

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18405043
 研究課題名 (和文) 熱帯アジア (インドネシア) における集水域生態系の持続的利用
 と農業生産
 研究課題名 (英文) Sustainable use and agricultural production in watershed ecosystems
 in Tropical Asia (Indonesia)
 研究代表者
 増永 二之 (MASUNAGA TSUGIYUKI)
 島根大学・生物資源科学部・教授
 研究者番号：10325045

研究成果の概要：

インドネシアにおいて、過去 30 年間行われてきた近代的農法による集約的稲作は、水田土壌中の炭素や窒素および施肥由来の窒素・リンなどの増加をもたらし、逆に可給態ケイ酸の減少をもたらした。また、集水域内の土地利用管理形態の違いは土壌および河川・灌漑水質に影響を及ぼし、上流域での土地利用の変化が下流域の農業生産に影響を及ぼしていることを示した。例えばケイ酸については、環境水中への窒素・リンの負荷がケイ藻などの繁茂による環境水からのケイ酸の消費を促進し、下流域の水田へのケイ酸の供給を減少させていた。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2006年度 | 5,300,000 | 1,590,000 | 6,890,000 |
| 2007年度 | 4,100,000 | 1,230,000 | 5,330,000 |
| 2008年度 | 4,000,000 | 1,200,000 | 5,200,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 13,400,000 | 4,020,000 | 17,420,000 |

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：インドネシア、持続的農業、緑の革命、水田土壌、集水域、土地利用、土壌侵食

1. 研究開始当初の背景

熱帯アジア諸国では1960年代以降、緑の革命によりもたらされた近代的農業技術 (改良品種、化学肥料や農薬、機械化) の普及や灌漑設備の整備により、稲作をはじめとして農業生産が飛躍的に増加した。例えばインドネシアでは、1961年から2000年の40年間で米生産量は4倍以上の5000万トンを超えた。これは単位面積当たりの収量の増加 (2.5倍) と栽培面積の増加 (1.7倍) によるものである。

現状、土地の農業生産性は高く安定してい

るように見える。しかし、今後の数十年あるいはより長期的な視点で見た場合、現在の土地利用・管理方法は本当に持続的なのだろうか？

農業生産活動の活性化により、集水域内 (高地から低地) で土地利用形態は変化し、そして、化学肥料・農薬の投入、2-3期作化など土地管理方法も変化してきた。この結果、個々の森林や農耕地だけではなく集水域レベルでの物質動態が変化してきたと考えられる。さらに、近年発展途上国では都市の拡大、商工

業の発達により環境、特に水環境への汚濁物質の負荷が増加し、その劣化が危惧されている。実際、申請者が携わった研究(Ali et al. 1997ab, 1998)において、1960年代からの30年でバングラデシュの水田土壌では全炭素窒素含量が減少し、可給態リン含量も地域によっては減少していることが明らかとなった。熱帯アジアの他国においても、同様の現象が起きていることが考えられる。土壌や水環境の劣化は、国の基礎となる農業生産を不安定にするだけでなく、自然あるいは人の関わる集水域生態系へ影響をおよぼす問題であり、その原因を解明し対策を講じる必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題ではインドネシアのジャワ島とスマトラ島において、次の事柄を目的に研究調査を行った。

(1) 「緑の革命技術導入後の過去30年間の水田土壌の理化学性の変化」

1970年に川口・久馬京都大学名誉教授らによりジャワ島全域より採取された水田土壌試料をレファレンスとして、同地点(研究計画の図2)より新たに採取した土壌を分析比較し土壌の理化学性の変化を定量的に解析し、過去30年間に近代農業技術および現在の土地利用形態が土壌に与えた影響について解明する。

