

バングラデシュ沿岸地域の土壌塩類化と不安定な 土地所有が冬季ダイズ生産に及ぼす影響

京都大学大学院 農学研究科

藤井 佳祐

バングラデシュ南東部に広がるグレート・ノアカーリは、メグナ川上流から運ばれた堆積物によって形成された、世界最大のデルタの先端部に位置する。そこは、世界でも類例の少ない、継続的に土地が拡大を続ける地域である。自作地をもたない農民にとっては、開墾の機会が残された「最後のフロンティア」である。しかし、サイクロンと塩害に毎年見舞われる厳しい自然環境が農業を困難にしている。

ダイズはグレート・ノアカーリにおける代表的な冬の換金作物である (Fig. 1)。国内で生産されるダイズの90%以上がこの地域で栽培されている (BBS, 2023)。播種期は12月から1月、収穫期は4月から5月とされるが、この期間は降水量が極めて少なく、土壌の乾燥が進行する。土壌が乾燥すると、蒸発が増え、塩分が表層に集積する。冬季に進行する土壌の塩類化は、この地域でのダイズ栽培を困難にする要因の一つである。

一方で、地域の社会的・制度的条件もダイズ栽培を困難にする要因になりうる。バングラデシュでは、多くの農民が小作地の利用に依存して農業をおこなっている。小作地では、収益の分配に加えて土地利用権の不確実性があり、長期的な投資や安定的な営農を阻む要因となる (FAO, 2002)。土地所有の安定性は、作物選択や資源投入の意欲に影響する。地域の自然条件とそこで営まれる営農実態を包括的に理解することは、ダイズ栽培の発展に資する適正技術を開発するために必要である。しかし、現場の自然環境と社会条件の影響を受けてどのようにダイズの単収が変動するかは十分にわかっていない。

本研究では、バングラデシュ沿岸地域における自然環境と社会条件がどのようにダイズの単収を変動させるかを明らかにする。そのために、土壌の塩類化、降雨の年次差、

小作・自作といった土地所有形態の違いがダイズの単収に及ぼす影響を調査した。

【調査方法】

参与観察とインタビュー

2024年12月10日から2025年6月29日の間、バングラデシュのロキプル県ラムグティ郡のチョーアルギユニオンとチョーロミズユニオンの境に位置するベパリパラ集落を対象に調査を行った (Fig. 1)。農民が実践するダイズ栽培の参与観察をおこなった。事前にランダムに選んだ42のダイズ圃場について、詳細な栽培管理の方法を農民から聞き取りした。

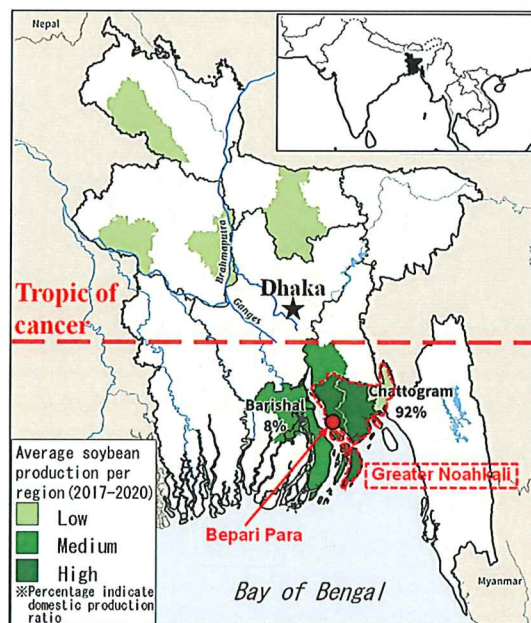


Fig.1 Location of Bepari Para within the Soybean-Intensive Region of Greater Noakhali, Bengal Bay Coastal Area. (Source: USDA, modified by author)

降水量の算出

ダイズ栽培期間中の降雨パターンを把握し、塩類の洗脱や農作業への影響を評価するために、ラムグティ郡における時間降雨データを取得・分析した。JAXA (宇宙航空研究開発機構) が提供する Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) からデータを取得した。

