

令和 6 年 5 月 12 日現在

機関番号：30106
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2023
課題番号：19K06253
研究課題名（和文）標高帯モデルに基づく山地農業に対する気候変動の影響解明と計画的適応策の構築

研究課題名（英文）Investigation of Climate Change Adaptation in Mountain Agriculture Based on Altitudinal Model

研究代表者

山口 哲由（Yamaguchi, Takayoshi）

北星学園大学・経済学部・准教授

研究者番号：50447934

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、山地農業における気候変動の影響と経営変化の方向性を把握し、実践可能な気候変動への適応策を提案することを目的とした。インド北部のラダック連邦直轄領内に位置するD村落を調査地として、農業経営に関する聞き取り調査、圃場地図の作成、村落内での気象観測、歴史的な地籍資料の分析に取り組んだ。

D村落では、社会経済的な要因によって伝統的な土地利用は縮小して農業の集約化や商品作物の導入が進んでいた。より温暖な気候に適応した野菜や果物などの商品作物の導入が進んでおり、温暖化はこういった変化を後押しする傾向がみられ、山地農業を大きく変える一因となっていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動は特に山地に大して大きな影響を及ぼすことが予測されているが、山地農業は非常に脆弱な環境条件の下で営まれているため、気候変動が山地農業に及ぼす影響を明らかにすることは喫緊の課題である。また、本研究は山地農業の特性も踏まえ、標高によって異なる環境に着目した「標高帯モデル」による分析をおこなっており、地域の独自性を考慮した考察が可能になっている。さらには、気候変動の把握だけではなく、農業経営の聞き取り調査や歴史的な地籍図の分析までを含む分野横断的な研究を実施しており、多くの要素が関係する地域の状況をより詳細に描写できている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to elucidate the impact of climate change on mountain agriculture and to propose practical adaptation measures. The study site was D-village, located in the Union Territory of Ladakh, northern India. Regarding D-village, we prepared detailed maps of agricultural fields, conducted interviews with farmers on agricultural management, made meteorological observations at different altitudinal locations, and analyzed historical cadastral data.

In D-village, socioeconomic factors have led to a reduction in traditional land use and the intensification of agriculture. Farmers are introducing commodity crops such as vegetables and fruits, which are adapted to a warmer climate, hence, global warming has encouraged these changes. Global warming might have been an essential factor in the current changes in mountain agriculture.

研究分野：農業地理学

キーワード：山地農業 標高帯モデル 気候変動 地籍図 画像分析 ラダック インド

1. 研究開始当初の背景

山地は社会のなかで周縁部に位置しているために経済的な開発は遅れており、現在でも農業を主な生業としながら暮らしている人びとも多い。さらに山地の地形は平坦地に乏しく、不安定な気象が災害を引き起こすことも少なくない。人びとは、山地の不安定な状況のなかで持続的な生存基盤を築くために様々な工夫を凝らしながら生活してきた。現在の山地は、気候変動の影響が顕著になりつつあり、農業部門においても温暖化に伴う高温障害のために作物の転換を余儀なくされている事例や、降水量の減少に伴う旱魃被害が頻発する事例が報告されている。

UNDP が掲げる持続可能な開発目標 (SDGs) では、気候変動に対する具体的な対策の必要性が挙げられているが、近年は気候変動の進行を抑制する「緩和策」より、変化に対応するための「適応策」に重点が置かれるようになってきている。この適応策には、政府などが取り組む計画的適応 (Planned adaptation) と、個別のアクターによる自主的適応 (Autonomous adaptation) がある。計画的適応は、広域的な気候変動の影響を鑑みたうえで自主的適応を促し、地域全体の社会・経済的損失を最小にすべく計画される。地域単位での農業システムを理解するとともに、すでに地域で進められている自主的な適応策を把握することができれば、地域農業に対する影響を効率的に緩和できる計画的適応策の策定も可能になると考えられる。

2. 研究の目的

先行研究では、山地の特徴として標高に応じて変化する温度環境が挙げられている。こういった気温変化によって標高帯ごとに異なる自然環境が形成され、人びとが栽培する作物や飼養する家畜も異なる。山地の人々は、複数の標高帯で多様な農業を営みながら、それらの生産活動を複合させることで厳しい環境下における農業生産の安定化を図ってきたとされる。

例えば、「高標高帯では家畜飼養を、低標高帯では穀物栽培をおこない、高標高帯の家畜糞尿を低標高帯での穀物栽培の肥料として利用し、逆に穀物残渣は飼料として家畜飼養で活用する農業形態」(右図) などである。このような分析視点は「標高帯モデル」と呼ばれ、山地の農業や土地利用を理解するうえでの基礎をなしてきた。

標高帯モデルに基づけば、山地において温暖化等が進行した場合、その影響は標高帯ごとに異なるはずであり、作物の転換などに関しても標高帯ごとに異なるシナリオが想定される。加えて山地農業では、各標高帯が肥料や飼料、労働力などの移動を通じて相互に結びついているので、一つの標高帯における農業形態の変化は他の標高帯の農業形態にも影響を及ぼす場合もあると考えられる。しかし、山地農業に関して、標高帯モデルを用いて気候変動の影響や人々の適応を報告した研究は極めて限られる。そこで本研究では「標高に応じて多様な農業が実践され、それらが相互に結びつく山地農業において、気候変動が実際にどのような影響を与え、人々はそれらにどのように対応しているのか？」を明らかにすることを目的とする。

