2 と低かったが、土壌 d の硫酸塩中和石灰量 1.6 g を超える炭酸カルシウム (2.0 g) の添加により 6.4 にまで上昇した。このように、H₂O₂ 処理 S 濃度から求めた硫酸塩中和石灰量を超える量の炭酸カルシウムを酸性硫酸塩土壌に添加後保温静置すると、pH (H₂O) は酸性硫酸塩土壌の判定基準値である 4.0 (土壌環境分析法編集委員会, 1997) を上回り、熊本県土壌診断基準 (熊本県土づくり・減農薬運動推進本部, 1998) の pH (H₂O) 5.5～6.5 にまで上昇した。このことから、H₂O₂ 処理 S 濃度から求めた硫酸塩中和石灰量は酸性硫酸塩土壌の中和石灰量とみなせることが推察された。また第4図のように、a～f の6土壌の pH (H₂O₂) と H₂O₂ 処理 S 濃度の関係式の決定係数は 0.687 と低かったことが

第2表 土壌 a～f の pH (H₂O₂), H₂O₂ 処理イオウ (S) 濃度および硫酸塩中和石灰量

土壌No.	pH (H ₂ O ₂)	H ₂ O ₂ 処理S (mg/g)	乾土10 g 当たり 硫酸塩中和石灰量 (g)
a	2.24	16.4	0.5
b	1.64	104	3.3
c	0.87	94.9	3.0
d	1.60	50.9	1.6
e	0.92	92.9	2.9
f	2.56	25.4	0.8

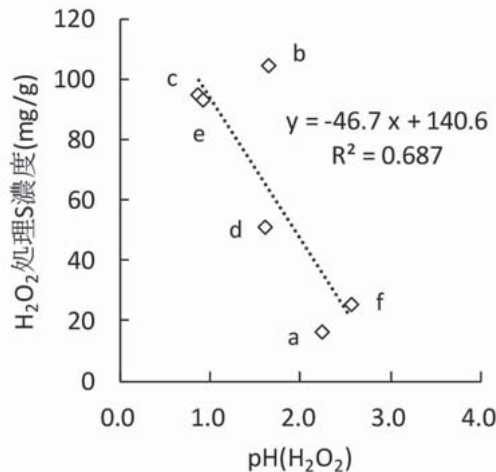
- a) pH (H₂O₂) は、高水分のため1週間風乾した土壌 2 g に 30% H₂O₂ (pH 5.2) を 20 ml 加え 60℃前後で加熱、放冷後に pH 計で測定した。
- b) pH (H₂O₂) の測定に用いた土壌抽出液中のイオウ (S) 濃度 (H₂O₂ 処理 S 濃度) は pH (H₂O₂) 測定後の上澄み液を 5B のろ紙でろ過後、ろ液を ICP 発光分光分析装置に供試し求めた。
- c) 過酸化水素処理後は土壌抽出液中のイオウは全て硫酸にまで酸化されていると仮定し、硫酸の中和に必要な Ca を含む炭酸カルシウム量を「硫酸塩中和石灰量」とし、次の式で計算した。中和により CaSO₄ が生成すると仮定すると、1 モルのイオウ (S) の中和には 1 モルのカルシウム (Ca)、つまり 1 モルの炭酸カルシウム (CaCO₃) が必要となる。そこで、H₂O₂ 処理 S 濃度をイオウの原子量 32.07 で割ってモルを求め、炭酸カルシウムの分子量 100.09 を乗じて硫酸塩中和石灰量を求めた。乾土 10 g 当たり硫酸塩中和石灰量 (g) は下記の式で求めた。

$$\text{乾土10 g 当たり硫酸塩中和石灰量 (g)} = \text{H}_2\text{O}_2\text{処理S濃度 (mg/g 乾土)} \times 100.09 / 32.07 / 100$$

第3表 保温静置実験における炭酸カルシウム添加量と pH (H₂O), 電気伝導率 (EC) および水溶性イオウ (S) 濃度

土壌 No.	炭酸カルシウム (g)	pH (H ₂ O)	EC dS/m	水溶性S mg/g
c	0.0	1.1	39	133
	1.0	1.9	26	99
	2.0	2.0	19	70
	5.0	6.3	5	21
d	0.0	2.1	17	59
	1.0	2.2	11	26
	2.0	6.4	3	9
	5.0	7.1	3	9

