

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22658102

研究課題名（和文） 水稲根面におけるビビアナイトの生成条件解明

研究課題名（英文） Factors of vivianite formation on rice roots

研究代表者

南條 正巳 (NANZYO MASAMI)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：60218071

研究成果の概要（和文）：水田作土は田植後、湛水されると次第に還元状態となり、この還元状態で作土のリン酸イオンの一部は第 1 鉄塩のビビアナイトとして結晶化した。そして、ビビアナイトを加熱すると、希酸への溶解性が低下する性質を利用して、その含量を推定する方法を開発した。このビビアナイトの生成量はグライ低地土や灰色程度などの低地土壌グループで多く、黒ボク土では少ない傾向であった。また、作土が酸化状態になる中干し期および収穫期の落水により作土のビビアナイト含量は低下した。

研究成果の概要（英文）：The plow layer soil of paddy field is reduced after transplant of rice seedlings and submergence. Under the reducing conditions, a part of phosphate in the plow layer soil crystalized as vivianite. A quantitative method to estimate the content vivianite was developed using the fact that vivianite is converted to a sparingly soluble material in the dilute acid with heating. Vivianite formation is more common in lowland soils such as gley lowland soils and gray lowland soils than in volcanic ash soils. The vivianite content decreased during midseason drainage and after drainage when the plow layer soil is oxidized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	540,000	3,440,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：リン、稲、水田、ビビアナイト

## 1. 研究開始当初の背景

水田は畑に比べてリン酸肥料の利用率が高いことは古くから知られている。畑におけるリン酸肥料の差し引き利用率は一般に 5～20%とされているのに対して、水田では 30%程度である。この違いには、畑地はリ

ン固定力の強い黒ボク土がその半分を占めるという事も含まれているが、主な原因は湛水期間に土壌の還元が進み、リン酸イオンが溶出しやすくなるためと考えられてきた。しかしながら、還元状態ではリン酸イオンがどのような状態で存在するかについては、不明

であった。推測として、還元状態では和酸化鉄に保持されたリン酸イオンが溶出して、活性アルミニウムへの吸着平衡系になり、pHの上昇に伴い溶液中のリン酸イオン濃度が上昇する、あるいは、溶解平衡の解析からビビアナイトが関与するのではないかと推察されてきた。

## 2. 研究の目的

ビビアナイト [ $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ] はリン酸の第1鉄塩である。農耕地土壌では水田下層1m付近に認められたことはあるが、水田の作土には認められたことがなかった。これに対して、申請者は近年、このビビアナイトが水稲根の表面に生成することを走査電子顕微鏡技術などにより初めて確認した。本研究は、水稲根面にビビアナイトが生成する土壌条件、リンレベルなどの施肥条件、水管理・生育段階などの栽培条件、共存物質などの化学的条件を明らかにすることを目的として開始した。

## 3. 研究の方法

### (1) 土壌条件、リン施肥、生育段階

土壌条件については川渡フィールドセンター4号水田(非アロフェン質黒ボク土作土、「川渡」)、栗原市鶯沢袋(グライ低地土水田作土2007年春採取「袋」)、大崎市原嶋(グライ低地土水田作土、「原嶋」)の土壌を用いて検討した。これらを500mL容ガラストールビーカーに入れ、0.3gN、0.3gP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、0.3gK<sub>2</sub>Oをそれぞれ被覆尿素(70日型)、過リン酸石灰(乳鉢粉碎)、被覆硫加(70日型)として混合し、ひとめぼれ苗をポット当たり1本移植した(2連、2009年5月29日)。各土壌についてリン無施肥区を設けた。シャワーヘッドから水道水を噴射して水稲根を注意深く土壌から分離し、風乾後、1M塩酸可溶画分のP、Fe含量等を測定し、根周辺の鉄化合物を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡で観察した。

実体顕微鏡で20~40倍程度の倍率により根の全体的な観察を行い、最大200倍程度までの倍率で写真撮影を行った。

実体顕微鏡で確認したビビアナイト粒子を持つ風乾した水稲根を両面テープでアルミニウム製試料台に固定し、カーボン蒸着後、加速電圧15kVで走査型電子顕微鏡(SEM)像を得た。さらに同SEMに装着したエネルギー分散型X線分析装置(EDX)により、元素組成と元素マップを得た。