(2) 「集水域内の土地・水利用管理形態と物質動態および農業生産性との関係の評価」

インドネシアのジャワ島とスマトラ島の3つの集水域を対象に、土壌・水環境に影響を及ぼす集水域内の物質動態について、高地から低地への土地利用形態の違いが集水域内の高地から低地の各地形面での土壌および河川や灌漑水質に及ぼす影響を評価する。また、稲にとって非常に重要な元素であるケイ酸について、水利用形態(ダム、ため池、自然河川かんがい)の変化と、高地から低地へのケイ酸動態の関係を調べる。

(3) 「家庭・商工業地からの汚濁物質負荷と対策方法の研究」

都市・商工業地域における、家庭・商工業地由来の汚濁物質負荷による周辺水環境はそれらの水を灌漑水として利用する農耕地栽培に影響する。例えば、窒素過剰による稲の倒伏や病害抵抗性の低下などが懸念される。そこで負荷原因の解明と、対策としてインドネシアの農村地域でも適応できる汚染された水の浄化方法について検討を行う。

得られた結果より、現在(近代)の集水域の利用形態における土壌や水環境の質の変化とそれが農業生産におよぼす影響を考察

し、中長期の視点での集水域利用の安定・持続性を評価とその持続的利用についての提言を行う。

3. 研究の方法

(1) 「緑の革命技術導入後の過去30年間の水田土壌の理化学性の変化」

1970年の川口・久馬京都大学名誉教授らによるジャワ島での水田土壌採取地点(46地点)より新たに土壌をコアサンプラーを用いて定量的に採取し、pH、全炭素、全窒素、可給態リン酸、交換性陽イオン、可給態ケイ素、0.1MHC1可溶性重金属などの化学性を分析比較し、過去30年間の土壌中の化学性の変化(物質の増減)を定量的に評価する。

(2) 「集水域内の土地・水利用管理形態と物質動態および農業生産性との関係の評価」

ジャワ、スマトラの稲作地帯の中心に位置する集水域である、西ジャワ州のCitarum集水域と中央ジャワ州のKaligarang集水域、西スマトラ州のSumani(Solok)集水域において、山岳地域の水源から低地水田地帯にかけて、各地形面、土地利用に応じて土壌採取を行い、さらに河川および灌漑水路から水試料を月一度の頻度での継続的なサンプリング・分析を行った。高地から低地への各土地利用形態(自然林、プランテーション、棚田・畑、低地水田)毎に土壌の採取分析(pH、全炭素、全窒素、可給態リン酸、交換性陽イオン、可給態ケイ素、0.1MHC1可溶性重金属、蛍光X線分析による全量分析)、収穫量や資材投入量などの土地利用管理に関する聞き取り調査を行った。集水域内での地形面および土地利用形態での土壌特性の変化と河川・灌漑水水質毎の土壌特性の分析結果より、土地利用形態の違いが、集水域内の高地から低地の各地形面での養分(物質)移動と土壌および河川や灌漑水質に与える影響を考察した。

集水域内の水環境特性調査として、水利用形態の異なる水系毎(ダム、ため池、自然河川かんがい)に、河川・灌漑水の採水・分析(pH、NO₃、PO₄、Ca、Mg、K、Na、溶存態Si)を行い、高地から低地へのケイ酸ほか養分の供給量の変化を評価した。

(3) 「家庭・商工業地からの汚濁物質負荷と対策方法の研究」

西ジャワ州のCitarum集水域と中央ジャワ州のKaligarang集水域、および西スマトラ州のAnai集水域において、河川水の水質調査を行い、土地利用との関係を考察した。また、汚濁した河川水の浄化方法として、土壌を用いた汚水処理技術の一つである多段土壌層法による水浄化の予備実験を、西スマト

ラ州のパダンおよび日本で行った。

4. 研究成果

(1) 「緑の革命技術導入後の過去 30 年間の水田土壌の理化学性の変化」

土壌特性の変化パターンにおける土地利用管理方法の違いの効果を調べるために、供試土壌を、継続して稲の単一栽培が行われてきた seedfarm と、稲と穀類の輪作が行われてきた non-seedfarm にグループ分けした。そして、可給態ケイ素の変化率における地形面の違いの効果を調べるため、採取場所を高地（海拔 100m 以上）と低地（海拔 100m 以下）に分けた。