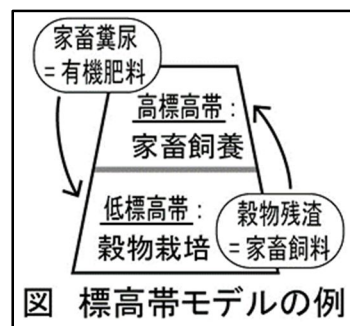


図 標高帯モデルの例

3. 研究の方法

本研究では、インド北部に位置するラダック連邦直轄領 (右図) の山地農業を対象とした。ラダックはトランス・ヒマラヤの一部に含まれ、ほぼ全域が標高 2500m 以上に位置する。全球気候モデルに基づく気候変動分析では、気温上昇とともに降雪量の減少が予測されている。ラダック中央部にはインダス川が流れており、村落の多くはインダス川の支流沿いに点在しているため、細長い集落の標高差は 500m 以上に及ぶことも少なくない。重点的な調査をおこなったのはラダック西部に位置する D 村落である。D 村落もインダス川支流に沿って分布しており、集落は、インダス川本流と支流の合流地点である標高 3000m 付近から標高 4000m 付近までに渡って 1000m に及ぶ標高差で分布しており、長さは 10km 以上に及ぶ。予備調査では、かつて、D 村落の各世帯は複数の標高帯に跨る飛び地的な農耕地を所有しており、それらを活用した標高帯モデルに沿った農業をおこなっていたとされるが、調査を開始した 2008 年にはそういった農業形態はほとんどみられず、詳細は不明な部分が多かった。

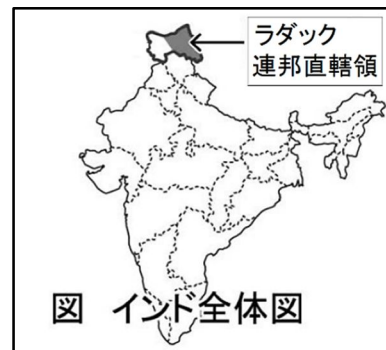


図 インド全体図

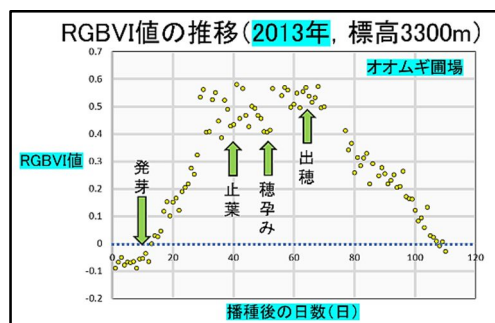
本研究では、山地における標高帯ごとの温度環境と農業との関係性を分析する基礎データとして (A) まず気温測定によって標高差が作り出す温度環境の違いを明らかにすることを旨とした。

D 村落の標高 3000m, 3300m, 3700m, 4000m の 4 地点において、オオムギ圃場に向けて自動カメラ (Garden Watch Cam) を 2013 年より設置して、毎日 4 時間ごとの撮影を継続しておこなってきた。これらの JPG 画像を用いて植生を分析する場合、衛星画像などから植生の活性を測る時には NDVI と呼ばれる指標が用いられるが、NDVI の推定には近赤外画像が必要なため、Garden Watch Cam で撮影される JPG 画像では使えない。そこで近赤外画像を用いずに植生の活性を推定できる RGBVI を用いてオオムギの出芽や登熟を把握した。自動カメラを設置した 4 地点には自動温度計 (RTR-53A) も設置し、毎日 1 時間ごとの気温測定を継続しており、これらの気温データは積算気温などの算出に用いた。

(B) D 村落でかつて見られた伝統的な標高帯モデルに沿った土地利用は数十年前に衰退しており、過去の土地利用を把握する資料に欠いていた。そこでイギリス統治期の 1908 年に作成されたジャマバンディ (Jamabandi) という納税台帳と、ムサビー (Mussavie) という地籍地図を入手した。納税台帳には、当時の D 村落に所属していた 69 世帯の土地所有状況や地目が記載されていた。地籍地図は、当時のイギリスの技術によって D 村落全体の圃場や家屋、水路などの分布を精緻に描いたものであり、納税台帳に記された各世帯の圃場番号は地籍地図のものと同じであった。これらの地籍資料を分析することで、過去の D 村落における農業形態を再構成し、現在の農業経営と比較することで、農業変化の把握を目指した。

4. 研究成果

(A) に関して、右図では 2013 年に得たデータの分析をおこなって RGBVI 値の推移を示したものであり、オオムギの止葉期・穂孕み期・出穂期といった生育ステージを把握することができた。また、右表では標高に基づいてオオムギの播種時の気温と積算温度を示したものであるが、オオムギの栽培期間は積算温度に基づいて調整される傾向が見られた。一方で、もっと標高が高い計測地点では明らかに収穫までの積算温度が異なっており、特に高い標高の寒冷な環境に対応したオオムギ品種が導入されている可能性が考えられた。