### (2) 埋設水稲根におけるビビアナイト晶出

#### ①異なる水田作土を用いた水稲根の湛水埋設試験

上記(1)のポット内に前年8月2日に採取した稲株を分解し、円筒1個当たり根の付

いた茎2本を埋設した(2連)。7月6日、上記(1)と同様に埋設根と水稲根を口径2mmの篩上、シャワーヘッドから水道水をふきかけて洗い出し、風乾後、根周辺の青色結晶を光学顕微鏡と走査電子顕微鏡で観察した。

#### ②一般水田における水稲根の埋設試験

2009年6月14日宮城県大崎市において一般農業者により水稲作付け中のグライ低地土水田作土(上記「原嶋10」)を採取した水田)の稲株と畦の間に内径69mm、深さ約100mmの亚克力樹脂製円筒をねじ込み、上記と同じで前年8月2日に採取した稲株を分解し、円筒1個当たり根の付いた茎2本を埋設した(2連)。水田はこの期間連続湛水とし、同年7月17日、上記同様に埋設根を回収、風乾後観察した。

### (3) ビビアナイト含量の推定法

ビビアナイトが加熱により希酸(0.1M HCl-1MAcOH)に溶けにくい非晶質リン酸鉄に変化する現象を利用してその含量を推定する方法を開発した。標準試料として、下記のように脱気酢酸緩衝液中で塩化第1鉄とリン酸水素2ナトリウムから合成したビビアナイトを用いた。

①ビビアナイトの調製: 200mL容三角フラスコに純水を入れ、CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na・3H<sub>2</sub>O 5.44g、モル塩[Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>・6H<sub>2</sub>O] 2.35gと、L-アスコルビン酸 1.06gを溶かした。これにNa<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>・12H<sub>2</sub>O、1.79gを加え、密栓をし、手で振り混ぜ、溶かした。時々振り混ぜ2日間室温に放置後、軽い沈殿は捨て、比較的重い部分をろ別、風乾した。

②加熱、抽出時間、粉碎の影響: pH2.8の1M酢酸緩衝液20mLにビビアナイト6.6mgを加え、濃塩酸を滴下しながら、目視判定によりビビアナイトの溶解する塩酸濃度、時間を求めた。一方、ビビアナイトは105℃、24~48時間加熱で充分褐色に変化した。次に、ビビアナイトと微粉碎ビビアナイトを用い、風乾と105℃、48時間加熱後の酢酸緩衝液に対する溶解性を比較した。風乾および加熱後ビビアナイトの構造、組成等はX線粉末回折、電子顕微鏡等で検討した。

### (4) ビビアナイト晶出に対するコンポスト添加の影響

湛水保温の方法は、水田土壌の可給態窒素測定法に準じた。内径2.3cm、高さ7cmの試験管に、ビーカー内で純水と2mm以下に粉碎した風乾コンポストをそれぞれ0g(0%)、0.1g(0.5%)、0.2g(1%)、0.4g(2%) (各3連)を混合した水田作土(灰色低地土、宮城県古川農業試験場、2009年11月6日採取)

の風乾細土 20g を良く練り合わせてペースト状にした後、スパーテルに絡んで移し、残りを純水で全量洗い込んだ。そして、ゴム栓にガラス管とゴム管を取り付け、ゴム管にピンチコックを付けて密栓をし、時々ガス抜きをしながら 30°C で 32 日間湛水保温した。土壌の色は還元色になり、酸化層は認められなかった。

予め秤量した 50mL 容ネジ蓋付きポリ瓶にブレイ第 2 準法抽出液 15mL、もう 1 セットには 0.1M HCl-1M AcOH 15mL を入れておき、それらの中に、半球状スプーンで湛水保温後の土壌をすくい取り、すり切り一杯とし、それぞれにそれらの半分ずつを加えた。ブレイ第 2 準法は 1 分間手で振とうし、塩酸-酢酸抽出は室温で 5 時間時々振り混ぜながら放置後、濾過した。濾液中のリンをモリブデンブルー法で測定した。2mm 以下に粉碎した乾燥コンポストと湛水保温後に 0.05mm 以上の画分から回収したコンポストの 0.1M HCl-1M AcOH (試料:液=1:200) 可溶 Ca, Mg, P, Fe 含量を測定した。0.05mm 以上の砂画分については 105 °C 加熱前後の 0.1M HCl-1M AcOH 可溶リンの差からビビアナイト含量を推定した。