- a) pH (H₂O), EC および水溶性 S 濃度は酸性硫酸塩土壌に所定量の炭酸カルシウムを混和後、水分量を最大容水量の 60% に調整し、30℃で4週間保温静置した後に測定した。
- b) 炭酸カルシウムは乾土 10 g 当たりの添加量を示した。
- c) pH (H₂O) は保温静置後の土壌に純水を乾土当たり 2.5 倍量となるように加え、30 分振とうおよび 30 分静置後に pH 計で測定した。EC は pH (H₂O) 測定後、純水を乾土当たり 5 倍量となるようにさらに加え、30 分振とう後に電気伝導率計で測定した。
- d) 水溶性 S 濃度は EC 測定後の上澄み液を 5B のろ紙でろ過後、ろ液を ICP 発光分光分析装置に供試し求めた。



第4図 土壌a～fのpH(H₂O₂) (1週間風乾後測定)とH₂O₂処理イオウ(S)濃度の関係

- a) pH(H₂O₂)は、高水分のため1週間風乾した土壌2gに30% H₂O₂ (pH 5.2)を20 ml 加え加熱、放冷後にpH計で測定した。
- b) H₂O₂処理S濃度はpH(H₂O₂)測定後の上澄み液を5Bのろ紙でろ過後、ろ液をICP発光分光分析装置に供試し求めた。

ら、酸性硫酸塩土壌の中和石灰量の推定にあたっては、pH(H₂O₂)のみによるよりも、H₂O₂処理S濃度による方が望ましいと考えられた。

一方、第3表のように、保温静置後のECは炭酸カルシウム0 g区では土壌cおよび土壌dでそれぞれ39 dS/mおよび17 dS/m、水溶性S濃度はそれぞれ133 mg/gおよび59 mg/gと非常に高かったが、炭酸カルシウム添加によりpH(H₂O)が6.0以上に矯正された土壌ではECはそれぞれ5および3 dS/m、水溶性S濃度は21 mg/gおよび9 mg/gまで低下していた。しかし、pH(H₂O₂) 0.87～2.56の酸性硫酸塩土壌10.0 gを改良する場合に必要な炭酸カルシウム量は、第2表に示すように0.5 g～3.0 g (乾土重量に対して5%～30%)と土壌に対して莫大な量となった。

5. まとめ

以上のように、修復工事が予定されている阿蘇市内の2工区のうち、工区1ではpH(H₂O₂)が1.0を下回る強い酸性を示す酸性硫酸塩土壌が存在し、作土付近にも出現したが、工区2ではpH(H₂O₂)が3.0程度の土層のみで比較的酸性は弱く、出現する深さも80 cm以深と作土付近での出現は確認できなかった。酸性硫酸塩土壌の土色は緑色を帯びた黒色が多く、酸性硫酸塩土壌と判定された土壌のほとんどで泥炭物質(ヨシなどの植物遺体)が確認された。また、

pH(H₂O₂)が2を下回る土層では刺激臭(腐卵臭)が確認できた。現場においても、土色や泥炭物質の有無、臭いにより酸性硫酸塩土壌を簡易的に判定できる可能性が示された。また、酸性硫酸塩土壌の中和石灰量は、H₂O₂処理S濃度から推定可能であった。pH(H₂O₂) 0.87～2.56の場合、中和石灰量は乾土重量に対して5%～30%となり、莫大な量となった。

修復工事では下層の酸性硫酸塩土壌が作土に混入するおそれは低いが、工区1では強い酸性を示す酸性硫酸塩土壌が作土付近にも出現することから、工事の実施にあたっては注意が必要である。また、酸性硫酸塩土壌の中和には莫大な量のアルカリ資材が必要となることから、酸性硫酸塩土壌が作土に混入した場合の対策としては、資材の施用のみではなく、1974年の改良工事で実施された、水洗による硫酸塩の除去と炭酸カルシウムなどの資材施用の組み合わせ(川崎, 1982)が最も適切であることが推察された。