過去 30 年の間、seedfarm と non-seedfarm での水田としての土地利用は変化していないが、耕作強度は増加した。全炭素と全窒素はそれぞれ 31.90 Mg ha^{-1} から 40.42 Mg ha^{-1} 、 3.04 Mg ha^{-1} から 3.97 Mg ha^{-1} に増加し、主に表層に集積していた。Seedfarm と non-seedfarm 間の土地管理方法の違いは、過去 30 年の間で 0-20cm 層の全炭素と全窒素含量の変化に影響していた。稲作のみが行われてきた Seedfarm の 0-20cm 層で、全炭素含量は 34.50 Mg ha^{-1} から 39.24 Mg ha^{-1} 、全窒素含量は 3.16 Mg ha^{-1} から 3.95 Mg ha^{-1} に増加した。Non-seedfarm では、全炭素は 29.77 Mg ha^{-1} から 41.37 Mg ha^{-1} に、全窒素は 2.94 Mg ha^{-1} から 3.98 Mg ha^{-1} へと seedfarm よりも多く増加した。0-100cm 層においては、全炭素と全窒素は seedfarm で、それぞれ 92.68 Mg ha^{-1} から $112.83 \text{ Mg ha}^{-1}$ 、 9.34 Mg ha^{-1} から 12.03 Mg ha^{-1} に増加し、non-seedfarm でそれぞれ 79.60 Mg ha^{-1} から $114.86 \text{ Mg ha}^{-1}$ 、 8.93 Mg ha^{-1} から 11.44 Mg ha^{-1} に増加した。ジャワ島の主要な土壌種である Inceptisols と Vertisols の間での明確な違いは見られなかった。長期間の水田の集約的利用は、これら 2 つの土壌固有の特性の違いを消去したのかもしれない。

平均 pH は 6.90 ± 0.77 から 5.84 ± 0.90 に、交換性 Na は $3.28 \pm 2.76 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ から $1.67 \pm 2.06 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ にそれぞれ減少した。一方、交換酸度と可給態リン酸はそれぞれ、 $32 \pm 3.09 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ から $13.23 \pm 3.72 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ に、 $136.62 \pm 154.72 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ から $255.75 \pm 292.41 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ に増加した。交換性 Ca、Mg、K と有効陽イオン交換容量 (eCEC) にはこの期間での有意な違いは認められなかった。土地利用管理方法の違いは、多量の化学肥料を投入し継続的に稲作が行われてきた seedfarm と、肥料は低投入で輪作体系を用いる non-seedfarm における土壌化学性の変化の傾向に影響を与えてきたと推察された。

0-20cm 層では、seedfarm で pH、交換酸度、交換性 Na、可給態リン酸の平均値は -1.25 、 $4.11 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ 、 $-1.42 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ 、 $194 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 変化した。一方、non-seedfarm では、これらの土壌特性は -0.90 、 $3.26 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ 、 $-1.77 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ 、 $57 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 変化した。Seedfarm の交換性 K の平均値は 1970 年と同じレベルであり、これは、この期間の K 肥料としての KCl の十分な供給によるものと考えられた。一方、K 肥料が頻繁には施用されなかった non-seedfarm では、交換性 K は $-0.30 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1}$ 減少した。ほぼ同期間でのバングラデシュにおける調査結果と比較すると、バングラデシュではジャワ島よりも交換性陽イオンが減少していた。可給態リン酸に関しては、バングラデシュでは約 10% 減少したが、ジャワ島では対照的に約 2 倍に増加した。

