

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04484

研究課題名(和文) フィリピン棚田群の劣化プロセスの解明と水文学的将来予測による最適環境管理

研究課題名(英文) Degrading Process Analysis and Hydrological Estimation of Environmental Management for Rice Terraces in the Philippines.

研究代表者

森 也寸志 (MORI, Yasushi)

岡山大学・環境生命科学研究所・教授

研究者番号：80252899

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：世界遺産であるフィリピン北部にあるコルディリエラの棚田群は、地域の伝統的文化を伝え、稲作たる生産基盤、自然の水・物質循環の一部として存在している。しかし棚田の崩壊が深刻化しており、棚田を保全するための適切かつ効率的な営農管理が求められていた。棚田という農地の構造と水・物質循環に注目して研究をしたところ、水を蓄えるために水田下層に形成される耕盤という構造が、棚田を成立させていることがわかった。また、有機物過多の状態であると耕盤を形成することなく湛水が可能になるため、棚田の形成不全、ミネラルの流出などが発生しており、見えないところにある構造の形成と維持が肝要であることが明らかであった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実施した研究は世界遺産を含む棚田保全として緊急度の高い研究であるが、高齢化の進む傾斜地に形成された生産基盤が崩壊するという現象は経済発展を遂げるアジアに共通する課題である。一国の調査研究が広くアジアモンスーン地帯に適用できるものとして今後広く展開する可能性がある。また、これは日本における中山間地域農業に通じるものであり、我が国に資する研究ともなる。今回の調査で、現地で語り継がれていること以外にも棚田の保全に関わる因子があり、棚田の保全に科学的意味を与えることができた。

研究成果の概要(英文)：The Cordillera rice terraces in the northern part of the Philippines, known as a World Heritage, conveys the traditional culture of the region and exists as a production base for rice cropping and a part of natural water and material cycles. However, the collapse of rice terraces has become more serious, and proper and efficient farm management has been required to maintain the rice terraces. We focused on the structure of the rice terraces and the circulation of water and materials, and found that hard pan, which was formed in the lower layers of the paddy fields to store water, decided the stability of the rice terraces. There were some rice terraces with excess organic matter and the paddy can pond the water by small particle clogging without forming hard pan. If that was the case, mineral leaching occurred and stability of the paddy becomes lower. We can conclude that hard pan is invisible, but its formation is crucial for stable rice paddy management.

研究分野：土壌環境工学

キーワード：棚田 フィリピン 土壌劣化 世界遺産 衛星データ

## 1. 研究開始当初の背景

世界遺産「コルディリエーラの棚田群」を含むフィリピン・ルソン島の棚田群は、同島の農業生産基盤であると共に、イフガオ族の伝統水稲耕作文化として非常に貴重な資産である。しかし、今回対象とする地域には 2000ha の棚田があり、そのうち 600ha が崩壊の危機にある（現地技術者聞き取り）。この危機には社会的、経済的要因があり、世界遺産対象地域では、棚田維持のための農村社会学的対策がある程度の成果を挙げてきた。この結果、コルディリエーラ棚田群では 2001 年に危機遺産登録されたが、2012 年には危機遺産解除となっている。しかしこれは棚田崩壊の危機が去ったわけではなく、遺産の自然科学的危機は依然として進行している。今、この課題を解明・解決しなければ、2012 年に一時的に脱したかに見えた危機は、さらに深刻な形で再発するであろう。つまり、危機遺産指定の解除は、棚田を巡る社会学的、文化的条件から行われており、自然科学的に危機が去ったことが証明された結果ではない。今回この棚田群を調査研究対象としたのは、世界遺産として象徴的意味を持ち、パイロット・プロジェクトとして、広くアジアの傾斜圃場や日本の中山間農地の保全・修復のモデルとなるためである。経済発展を遂げる国の中にあって、棚田の管理は伝統的手法に頼るばかりで、自然科学的側面が明らかにならないために農業生産に併せて、漏水や崩壊の危険性が増大したままである。非常に緊急性の高い事案だが、人海戦術的に保全してきた棚田は、人口減少と共に崩壊し始めており、他方で世界遺産でもある同地は大きな土木事業的な補修は望まれないというジレンマがある。

もともとの山々はその地形を長期に保存してきたわけであるから、自然の水移動は無理なく行われてきたと判断できる。今、棚田では漏水があれば畦に泥を塗り、水の流れを止めているが、もしこれが本来の浸透速度を大きく変えているのであれば、重いだけのダムになり非常に棄権である。もし、元々持つ地山の浸透性を精査・理解して保全を行い、崩壊危険箇所を推定できるのならば、非常に環境負荷が小さく、近未来的な環境保全技術が構築できる。