#### (5) ビビアナイト晶出に対する鹿沼土粘土共存の影響

ビビアナイトに影響しうる共存物質として鹿沼土粘土を用い、その影響を検討した。上記(4)と同様に、水田作土(灰色低地土、宮城県古川農業試験場、2009年11月6日採取)の風乾細土 20, 19.8, 19.6, 19.0g を入れた内径 2.3cm, 高さ 7cm の試験管に、鹿沼土粘土画分懸濁液を乾土として 0g (0%), 0.2g (1%), 0.4g (2%), 1g (5%) (各 3 連) をそれぞれ混合した。密封し、時々ガス抜きをしながら 30°C で 32 日間湛水保温した。

予め秤量した 50mL 容遠沈管にブレイ第 2 法抽出液 15mL、もう 1 セットには 0.1M HCl-1M AcOH (希塩酸混液) 15mL を入れておき、それらの中に湛水保温後の土壌を加えた。ブレイ第 2 法は 1 分間振り混ぜ、希塩酸混液抽出は室温で 5 時間時々振り混ぜながら放置後ろ過し、ろ液中のリンをモリブデンブルー法で測定した。残りの土壌を篩に移し、0.05mm 以上の砂画分を採取した。風乾後、105°C 加熱による希塩酸混液可溶リンの減少分からビビアナイト含量を推定した。

#### (6) 実際の水田における検討

2009年7月30日, 8月28日, 11月6日に宮城県古川農業試験場水田(灰色低地土、造成)作土からガバトボックスを使い、株間

から約 7x12cm 深さ約 8cm の土壌試料を採取した。その土塊を 2 mm の篩の上でシャワーヘッドを使い、水稻根を洗い出し、風乾した。その水稻根から実体顕微鏡で青色の結晶を探し、走査電子顕微鏡観察とそれに装備したエネルギー分散型 X 線分析(EDAX)、微小部 X 線回折により同結晶の同定を試みた。さらに、その水稻根を 5mm 以下に切断し、0.1g を三角フラスコに取り、105°C で 48 時間加熱した試料と未加熱の試料に 0.1m 塩酸-1M 酢酸混合液 20mL を加え、時々振り混ぜながら 5 時間室温に放置した。その後、濾液のリン濃度をアスコルビン酸還元モリブデン青法で測定した。加熱によるリン濃度の低下分から根のビビアナイト含量を推定した。

水稻根に晶出したビビアナイトの結晶構造を確認するためには微小部 X 線回折法を利用した。この方法ではガラスキャピラリーを通じて X 線を直径数十  $\mu$ m に集光することにより、強い X 線を少量の結晶に当てることができ、稲の根表面に生成した 0.05 mm 程度のビビアナイトの結晶集合体からの回折データ取得が可能である。結晶集合体を回転させながら X 線ビームに対して角度を変えて当て、反射 X 線は湾曲型 2 次元イメージングプレートにより検出し、粉末回折法に相当するデータを得た。本 X 線回折データは(株)リガクの西郷氏の協力により得ることができた。

#### (7) 施肥位置におけるビビアナイトの水平・垂直分布と水管理の影響



図 1. 1m x 1m のモデル水田。

アクリル板で囲った1 m×1 mのモデル水田を3区造成し(図1)、作土としてリン酸固定力の弱いグライ低地土を用いた。水管理は常時湛水区(CF区)、中干し後間断灌溉区(MI区)、中干し後常時湛水区(MF区)とした。7~11月に毎月上旬施肥位置を含むように株間の土壌をガバトボックスで採取し、約4cm角に切り出した。採取した土壌は0.05mmの篩を使ってシャワーヘッドで中~粗砂と根を分離し、自然乾燥した。この砂サンプル中のビビアナイト含量を加熱難溶化法によって求めた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 土壌条件、リン施肥、生育段階

ビビアナイトが水稻根面に生成するための土壌条件、リンレベルなどの施肥条件に関する検討結果は次のとおりであった。

7月6日に取り出した生育中の水稻根は新しく伸長しつつあるものと褐色に鉄ブランクが付着したものなどが混合していた。鉄ブランクが付着した根にはビビアナイトの結晶がほとんど認められなかった。これは根が酸化するため、根の側には第1鉄を含むビビアナイトが生成しにくいとと考えられた。これに対して埋設根は概して白色で、土壌の還元の影響を強く受け、ブランクが少ないと見られた。