過去 30 年の間の可給態ケイ素の平均含有量は 0-20cm と 0-100cm の土壌層でそれぞれ $1512 \pm 634 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ から $1230 \pm 556 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 、 $6676 \pm 3569 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ から $5894 \pm 3372 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ に減少した。3 期作を行う seedfarm と、稲と穀類の輪作を行う non-seedfarm の間における耕作頻度の違いは、この 30 年間に可給態ケイ素の減少に影響を及ぼしたと考えられた。0-20cm の土壌層では可給態ケイ素の平均含有量は seedfarm と non-seedfarm それぞれで $1646 \pm 581 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ から $1283 \pm 533 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (-22%)、 $1440 \pm 645 \text{ kgSiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ から $1202 \pm 563 \text{ kg SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (-17%) に減少した。本研究では、地形面の違いによる可給態ケイ素の減少率への影響が認められた。すなわち、同様の肥培管理や耕作頻度では、低地に比べ高地の調査地点の方が可給態ケイ素の減少率が大きかった。特に non-seedfarm では、降雨からのケイ素の供給がない天水田での稲作が、ケイ素の損失の高い理由であると推察された。ジャワ島の水田土壌において、灌漑水からのケイ素の供給が可給態ケイ素の減少率の低下に貢献してきたのかも知れない。しかし、30 年前の灌漑水中の溶存態ケイ酸濃度 $29.8 \text{ mgSiO}_2 \text{ L}^{-1}$ が現在では $14.0 \text{ mgSiO}_2 \text{ L}^{-1}$ に減少していた。

以上のように、土壌中可給態ケイ素および灌漑水からのケイ酸の供給の減少の結果が示され、今後のインドネシアジャワ島での水田稲作において土壌中可給態ケイ酸の管理が重要になると考えられる。

(2) 「集水域内の土地・水利用管理形態と物質動態および農業生産性との関係の評価」

① 集水域内の土地利用および地形面と土壌特性の関係

西ジャワ州の Citarum 集水域と中央ジャワ州の Kaligarang 集水域では、表層土壌の pH、

交換性陽イオン (Ca, Mg, K, Na) 含有量は高地から低地にかけて地形面に沿って、高くなる傾向にあり、高地での土壌侵食と低地へ移動堆積の影響が推察された。一方、全炭素、全窒素、可給態リン酸は土地利用型に大きく影響されていた。松およびお茶のプランテーション、休閒地、水田の順で全炭素、全窒素含有量は高く、逆に野菜畑では低かった。可給態リン酸は、施肥量が反映され野菜畑で突出して高かった。水田でもリン酸の施肥は行われているが、野菜畑ほどの蓄積は認められなかった。土地利用形態と土壌特性の間には比較的明瞭な関係が認められたが、土壌特性におよぼす地形面の影響は低地で交換性陽イオンが比較的高い以外は、明確な傾向は認められなかった。

また、西ジャワ州の Citarum 集水域において、上一下流域の土壌鉱物の元素組成を蛍光 X 線分析法により調べ、各地形面の表層土壌鉱物 (母材) の起源や各種養分含有量について調査を行った。鉱物の起源の指標となる Zr と Th の比は、集水域内の総ての地形面で一定であり、上流から下流にかけて表層土壌の母材が同じである事が示された。しかし、V と Fe_2O_3 の含有量が下流から上流にいくにつれて増加し、上流の表層土壌が強い風化作用を受けていることが示された。この結果は、下流域 (低地水田) において、上流からの比較的風化程度の低い土壌粒子が経時的に供給されているためと推察された。風化によって重金属類の濃度が変化しても、 Fe_2O_3 と各元素の比率が維持される事が知られている (石質)。そこで、 Fe_2O_3 に対する各種重金属の濃度比を調べた結果、低地水田の表層土壌中の Cr や Pb の値が相対的に高く、低地での人為によるこれら重金属元素の負荷が示唆された。 P_2O_5 の含有量は上流域で高く、中下流域で低い事が示された。西スマトラ州の Sumani 集水域において、上一下流域の水田土壌特性の評価および、USLE (土壌侵食予測式) による集水域の土壌侵食状況および土地利用と受食性の関係を調査した。水田土壌特性について、上流域では塩基や可給態リン酸含有量が比較的高く、土壌が比較的若く肥沃であり、下流域では粘土含有量が高く、また中流域よりも肥沃土が高く、上中流からの物質移動による土壌の肥沃化の影響が示唆された。土壌侵食はプランテーションや侵食防止策を取らない畑地で非常に大きく、それらの地点では年間 100t/ha を超える侵食量が予測され、逆に水田では上部から侵食された土壌を捕捉していることが予測された。