2023-2024 年および 2024-2025 年の 2 期間における、12 月 15 日から 6 月 10 日までの降雨データを取得した。データの対象地域はバングラデシュ・ロキプル県・ラムグティ郡に設定した。

土壌 ECe の測定

塩濃度の経時変化を把握するため、各月の中旬（11～15 日）および下旬（26～30 日）に、調査対象の 42 圃場から土壌を採取した。サンプリングは、地表の落葉等を取り除いたのち、地面表面から 15 cm の深さで実施した。15cm とした理由は、ダイズの根域がおおむね表層 15 cm 以内に集中しており、生育に及ぼす塩の影響を理解するのに適切だと考えたからである。採取後の土壌は 2～3 日間天日乾燥し、乾物重が一定になるまで乾燥させた。乾燥させた土壌は団粒上であったため、スプーンの裏で粉々にした。これを蒸留水と 1:5 の比で混合した。混合溶液を 240 rpm で 1 時間攪拌した。その溶液を防水小型 EC メータ（LAQUAtwin-EC-33B、堀場製作所）で測定した。EC_{1:5} を国際的な標準指標である土壌飽和ペースト抽出液の電気伝導率（ECe）にするため、ECe = 6.4 × EC_{1:5}（Vogel., 1994）を換算式に用いた。

【調査結果及び考察】

べパリパラ集落の概要と塩害条件

べパリパラ集落は、塩害の影響が強いチョーアルギと、弱いチョーロミズの 2 つのユニオンにまたがる境界部に位置する。各ユニオンの特徴を Table 1 に示した。住民の証言によれば、本集落の周辺には、かつて大規模な流路をもつブルア川が存在した。この河川は約 100 年前に自然に干上がり、その河川跡が農地として利用されるようになったという。農耕の開始時期はチョーロミズが約 80 年前、チョーアルギが約 45 年前と集落の住民は答えた。両ユニオンの間では、土壌の塩類化に顕著な差異が存在していた。農民はチョーアルギを低肥沃地と認識しており、米の栽培に多くの尿素肥料を多用することが聞き取りから分かった。チョーアルギはチョーロミズよりも低地に位置し、豪雨が降るとあふれた水はチョーアルギに流れ込む。ベンガル湾から高い塩濃度を含む水が流れ込むこともある。

不安定な土地所有形態

耕作地には土地所有形態の異なる 4 つの土地利用形態—ボロガ、ノゴッド、レン、ニジェル—の 4 つの土地所有形態があることが分かった（Table 2）。ボロガは、前金の支払いが不要の代わりに収穫物を分配するルールがある。経済的に余裕のない農民でも耕作を開始できる点で利用のハードルが低い。一方で、土地所有者の裁量に大き

Table 1 Differences in Agricultural Onset, Fertilizer Management and Land-Water Relations between Char Algi and Char Ramiz.

Category	Char Algi (High saline)	Char Ramiz (Low saline)
Onset of agriculture	Former Bhulua River bed emerged later; farming began 45~ years ago.	Former Bhulua River bed vanished earlier than Char Algi; farming began 70–80~ years ago.
Farmer's fertilizer management	•Low fertility and high salinity. •Farmers apply urea 3–4 times for rainy season cultivation because of the low growth. •Most of the agricultural land is covered by Boroga Farmer gives up using organic manure.	•Fertile soil with low salinity. •Farmer apply urea 1-2 times for Aman rice because of preventing lodging •Low salinity and fertile soil. Farmers prefer organic manure such like cow dung.
Land–water relationship	Originally lowland, the area transitioned into highland due to sediment deposition during flood events.	Its current higher elevation causes rainwater to flow toward Char Algi.