引用文献

- 1) 土壤環境分析法編集委員会(1997) 土壤環境分析法. 博友社, 東京.
- 2) 金森伸彦(2017) 平成28年熊本地震における農業被害と普及組織の取り組み. 日作九支報 83:57—60.
- 3) 川崎弘(1982) 5. 阿蘇谷における酸性硫酸塩土壌. 「あるいて見る九州の土壌」p.113—119. 土壤調査研究会, 福岡.
- 4) 小山正忠・竹原秀雄(2003) 新版標準土色帖. 富士平工業株式会社, 東京.
- 5) 熊本県(1982) 土地分類基本調査. 菊池 5万分の1地形分類図. <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/L/4304L.jpg>
- 6) 熊本県(1992) 土地分類基本調査. 阿蘇山・竹田 5万分の1地形分類図. <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/L/4315L.jpg>
- 7) 熊本県土づくり・減農薬運動推進本部(1998) 土壤診断ノート. 24 p.
- 8) 村上英行(1961) 過酸化水素による干拓地土壌中の可酸化性イオウの半定量法. 土肥誌 32 (6) :276

－ 279.

- 9) 日本ペドロジー学会編(1997) 土壌調査ハンドブック改訂版. 博友社, 東京.
- 10) 小原洋・大倉利明・高田裕介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄(2011) 包括的土壌分類第1次試案. 農環研報 29(別):1—73.
- 11) 岡川長郎(1984) 2.2.3 硫酸酸性の土壌. 第2章 世界における酸性土壌の分布と利用実態. 酸性土壌とその農業利用—特に熱帯における現状と将来—. P.21. 博友社, 東京.
- 12) 渡辺春朗(1992) 表層腐植質黒ボク土畑地帯における土層改良に関する研究. 千葉県農業試験場特別報告 21:1—98.
- 13) 渡辺春朗(1997) 16 酸性硫酸塩土壌の判定法. 第V章 土壌科学. 土壌環境分析法. p.297—301. 博友社, 東京.
- 14) 吉田一希・関口辰夫・中埜貴元(2016) 熊本地震に伴い生じた地表の亀裂分布図の作成. 国土地理院時報 128:201—206.

Distribution and Characteristics of Acid Sulfate Soils as a Guide in the Restoration of Paddy Fields Affected with Severe Cracks by the 2016 Kumamoto Earthquake

Noriko Yamaguchi¹⁾, Hirotaka Ihara, Takashi Kusaba, Tsuyoshi Yamane²⁾, Hiroshi Niimi, Nobuhisa Koga, Kojiro Mitsugi³⁾, Junji Tominaga³⁾⁴⁾, and Kentaro Monda³⁾

Summary

The 2016 Kumamoto earthquake caused large ground cracks to appear in the paddy fields in Aso Valley within the Aso caldera in Kumamoto prefecture. The local government planned to restore the cracked paddy fields but was aware that acid sulfate conditions (soils with pH (H_2O_2) <3.0 and sulfate ions in H_2O_2 -treated soil extract) occurred in the lower soil layers in some parts of the Aso valley. Acid sulfate soils release sulfate ions that form sulfuric acid when the soils are subjected to aeration and oxidation, so it was important that acid sulfate soil layers not be exposed during the restoration process. Therefore, the distribution of acid sulfate soils in Restoration Areas 1 and 2 (five fields per restoration area) was mapped, and the chemical and visible characteristics of the soils were determined for information and guidance in the restoration process.

In Restoration Area 1, acid sulfate soils existed in shallow soil layers and were highly acidic (pH (H_2O_2) < 1) . In Restoration Area 2, acid sulfate soils existed only at depths below 80 cm and were weakly acidic (pH (H_2O_2) ~3) . The pH (H_2O_2) values of the acid sulfate soil samples measured one week after sampling were highly correlated with the pH (H_2O) of the same soils after being air-dried for approximately three months, confirming that pH (H_2O_2) of fresh samples is useful for assessing the status of acid sulfate soil. The acid sulfate soils were olive black to black in color, emitted hydrogen sulfide smell and contained discernible partly decomposed plant materials with a peat-like appearance. The information obtained was used by the local government office of Kumamoto prefecture as a guide in the restoration of the paddy fields affected by the earthquake.

Keywords: Acid sulfate soil, Aso valley, Ground cracks, pH (H_2O_2) , 2016 Kumamoto earthquake

Division of Agro-Environment Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, 2421 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1192, Japan

1) Present address: Central region Agricultural Research Center, NARO

2) Present address: Hokkaido Agricultural Research Center, NARO

3) Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center Institute for Production and Environment

4) Present address: Kumamoto Prefectural Institute of Public-Health and Environmental Science