西スマトラ州の Sumani 集水域の土壌特性について、この集水域は Citarum 集水域に比べて面積が小さく、また地形が比較的急峻である。河川の上流から下流域の水田土壌にお

いて全炭素、全窒素、可給態リン酸 (Bray2) の含有量の変動が大きく、土地利用形態だけでなく、地形面での土壌特性の変動が大きいことが示された。可給態リン酸は上流域と下流域で中流域に比べて含有量が高く、集水域に新鮮な母材を供給し続けている火山の影響が上流域で、上・中流域から侵食された土壌が下流域の水田に供給されていることが推察された。ジャワの集水域と同様に、Sumani 集水域の水田においても、可給態ケイ酸の含有量はあまり高くはなく、調査した 13 地点のうち 5 地点では 300mgSiO₂ 未満であった。この含有量は、Sumida の基準によると、“不足”に分類されるレベルであった。0.1M 抽出重金属分布において、Pb の集積傾向がいくつかの水田で認められた。水田土壌中の Pb 含有量と主要幹線道路からの水田の距離に負の相関関係が認められ、自動車やバイクの排気ガスなど道路からの汚染物質の流入が、一部の水田で問題になることが示された。

② インドネシア・ジャワ島の 2 つの集水域における土壌および河川水中のケイ酸可給度

ジャワ島の Citarum と Kaligarang の二つの集水域において、稲にとって非常に重要な有用元素であるケイ素は、米生産の持続性に関して最も重要な要因の一つである。水田および他の土地利用における土壌中と河川や灌漑水中のケイ酸 (Si) 可給度およびその動態について次のことが明らかとなった。本研究では、土壌、植物、河川水中の Si 含有量を、それに影響を及ぼす土壌母材と土地利用との関係について報告する。水田土壌中の可給態 Si 含有量は、Sumida や Bollich & Matichenkov の稲の生育における土壌の Si 含有量の基準によると、Citarum 集水域の 16 地点中 2 地点が *deficient*、10 地点が *low* であった。Kaligarang 集水域では、*deficient* に分類された地点はなく、15 地点中 9 地点が *low* であった。いくつかの水田の稲の止め葉中の Si 含有量も、Ma & Takahashi の基準で水田中の Si 含有量が *low* と分類される 125 g SiO₂ kg⁻¹ 以下であった。Citarum 集水域では、水田土壌は比較的可給態 Si 含有量の低い湖沼粘土堆積物から成り、一方 Kaligarang 集水域の水田土壌は主に可給態 Si 含有量が高い凝灰岩や火山灰から成る。Citarum 集水域において、松植林地での松リターの多量集積や、茶畑とトウモロコシ畑での土壌の酸性化等を通じて、土地利用形態が Si 可給性に影響を与えていると考えられる。河川水および灌漑水の Si 含有量は、概して Citarum よりも Kaligarang 集水域で高かった。母材の違いがこの結果に影響していると考えられる。母材の違いに加えて、ダムにおける Si の減少もおそらく Citarum 集水域の下流域の河川

や灌漑水中 Si 含有量に影響を与えている。

(3) 「家庭・商工業地からの汚濁物質負荷と対策方法の研究」

ジャワおよびスマトラの上記調査集水域内の河川の水質調査を行った結果、予想通り都市や工場地帯を通過後の窒素、リン等の増加が認められた。また、Citarum 集水域では下流域の水田地帯において、灌漑排水が流入する灌漑水路（インドネシアでは一般的に、灌漑水路と排水路が分けられていない）において、肥料成分が流入し富栄養化シホテイアオイの大繁殖などの現象が観察された。