Table 2 Comparison of Four Different Land Tenure Types in terms of Ownership, Contract Conditions and Tenure Security

Category	Boroga	Nogod	Ren	Nizer
Ownership	No	No	No	Yes
Contract Term	One-year term; extension possible.	One-year term; extension possible.	Limitless, yet farmers typically return the land within 4–5 years.	Permanent
Payment for Utilization (Taka/160 decimal)	No	30,000 (Char Algi) 40,000 (Char Ramiz)	400,000 (Char Algi) 600,000 (Char Ramiz)	None
Crop Sharing	Aman rice – 50% Rabi crops – 33% (Except for Boro rice, which is paid for in cash.)	No	No	No
Land Tenure Risk	High risk: Owner-dependent	Moderate risk: Renewal is uncertain	Low risk: Few competing farmers	No risk
Notes/Remarks	- No contract fee is needed, but insecure tenure and owner discretion limit long-term use and farmer's initiative. - The majority of farmers rely on Boroga.	- Even if the crop fails, no refund is given. - User avoid long-term practices such like using organic matter due to possible loss of land access or price increase.	- Landowner refunds payment when land is returned. - Users granted lifetime rights. - In practice, usage often limited to 4 or 5 years.	By leasing the land to other farmers, landowners can earn income without working.

く依存し、契約更新の保証がないことから、利用権の安定性は極めて低い。ボロガによる耕作は、とくにチョーアルギに多く見られた（データ示さず）。土地を所有しない農民が、高い塩濃度や不安定な契約条件での営農を余儀なくされていた。

ノゴッドおよびレンは、契約時に利用料の支払いを要する土地利用形態であり、いずれも比較的経済的に余裕のある農民によって選択される傾向がある。ノゴッドでは前金が必要なため、農民は出費を回収しようと意欲的な者が多い。土地所有の期間は1年であるため、牛糞堆肥を用いた土壌改良に取り組んだものの、契約の継続が出来ずに土地を失うリスクがある。将来的な契約料の増加を懸念して、意図的に土壌改良を控える例もあった。レンは、高額の前金を支払うことで土地の長期使用が可能となる。ルール上は無期限で土地の使用権を得るが、多くの農民は4～5年程度で返還する。返還時には前金の一部が償還されるため、実質的な損失はない。返金が約束されている点でノゴッドよりも安定した土地所有形態である。

ニジェルは自作地に該当し、他者の一存で土地を失うリスクはない。

降雨の年次差

2023–2024年と2024–2025年の降水量を比較すると、降雨の開始時期に明確な違いがみられた（Fig. 2）。2023–2024年には3月19–21日にかけて、20mm/日程度の降水が確認された。一方、2024–2025年では12月20日以降、長期間にわたって降雨がなく、4月14日になってようやく降雨が始まった。この15日の降雨の遅延は、生育初期にあるダイズの塩ストレスを助長したと考えられる、2024–2025のダイズは不作だった（詳細は後述）。

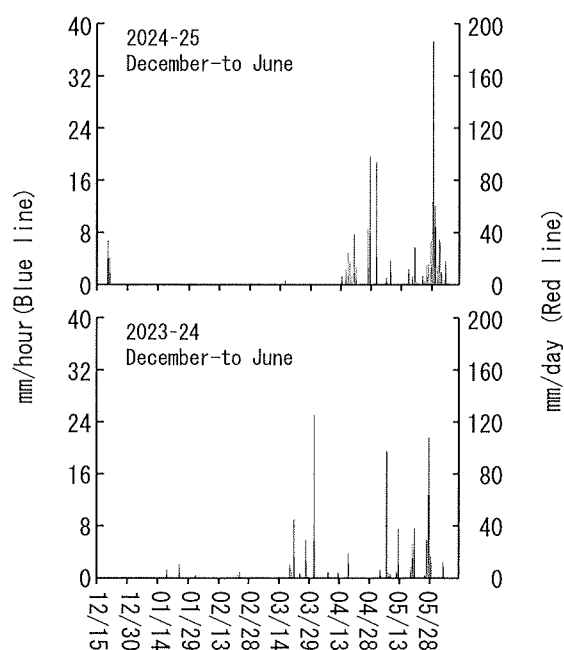


Fig. 2 Rainfall trends from December to June in Rangati Upazila during the 2023–2024 and 2024–2025 seasons.