著者らは、これまでに地域資源循環型社会の構築のための学術研究と人材育成を行ってきた。対象地域では豊かな自然環境と田畑森林に囲まれながらも人口減少により産業の持続と環境修復が困難となっていた。そこで自然科学的にこれを考察し、雨の予測と流域水・物質循環モデルで地域の将来像を推測すると、修復について多人数が充たできない状態でも注力すべきポイントについて言及することができた。当該地域については社会科学的な考察は多いものの、自然科学的な観点からの考察が少ない。そこで棚田という文化的遺産について、自然科学的な側面からの調査・考察を行うことで、大がかりな修復技術を伴わなくても自然のプロセスを生かした自然環境の修復手法、低環境負荷の保全技術が可能になると考えた。

## 2. 研究の目的

前段のように、現地では自然科学的危機要因を解明することなく対処療法が行われている。亀裂発生に対して泥を塗れば必要以上に遅い浸透となり、重い水田はさらに崩壊しやすくなる。棚田という水・物質循環基盤を精査し、望ましい透水速度、ためる水の量について言及し、むしろ地形に沿って適度に浸透水を流すという生態工学的な水流管理が可能になれば効果的である。

本研究の目的は、棚田の物理・化学的構造を精査することで現在の課題を明らかにし、自然科学的側面から望ましい棚田の構造と望ましい管理のあり方を追求することである。成果として、低環境負荷の保全技術を現場で実践し、将来予測技術を自治体や政府機関へ提供することで、労働力不足が加速する農村部における環境管理技術を提案できると考えた。

## 3. 研究の方法

本研究は、海外にその対象地があり、調査が限定されることから、現地調査にあわせて土壌試料を日本に持ち帰ることによる実験室での分析を行う。また、棚田は東南アジアに広く分布するので、比較対象として、日本でもパイロット調査地をもつけ、現地で得にくい情報について補足調査・分析を行うこととした。

### (1) 現地調査

現地はルソン島北部の山岳地域にあり、マニラから 10 時間ほどバスで移動するところにある。雨期は危険性を伴うことから、主に乾期に現地調査をし、雨期には補足情報を得ることを考えた。すなわち、2017 年 4 月、2018 年 3 月、2019 年 8 月～2020 年 2 月に棚田のあるフィリピンのバナウエー市とフンドアン郡で現地調査を行った。また、2017 年 8 月、2018 年 8 月には調査のための打ち合わせをマニラで行った。

まず、2017 年 4 月はパイロット調査として、現地踏査、現地聞き取り、行政機関との調整を行い、詳細調査をすべきサイトを決定した。また、2017 年 8 月には、現地在住のエンジニアと面会し、作物栽培の実際や水田としての営農管理について聞き取りを行った。

2018 年 3 月には、ルソン島北部のバナウエー市を中心に、Viewdeck, Bangaan, Hapao の 3 地域で土壌採取を伴う現地調査を行った。それぞれの棚田群の上・中・下流の水田から 3 深度(0, 10, 30cm)で土壌を採取し、含水比、粒度分析、全炭素量(有機物量の指標とした)、交換性陽イオン量(カルシウム、カリウム、マグネシウム、マンガン)を測定した。また、それぞれの圃

場でコーン式貫入計によって土壌硬度プロファイルを取得し、漏水試験器によって田面浸透量を測定した。2018年8月には、フィリピンにて、持ち帰れなかった一部試料についての実験を行った。

最終的に2019年8月～2020年2月に土壌調査に併せて、農家からの聞き取りも行い、それまでに得てきた自然科学的データと農家が持つ知識と、行う営農行為、との合致点・相違点について調査した。

## (2) 物理・化学分析

現地から持ち帰った試料について、炉乾燥法によって含水比を、レーザー回折式粒度分析機によって砂・シルト・粘土という粒度組成を、燃烧式炭素・窒素分析計によって全炭素量・全窒素量を、ICP発光分析法によって交換性陽イオン量（カルシウム、カリウム、マグネシウム、マンガン）を測定した。

## (3) 比較対照実験・調査

日本において、30年以上耕作放棄された棚田を復興する取り組みがあり、復興年度と順が明らかになっていたので、放棄された状態から棚田に戻していくまでのプロセスを年を追って調査し、棚田が棚田として成立するための条件を精査した。フィリピンの現地調査同様に棚田群の上・中・下流の水田から3深度（0, 10, 30cm）で土壌を採取し、含水比、粒度分析、全炭素量、交換性陽イオン量（カルシウム、カリウム、マグネシウム、マンガン）を測定した。また、それぞれの圃場でコーン式貫入計によって土壌硬度プロファイルを取得し、変水位透水試験により、田面浸透量を測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 棚田が棚田として成立するまでの期間