汚濁水の浄化実験について、現地の土壌他各種資材を用いて浄化試験を行った結果、ゴム工場やヤシ油精製工場廃水からの有機物や窒素の除去について、現地の排水基準を満たすレベルに処理できることが示された。実用レベルの研究については、継続的な試験が必要である。また、処理装置の構造と処理特性の関係を明らかにした。

(まとめ)

近代的農法が水田土壌特性に及ぼした影響は、可給態ケイ酸の減少や窒素過剰の懸念など土壌劣化を引き起こす側面も認められたが、有機物含有量の増加をもたらすなど、土壌特性の向上にも寄与していた。しかし、肥料や農薬などの資材の継続的な投入が求められる集約的農業をすべての農民が今後も継続的に行えるわけではなく、農業、特に水田稲作を考えた場合、その持続性は自然由来の養分供給に大きく依存することとなる。本研究では水田稲作の持続性について養分収支の点に焦点を当て、集水域単位での上流から下流域への物質動態を捉え、下流域での水田稲作地帯への灌漑水などを通じた養分流入が、下流域の灌漑水田の持続性量の調査を試みたが、本研究期間内に信頼性のある定量的なデータを得ることは出来なかった。しかし、集水域内のケイ酸動態の結果に表されるように、上流域での農地への施肥や土地と水利用形態がケイ酸の動態に大きな影響を与え、下流域の水田稲作に影響を及ぼしうることが示された。また、都市・工業地域や農地から各種廃水・排水の放出による、下流域農地への過剰な養分の供給への対策として、土壌式浄化法が現地で適応しうる事を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

①Husnain, Hermansah, Wakatsuki T., Setyorini D., Hermansah, Sato K. and

Masunaga T., Silica availability in soils and river water in two watersheds in Java Island, Indonesia, *Soil Sci. Plant Nutrition*, 54(6), 916-927, 2008 (査読有り)

②Chen X., Sato K., Wakatsuki T. and Masunaga T., Effect of Structural Difference on Wastewater Treatment Efficiency in Multi-soil-layering Systems: Relationship between Soil Mixture Block Size and Removal Efficiency of Selected Contaminants., *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 206-214, 2007 (査読有り)

③Darmawan, Kyuma K., Saleh A., Subagjo H., Masunaga T. and Wakatsuki T., Effect of green revolution technology from 1970 to 2003 on sawah soil properties in Java, Indonesia: I. Carbon and nitrogen distribution under different land management and soil types., *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(5), 634-644, 2006 (査読有り)

④Darmawan, Kyuma K., Saleh A., Subagjo H., Masunaga T. and Wakatsuki T., Darmawan, Kyuma K., Saleh A., Subagjo H., Masunaga T. and Wakatsuki T., Effect of green revolution technology from 1970 to 2003 on sawah soil properties in Java, Indonesia: II. Changes in the chemical properties of soils., *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(6), 645-653, 2006 (査読有り)

⑤Darmawan, Kyuma K., Saleh A., Subagjo H., Masunaga T. and Wakatsuki T., Effects of long-term intensive rice cultivation on the available silica content of sawah soils; the case of Java Island, Indonesia., *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(6), 745-753, 2006 (査読有り)

[学会発表] (計 13 件)

① Husnain, Sato K., Wakatsuki T., Masunaga T., River Si trappment in dams and its influence on Si supply to lowland sawah in Citarum watershed, Java, Indonesia, 第 104 回日本土壌肥料学会関西支部講演会、2008 年 11 月 28 日、徳島市

② Aflizar, Husnain, Hermansah, Darmawan, Wakatsuki T., Masunaga T., A recommendation of land use pattern to reduce soil erosion in a main rice producing watershed in West Sumatra, Indonesia, 第 104 回日本土壌肥料学会関西支部講演会、2008 年 11 月 28 日、徳島市