土壌塩濃度の地域間差と経時的変化

土壌塩類化の上昇幅はチョーアルギとチョーロミズの上に顕著な違いがあった (Fig. 3). 両地域とも, 1 月下旬の ECe は低い値を示した. 一筆の圃場の中でダイズが生育できる場所 (以下: 生育地と記載) と生育できない場所 (以下: 非生育地と記載) にはっきりとわかれていた. チョーアルギでは, とくに塩による発芽不良によって収穫がゼロになる圃場もあった. チョーアルギでは, 1 月下旬の非生育地で塩濃度は 7.5 dS/m を示した. Soil Research Development Institute (SRDI) の分類では「Strong」に近い塩性土壌である. 一方, 生育地においては, 1 月下旬の ECe は 3.5 dS/m, 2 月中旬に 2.5 dS/m と低かった. 1 月下旬に 2 月中旬よりも高い塩濃度を記録したのは, 播種直後で発芽が未揃いであったために, 生育地・非生育地の判別が難しく, 農民への聞き取りに基づいて圃場から採取した影響と思われる.

チョーアルギでは, 1 月下旬から 3 月下旬まで継続して塩濃度は上昇した. 最大値に達したのは 3 月下旬であり, 生育地で 5.4 dS/m, 非生育地で 14.3 dS/m を記録した. Maas and Hoffman (1977) によれば, ダイズは ECe が 5.0 dS/m を超えると単収の低下が始まり, 1 dS/m の増加ごとに 20% の収量減が生じる. この基準に照らすと, 3 月下旬の生育地において, ダイズは塩ストレスを受けていたと考えられる. 4 月中旬に塩濃度は減少し, それぞれ 2.2 dS/m と 10.8 dS/m を記録した. この塩濃度の減少は 4 月 14 日の 2mm/日の降雨によるものと思われた.

チョーロミズでは, 塩濃度が最大値に達した時期はダイズ生育地と非生育地で異なった. 非生育地では, 3 月下旬に最大値に達し, 6.4 dS/m を記録した. 一方で, 生育地では 4 月中旬にようやく最大値に達し,

3.1 dS/m を記録した. 生育地では生育期間全体を通して 5.0 dS/m を下回っており, チョーアルギよりも良好な環境だった. 非生育地においても 1 月下旬から 3 月下旬の塩濃度はチョーアルギの半分程度あり, 塩類化の進行と上昇幅には明確な地域間差があった.

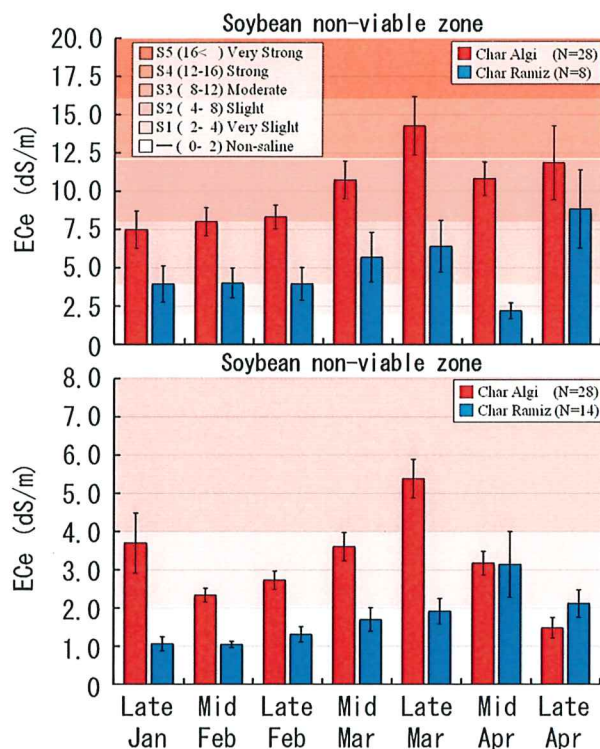


Fig. 3 Biweekly changes in soil ECe from late January to late April in 42 soybean fields (28 in Char Algi and 14 in Char Ramiz), classified by the viable or non-viable of soybean growth at each zone.