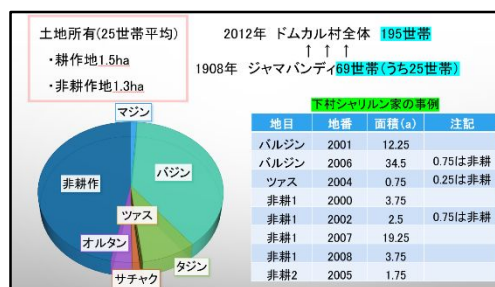
オオムギの生育と積算温度

【同じ作物は積算温度がほぼ等しい】

	播種時気温 (前5日)	播種-収穫日数	積算温度
3地点 11データ	標高3000-3700m 平均6.6°C	114日 (100-126)	1684°C日 (1551-1759)
	変動係数(CV)	0.071	0.045
1地点 3データ	標高4000m 平均1.4°C	127日 (124-131)	1283°C日 (1261-1306)

(B) に関しては、資料に記載された地目には、耕作地としてマジン (一等地)・バジン (二等地)・タジン (三等地) がある他、地力が低く連作できない耕作地であるサチャク、家屋に付随する家庭菜園のツァス、ムラサキマゴヤシを植えられた牧草地オルタンの 6 種類がみられた。この他、一時的な非耕作地と永続的な非耕作地という地目もあり、さらに一時的な非耕作地には林地と採草地も含んでいた。

この地目の区分に基づいて、69 世帯の所有地の利用状況を分析したところ、世帯が所有する土地は耕作地と非耕作地で半々に分かれており、耕作地としては二等地であるバジンが大部分を占めていた (右図)。所有地の地理的分布に関しては、標高差が大きな飛び地的な所有をおこなっていた世帯がおよそ 3 割ほどであった。山地農業では、標高差が異なる耕作地を利用することで異なる作物の栽培や作期の分散がおこなわれていたとされるが、そういった実践をおこなう世帯は限られていた。



これら (A)(B) の資料に基づくと、インダス川支流に沿って分布する D 村落の集落では、明確に標高によってオオムギの播種の時期や収穫までの期間は異なっており、イギリス統治期の D 村落では、5km 以上離れた異なる標高帯に農耕地を所有している世帯もみられ、標高帯モデルに沿った土地利用がおこなわれていた。こういった過去の状況を踏まえながら、現在の D 村落の状況を比較すると、社会経済的な要因によって伝統的な土地利用は縮小して農業の集約化や商品作物の導入が進んでいた。かつては D 村落全体で栽培されていたオオムギであるが、近年は暑熱によって標高が低い集落では高温障害が確認されるようになっており、オオムギよりも温暖な気候に適応した野菜 (トマト・ニンジンなど) や果物 (アズ) などの商品作物の導入は、温暖化への適応も含んでいると考えられた。このように山地農業は社会経済的要因と気候変動に関連する要因が作用しながら変化しており、本研究はそういった考察をおこなううえで重要な基礎資料を提示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山口哲由, 竹田晋也
2. 発表標題 山地農業における気温と作物栽培の関係 標高帯モデルを考慮した基礎的分析
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口哲由
2. 発表標題 採用過程における農業技術の変容と技術効果の関係
3. 学会等名 日本熱帯農業学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口哲由
2. 発表標題 節水型稲作灌漑技術AWDの普及過程における技術変容
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口哲由
2. 発表標題 ベトナム・メコンデルタにおける節水型稲作灌漑技術の普及状況に関する空間自己相関分析
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星 泉, 岩田 啓介, 平田 昌弘, 別所 裕介, 山口 哲由, 海老原 志穂
2. 発表標題 失われゆく牧畜文化を活写するための「フィールド・アーカイビング」: 『チベット牧畜文化辞典』編纂の経験から
3. 学会等名 デジタルアーカイブ学会誌
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星 泉, 岩田 啓介, 平田 昌弘, 別所 裕介, 山口 哲由, 海老原 志穂
2. 発表標題 チベット・ヒマラヤ牧畜農耕資源データベースの構築 フィールドデータと文献データをつなぐ
3. 学会等名 デジタルアーカイブ学会誌
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口 哲由, 月原 敏博
2. 発表標題 イギリス統治期の地籍資料を用いたインド北西部の山地土地利用分析
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Takayoshi Yamaguchi, Luu Minh Tuan	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Routledge	5. 総ページ数 260
3. 書名 'Dissemination of a water-saving irrigation technique for sustainable rice farming in the Mekong River basin' in "From Mekong Commons to Mekong Community"	

1. 著者名 星泉・海老原志穂・南太加・別所裕介・岩田啓介・山口哲由・平田昌弘	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京外国語大学	5. 総ページ数 450
3. 書名 チベット牧畜文化辞典（チベット語・日本語）	

〔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	熊谷 瑞恵 (Kumagai Mizue)	京都大学・東南アジア地域研究研究所・連携研究員	
	(80625830)	(14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------