本項目では、まず棚田の特性を知るために、長年耕作放棄されていた棚田の復興に伴い、土壌特性の経年変化について、また、標高の違いにおける差異について考察した。復興年度から時系列に土壌環境を調査すると以下のことが明らかになった。

全炭素・全窒素量は、標高が低ければ高い値を示し、有意差が認められた。掛け流し灌漑や風雨によって土壌有機物が上流から下流に供給されるということが棚田の基本的特製として明らかになった。深度別の有機物量は、放棄地では0 cm深において全炭素、全窒素ともに最も高く、復興からの年がたつにつれて低い傾向をとった。粒度分析の結果では特に0 cm深において放棄地、2017, 2016年復興となるにつれ砂の割合が低くなり、微細な粒子の割合が高まっている。復興して間もない棚田は、山の斜面と同じで表層に微細粒子が少なく、粗大な有機物が表層に堆積しており、これが耕起、代かきによって深い層と混合され、徐々に粘土やシルト等の微細粒子の割合が高まっていくと考えられた。また、硬度貫入試験の結果から、耕作放棄地や復興初年度の棚田では明確な耕盤層は確認されず、復興二年後の棚田で耕盤層の形成、復興三年後の棚田で明確な耕盤層が形成されていると思われた。元素分析では耕盤層付近にマンガンが多く集積している状況は見られず、浸透現象だけでは耕盤層形成には至らず、湛水や落水という乾湿の反復による凝集や農作業機踏圧による圧縮が必要であると考えられた。

上流から下流にかけて有機物の移動が確認されたが、微細な粒子に違いは見られなかった。また、復興されてから1～2年は放棄地の影響が残り、2～3年経過すると棚田としての土壌特性を有することがわかった。耕盤層が形成されない時期には漏水や崩落が起こりやすいと考えられ、この時期の棚田の管理に注意する必要があると考えられた。

### (2) 耕盤の不整備が棚田の安定性に与える影響

本項目では、フィリピン北部にある世界遺産・コルディリエーラの棚田群で農地の劣化が深刻化している点について、不足していると考えられた、棚田の土壌環境や課題点を自然科学的に明らかにする事を考えた。すなわち、棚田の崩壊や土壌栄養に関わると予想される耕盤と浸透現象を中心に棚田の保全に関わる土壌環境因子を明らかにした。

ルソン島北部のパナウェー市を中心に、Viewdeck, Bangaan, Hapaoの3地域で調査したところ、湛水状態であるため土壌硬度は全体的に低く、耕盤が形成されている地点とそうでない地点が確認された。耕盤の無い地点では、下方浸透量が増加すると予想されたが、浸透量の結果は、耕盤の有無と関係がなかった。これは、締固めによる耕盤形成以外に、その他の浸透抑制機能が働いていることが考えられた。そこで、耕盤のある地点と無い地点で全炭素量、すなわち有機物量に差があるかを調べたところ、耕盤のない地点で有意に全炭素量が多かった。この結果と現地での定性的観察から、耕盤のない地点の浸透抑制は有機物類の目詰まりによるものであると推察された。一方で、耕盤のない地点では、交換性陽イオンの量が有意に少なく、深くなるにつれて陽イオンが増加する地点も確認された。有機物による還元状態の発達があるとすると陽イオンのリーチングが起こっていると解釈でき、これを合理的に説明できる。実際、メタンと思われるガスの発生が観察される棚田もあった。

棚田群における浸透抑制には、締固めによる耕盤形成と、有機物類の目詰まりによる間隙の減

少の2種類があると考えられた。浸透抑制機能は両者に差は見られなかった。しかしながら、土壌栄養の観点から見ると、耕盤のない地点では栄養塩の溶脱が起きている可能性があることから、耕盤形成が必要であると考えられる。

### (3) 有機物由来のガスの発生が棚田耕盤の安定性に及ぼす影響

フィリピン・バナウェーでは耕盤形成ではなく有機物の目詰まりで湛水が維持されていると推測できる棚田があり、ガスの発生も疑われた。そこで本項目では有機物による浸透抑制とガスの発生が耕盤の安定性に及ぼす影響を検証した。

水田土壌を培養管に充填し、対照区はそのまま、他方は有機物を過酸化水素水で分解し、有機物含有量のみを変えて、30℃で培養した。すると、特に有機物が多かった土壌については土層が持ち上がり、乾燥密度が最大17%低下した。このとき培養管内では気泡が観察された。すなわち、湛水・還元状態の発達により土壌中でガスの一部が気泡として発生し土壌を持ち上げることで、乾燥密度が低下することが示された。また、メソスケールで行った円柱カラム実験では、土壌水分の変動が見られ、土壌のEhが低下するに伴い、気泡が発生し、それによって土壌水分が変動していることが明らかだった。気泡が発生しやすい状況が常時続けば耕盤として安定しない。これは有機物の有無によって明らかな違いがあった。このガスを測定した結果、二酸化炭素とメタンが検出され、その濃度と液体への溶存性から気泡の発生にはメタンが高く関わっていることが分かった。