根の1M塩酸可溶P含量は採取時期により変化し、かつ、「川渡」の水稻根は「袋」「原嶋」の1/2以下と少なかった。根の1M塩酸可溶Fe含量も「川渡」で他より少ない傾向であった。「袋」土壌ではその保存中の易分解性有機物減耗のためか初期の還元が遅れ、水稻根の同Fe含量も初期に少なかった。ビビアナイトの晶出は「原嶋」,「袋」で認められ、「川渡」では外見上認められなかった(表1, 7月6日の場合)。「川渡」では活性Al含量が多くリン酸イオン濃度がビビアナイト晶出に達しない、Al, 腐植の作る団粒等により還元進行が不均一である、などが考えられる。リン無施肥区において、稲の茎数が少なく、稲に対してはリン欠乏気味であったが、「原嶋」「袋」ではビビアナイトの晶出が認められた。また、生育段階に関して、大部分が若い根からなる7月初旬ではビビアナイトがほとんど認められなかったが、8月初旬になると「袋」「原嶋」土壌では鉄ブランクのほとんどない根にビビアナイトが認められた。

##### (2) 埋設水稻根におけるビビアナイト晶出

###### ① ビーカー埋設試験

試料採取時における土壌の状況を見ると、

「原嶋10」は表面約1cmの酸化層の下で、土壌の還元が進み、灰色味が強まると同時に非晶質硫化鉄の沈殿と思われる黒変部ができ、水稻根には褐色の鉄ブランクが多量に認められた。埋設根を洗い出すと、黒変部が多く、埋設根部分でも還元が充分進行したと見られた。これに対して、「袋07」は2007年に採取して、易分解性有機物が消費したためか、還元の進行が遅れ、試料採取時には灰色になった部分と酸化鉄の褐色が残存する部分が混在し、根は白い部分が多く、鉄ブランクの量も少なかった。土壌から根を洗い出した埋設根は黒変しており、その部分は還元が進行していた。

「川渡4」は土色が黒いため、土壌自体の還元による色の変化はあまり無いが、一部の根には鉄ブランクが付き、バルクの土壌中での鉄の還元と水稻根周囲での鉄の酸化反応があることを示していた。しかし、鉄ブランクの量は「原嶋10」より少なく、そして、白い根が多く、還元の度合いは遅れたか、弱いと見られた。土壌を洗い出すと、埋設根は黒変しており、還元の進行を示していた。

根を風乾すると、いずれの埋設根の黒色も消え、薄い褐色を帯びた状態になった。生育根と埋設根のビビアナイト粒子の付着状況は表1の通りで、生育根では「原嶋10」でわずかに認められただけで、「川渡4」「袋07」では見つからなかった。後2者の土壌バルクではリン酸イオン濃度が十分でなかった、還元があまり進まずFe<sup>2+</sup>濃度が十分でなかったなどの理由が考えられる。

表1. 生育中および埋設した前年の水稻根におけるビビアナイトの状況(2連)

試料	採取日	川渡4	袋07	原嶋10
生育根	7月6日	×	×	△
埋設根	7月6日	×	○	○

(注) ×: 見つからない, △: ごくわずか, ○: 簡単に見つかる

一方、埋設根では「袋07」「原嶋10」でビビアナイトの結晶が見つかり、リン酸イオン濃度、Fe<sup>2+</sup>濃度とも十分であったと考えられる。特に「袋07」では土壌バルクの還元が進まなかったが、埋設根は前年8月2日に採取し、十分な易分解性有機物を含み、還元も進行したためと考えられる。「原嶋10」の生育根で埋設根よりビビアナイトが少なかった理由は、この段階では若い根が多いためと推測される。

###### ② 一般水田における水稻根の埋設試験

埋設根は褐色が退色し、鉄ブランクの大部分は溶けたと見られた。2連の内的一方からビビアナイトがごくわずかに認められた。

以上から前年の水稻根の埋設物にビビア

ナイトが確認され、ビビアナイトの晶出には生育中の水稻根である必要はないことが明らかになった。特に「袋07」「原嶋10」での結果から、通気能が低下し、易分解性有機物を含み、還元が進みやすい根でビビアナイトは結晶化しやすいと推察される。