- ③ Indra R・Aflizar・Husnain・Masunaga T.、Characteristics of heavy metal in sawah soils in Sumani watershed, Sumatra, Indonesia、第104回日本土壤肥料学会関西支部講演会、2008年11月28日、徳島市
- ④ Husnain・N.Hidayat・Hermansah・Darmawan・S. Kuniaki・T. Wakatsuki・T. Masunaga、Straw Management and Silica Deficiency in Java Island, Indonesia、第54回日本土壤肥料学会、2008年9月11日、名古屋市
- ⑤ Aflizar, A. Saidi, B. Istijono, Jamaluddin, Husnain, Hermansah, Darmawan, T. Wakatsuki, T. Masunaga、Characterization of soil erosion factors in Sumani watershed, West Sumatra, Indonesia、第54回日本土壤肥料学会、2008年9月11日、名古屋市
- ⑥ Rudy Indra, Aflizar, Husnain, Darmawan, Hermansah, T. Wakatsuki, T. Masunaga、General soil fertility and heavy metal accumulation in the rice field (Sawah) in Sumani watershed, West Sumatra, Indonesia、第54回日本土壤肥料学会、2008年9月11日、名古屋市
- ⑦ 増永二之・Husnain・Darmawan・Hermansah・若月利之、インドネシア西ジャワ Citarum 集水域における低地水田への養分移動と水田土壌特性の関係、第54回日本土壤肥料学会、2008年9月9日、名古屋市
- ⑧ Indra R., Husnain, Hermansyah, A. Saidi, T. Masunaga、Soil chemical properties changes as effect of toposequences and quality of irrigation, water in the rice field (sawah) in Sumani watershed, West Sumatra, Indonesia.、第103回日本土壤肥料学会関西支部講演会、2007年12月7日、東広島市
- ⑨ Husnain, Isa A.F., Wakatsuki T., Masunaga T., Characteristics of nutrient availability and their dynamics in relation to sustainable agriculture in Citarum and Kaligarang watersheds, Indonesia. 8th Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science, 2007 October 22-23, Tsukuba, Japan
- ⑩ Darmawan, Masunaga T., Wakatsuki T., Kyuma K., Multifunctionality of Sawah based intensive rice farming in Java, Indonesia, in special reference to carbon sequestration. 8th Conference of the East and Southeast Asian

Federation of Soil Science, 2007 October 22-23, Tsukuba, Japan

- ⑪ Husnain, Ahmad Fauzi Isa, Hermansah, T. Wakatsuki, T. Masunaga, Characteristics of soil and water qualities under several landuse types and toposequences in Citarum and Kiligarang.、第53回日本土壤肥料学会、2007年8月24日、世田谷区
- ⑫ Husnain, T. Wakatsuki, T. Masunaga, Silica dynamics in several land use types along toposequence in Citarum and Kaligarang watersheds, Indonesia., 第52回日本土壤肥料学会、2006年9月8日、秋田市
- ⑬ Darmawan, K. Kyuma, Arsil Saleh, H. Subagjo, T. Wakatsuki, T. Masunaga, The Effects of Long-Term Intensive Rice Cultivation on the Available Silica Content of Sawah Soils、第52回日本土壤肥料学会、2006年9月7日、秋田市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増永 二之 (MASUNAGA TSUGIYUKI)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：10325045

(2) 連携研究者

武田 育郎 (TAKEDA IKUROU)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：60227022

(3) 連携研究者

松本 真悟 (MATSUMOTO SHINGO)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：00346371

(4) 連携研究者

宗村 広昭 (SOMURA HIROAKI)

島根大学・生物資源科学部・助教

研究者番号：90403443

(5) 研究協力者

フスナイン (HUSNAIN)

インドネシアボゴール土壤研究所・研究員

(6) 研究協力者

ダルマワン (DARMAWAN)

インドネシア アンダラス大学・農学部・講師

(7) 研究協力者

陳 (CHEN XIN)

中国 浙江大学・部・博士研究員