耕盤形成不全でも湛水されていればそれに気づかない。しかし、有機物によるガスの発生で飽和体積の増加や土壌微細粒子の沈積の妨げが起これば、耕盤が安定に形成される過程に影響を及ぼす可能性がある。(3)より、有機物の目詰まりによる浸透抑制は栄養の溶脱が起これるため、地力維持の観点からも有機物の適切な管理による耕盤の形成が必要であると考えた。

### (4) 栄養学的考察と効果的管理の方法の提案

ここまでで、目に見えないところにある耕盤形成を適切に行うことが棚田の保全に重要であることがわかってきた。本項目では、このような状況にある農地では営農にどのような影響が出ているのかを明らかにするために、2019年8月～2020年2月にかけて、数回現地訪問を行い、土壌サンプリングを行うとともに、現地農家にインタビューを行い、土壌環境の改善を行うための営農や農地管理を提案した。

土壌サンプルは2019年9月から10月にかけて、イフガオ州のバガアンとバタッドで採取した。標高、農法、その他の地形要因を考慮するために、50m間隔の各標高からそれぞれ土壌を採取したのち、同じ標高グループであっても、地形や農法に特徴のある棚田からも土壌サンプルを採取した。そして、これらの要素が土壌の質に及ぼす影響を明らかにした。その結果、地形や営農が土壌の質に影響を与え、次のような課題が起きていることがわかった。一部の農地では土壌の酸性化が起きており、これが下層への陽イオン溶出を促進している可能性がある。また、有機物(OM)全窒素(TN)、可給態リン(AP)は標高が下がるにつれて増加しており、上流からの移動が見られた。これは日本の棚田と同じ現象である。また、棚田群の中腹にある村の直下にある棚田ではOMとAPが高くなる傾向が見られた。これは生活排水によるものと考えられた。また、TNと交換性カリウム(EK)は全体的に目標値よりも小さい値をとったことから、作物に必要な栄養を十分に供給できていない可能性が考えられた。また、農業に関わるアンケート、聞き取り調査も実施し、農家の土壌環境に対する意識が低いことも明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mori Yasushi, Sasaki Masaya, Morioka Eisei, Tsujimoto Kumiko	4. 巻 17
2. 論文標題 When do rice terraces become rice terraces?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paddy and Water Environment	6. 最初と最後の頁 323 ~ 330
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1007/s10333-019-00727-0">https://doi.org/10.1007/s10333-019-00727-0</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 檀真由香, 黒住知代, 森 也寸志, 宗村広昭
2. 発表標題 土壌有機物によるガスの発生が棚田の安定に及ぼす影響について
3. 学会等名 土壌物理学学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宗村 広昭, 森 也寸志, 黒住 知代, Milagros Ong How
2. 発表標題 コルディリエーラの棚田における水・物質動態のモデル化に向けた予備調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒住 知代, 森 也寸志, 宗村 広昭, Milagros How
2. 発表標題 フィリピン・コルディリエーラの棚田群の保全に関わる土壌環境因子の影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T Kurozumi, Y Mori, H Somura, M O How
2. 発表標題 Characterizing Soil Environment in The Rice Terraces of the Philippine Cordilleras
3. 学会等名 Japan Geoscience Union (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 也寸志, 佐々木仁哉, 辻本 久美子
2. 発表標題 棚田の保全と復興に関わる土壌環境の変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Mori, M. Sasaki, E. Morioka, K. Tsujimoto
2. 発表標題 WHEN DO RICE TERRACES BECOME RICE TERRACES?
3. 学会等名 International Society of Paddy and Water Environment Engineering (PAWEES) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 也寸志
2. 発表標題 フィリピン・コルディリエーラの 棚田群の現地調査から
3. 学会等名 かわさき市民アカデミー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森 也寸志
2. 発表標題 衛星データによる気候変動下の農業環境情報の取得とその利用
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y.Mori, K.Tsujimoto	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Universal Harvester	5. 総ページ数 256
3. 書名 A BANAUE STORY Restoring a World Heritage Treasure	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宗村 広昭  (SOMURA Hiroaki)  (90403443)	岡山大学・環境生命科学研究科・准教授   (15301)	
研究分担者	辻本 久美子  (TSUJIMOTO Kumiko)  (80557702)	岡山大学・環境生命科学研究科・助教   (15301)	
連携研究者	日高 健一郎  (HIDAKA Ken'ichirou)  (30144215)	大阪大学・国際公共政策研究科・教授   (14401)	