### (3) ビビアナイト含量の推定法

合成ビビアナイトは結晶化した水溶液中から取り出した後、空中で青色を示した。調製したビビアナイトのX線粉末回折図は既報と一致した。ビビアナイトはpH2.8の酢酸緩衝液には室温で1夜放置後もほとんど溶けなかった。濃塩酸を3滴加えpH1.9として約20時間後、色は薄くなったが、あまり溶けず、さらに濃塩酸を3滴加えpHを1.3とすると、約1日後大部分が溶解し、その翌朝にはほぼ全部溶解した。そこで、0.1M塩酸を含む1M酢酸(pH1.1)抽出液20mLにビビアナイト6.4mgを加え、時々弱く振り混ぜながら放置すると4時間以内に目視不可の状態まで溶解した。このときのリンの溶解量は $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 分解時の99.3%であった。これに対して105°C、48時間加熱後のビビアナイトは同抽出液にほとんど溶けず、リンの溶出量は4.2%に、微粉碎試料でも15%に低下した。この加熱によるビビアナイトの同抽出液への大きな溶解性低下が明らかになり、この現象はビビアナイト含量の推定に応用できると考えられた。

### (4) ビビアナイト晶出に対するコンポスト添加の影響

コンポスト中には $\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ や $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ などのリン酸塩の存在が論議されている。これらのリン酸塩は希酸可溶だが、中性付近での水溶性はやや低い。一方、還元状態の低地土壌中ではビビアナイトが晶出し得る。そこで、湛水保温下におけるコンポスト施与土壌中で起こるリン酸塩の形態変化について検討した。

今回用いたコンポストは湛水保温後も粒子として砂画分(>0.05mm)に認められた。その中含まれる無機リンの8割程度は湛水保温期間中に、コンポストから溶出し、水稻のリン源として有望である。

コンポストを添加して湛水保温した土壌のブレイリン(第2準法)、希酸可溶リンは、風乾細土に比べて大きく増加し、かつ、コンポストの添加量にほぼ応じて増加した。

湛水保温後のバルク土壌の砂(>0.05mm)画分にはビビアナイトの結晶が、実体顕微鏡および、走査電子顕微鏡およびエネルギー分散型X線分析で容易に認められた。

コンポスト中のリン成分として、 $\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ や $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の可能性を否定できな

いが、明確な結晶としては観察されず、P、Ca、Mg等の集合体のように見られた。

還元土壌中でコンポスト中からリンが溶出してビビアナイトが晶出したということは、この還元条件下で、ビビアナイトはコンポスト中のリン酸塩より溶解性が低いことを示唆する。湛水保温中でコンポスト中に残存するリン成分として有機態が考えられる。

### (5) ビビアナイトの晶出に対する鹿沼土粘土共存の影響

湛水保温により、ブレイIIPは2倍以上に増加したが、鹿沼土粘土添加により微減傾向であった。希塩酸混液可溶Pも2倍以上に増加したが、希塩酸混液可溶Pは鹿沼土粘土添加により明確に低下した。0.05mm以上の砂画分中の希塩酸混液可溶Pもアロフェン質粘土添加により減少した。湛水保温によりバルク土壌中でもビビアナイトは生成し、板状結晶の集合体であった。0.05mm以上の砂画分中のPに富む粒子の頻度は鹿沼土粘土を加えない対照区で多かったが、同粘土5%添加により減少し、ビビアナイトの晶出量も減少した。

### (6) 実際の水田における検討

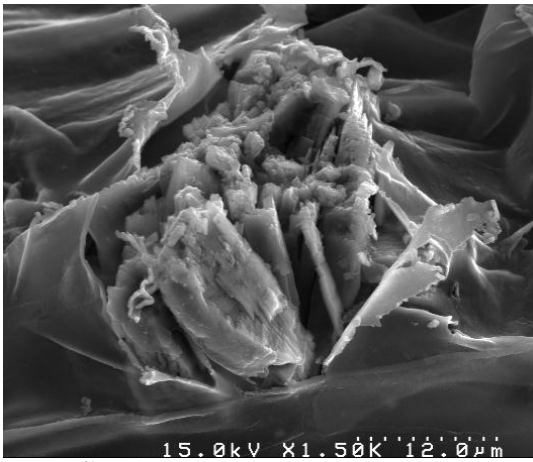
これまで、ポット栽培稲でビビアナイトの結晶生成を確認してきたが、実際の稲栽培の現場である普通の水田で検討する必要がある。そこで、宮城県古川農業試験場の水田で栽培した水稻根を採取し、ビビアナイトの晶出状況を検討した。



図2. 水稻根に晶出したビビアナイトの例。

図2は水稻根に晶出したビビアナイトの例である。青色は根を土壌から分離した後、酸素と触れて発色したものである。実際の水田作土においてもポット栽培した稲の根の場合と酷似していた。そして、図3のSEM像によれば、ビビアナイトの結晶集合体は根の内部から外側へ硬膜組織層を破りながら成長しつつあるように見受けられる。また、図2ではビビアナイトの結晶が根の外側に大きくせり出して発達している。したがって、ビビアナイトは水稻根の中だけでなく、バルクの土壌中でも結晶化することを示唆する。

図3. 水稻根に晶出したビビアナイトのSEM



像の例.

7月30日と8月28日に採取した水稻根には実体顕微鏡で青色結晶が容易に認められた。走査電子顕微鏡観察ではその結晶は板状の微細結晶の集合体(図3)で、エネルギー分散型X線分析によれば、鉄とリンが約3:2の組成を持ち、ごくわずかのCaとMnを含んでいた。結晶は根の表面～内部から土壌側へ晶出しつつあるように見られた。微小部X線回折図はビビアナイトに関する既報と一致した。また、これらの根の試料のビビアナイト含量は4.1~9.0 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>(全リン含量の24~27%)と推定された。以上の結果はポット栽培稲とほとんど同様であり、通常の水田でもビビアナイト生成が確認された。これに対して、11月6日にはビビアナイトがほとんど認められず、落水後酸化が進むにつれてFe<sup>2+</sup>の活動度が下がり、Lindsay (1980)の推測のように溶解して消失すると考えられた。

#### (7) 施肥位置におけるビビアナイトの水平・垂直分布と水管理の影響

7月に施肥位置周辺の作土でビビアナイトがさかんに晶出したが、施肥位置から離れた地点でも検出された。リン集積が進んだ農地では1ヶ月半程度の湛水で当年リン施肥していない位置も含め作土全体にビビアナイトが晶出した。8月には中干しを行ったMI区とMF区で晶出量が減少し、CF区も収穫期の落水で激減した。このため水稻根表面だけでなく水田土壌においてもビビアナイトは水管理の影響を顕著に受けた。

以上の結果は水田土壌や湿地などのリン管理等におけるリン資源の節約、環境影響の低減、その他の課題解決に何らかの寄与をすることが予想され、今後のさらなる検討が望まれる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① Nanzyo, M. Topics on minerals in volcanic ash soils and paddy field soils,

Clay Sci., 査読無、14巻、6号、2010、247-251

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008006424>

- ② Nanzyo, M., Yaginuma, H., Sasaki, K., Ito, K., Aikawa, Y., Kanno, H., Takahashi, T., Identification of vivianite formed on the root of paddy rice grown in pots, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有、56巻、2010、376-381

Doi:10.1111/j.1747-0765.2010.00463.x

[学会発表] (計7件)

- ① 楠重矢子、南條正巳、菅野均志、高橋正、水田土壌でのビビアナイト晶出とその砂画分における定量的な評価、日本土壌肥料学会鳥取大会、2012年9月4~6日、鳥取大学
- ② 南條正巳、湛水土壌中に埋設した水稻根におけるビビアナイトの晶出、第55回粘土科学討論会、2011年9月14~16日、鹿児島大学郡元キャンパス共通教育棟3号館

[図書] (計1件)

- ① 南條正巳、博友社、文化土壌学からみたリン、2010、129-146

[その他]

<http://www.agri.tohoku.ac.jp/soil/jpn/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

南條 正巳 (NANZYO MASAMI)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：60218071

##### (2) 研究分担者

高橋 正 (TAKAHASHI TADASSHI)

東北大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号：80132009

研究分担者

菅野 均志 (KANO HITOSHI)

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：30250731