農民の栽培管理

12 月上旬から段階的に耕耘が始まった (Fig. 4). 耕耘回数は 3 回に分けて実施された. チョーアルギでは, チョーロミズに比べて 10 日ほどの耕耘の遅れがあった. 1 回目の耕耘は両地域とも 12 月上旬に開始されたが, 半数の圃場が作業を完了させた日はチョーアルギが 1 月上旬, チョーロミズが 12 月下旬だった. 基肥は 2 回目の耕耘の直におこなわれた. それは, 耕耘により基肥と土を攪拌する意図によるものだった. 基肥をしない圃場もみられ, チョーアルギとチョーロミズでそれぞれ 2 圃場確認

			December			January			February			March			April			May		
			1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31
Char Algi	Tillage	First Time	1/28	3/28	8/28	20/28	27/28	28/28												
		Basal Fertilizer			2/28	12/28	20/28	26/28												
		Second Time		1/28	3/28	14/28	24/28	28/28												
		Sowing			2/28	8/28	20/28	26/28	28/28											
		Third Time			2/28	8/28	20/28	26/28	28/28											
	Herbicide				1/28	7/28	16/28	22/28	24/28											
		Supplement Fertilizer						1/28	1/28	8/28	13/28	14/28								
	Weeding							1/28	1/28	13/28	24/28	26/28	26/28	27/28						
										(1/28)										
	Pesticide										18/28	25/28	27/28	28/28						
											(1/28)	(4/28)								
	Hormone										13/28	17/28								
											(1/28)									
	Harvest														1/28	3/28	24/28	28/28		
		Threshing														1/28	2/28	16/28	27/28	28/28
Char Ramiz	Tillage	First Time	1/14	7/14	7/14	12/14	14/14													
		Basal Fertilizer		1/14	5/14	7/14	9/14	12/14												
		Second Time		1/14	7/14	10/14	13/14	14/14												
		Sowing		1/14	3/14	6/14	10/14	14/14												
		Third Time		1/14	4/14	7/14	11/14	14/14												
	Herbicide				1/14	4/14	7/14	11/14	13/14											
		Supplement Fertilizer						1/14	2/14	6/14	7/14									
	Weeding						1/14	2/14	3/14	10/14	13/14									
										(1/14)										
	Pesticide										2/14	10/14	12/14	13/14	14/14					
													(1/14)							
	Hormone										2/14	6/14	6/14	6/14	7/14					
	Harvest														5/14	14/14				
		Threshing													2/14	9/14	14/14			

(1) Repeated treatments (in parentheses) were done by some farmers after several days. (2) Manual sowing is done either by broadcasting before the third tillage or by line sowing after it. (3) Weeding and harvest spanned multiple days, but only the start date is shown in the figure.

Fig. 4 Timeline of soybean cultivation activities in 42 plots (28 in Char Algi and 14 in Char Ramiz) during the 2024-2025 winter season, showing the number of plots completing each operation by date.

された。播種方法には、手作業による散播と条播の2種類があった。ほとんどの農民は費用負担の軽さと作業の迅速さを理由に、散播する方法を選択していた。散播する播種は、3回目の耕耘の直前におこなわれ、その後の耕耘によって種子は覆土された。チャーアルギの播種作業の遅れについては、前作の米の収穫時期が遅れたことに加え、播種に適した乾き具合になるまで土壌の状態を待っていたという農民の声が聞かれた。

1月初旬—3月上旬にかけて追肥は実施され、とくに2月中旬—下旬に集中した。ただし、追肥をおこなった農民は全体の半数にとどまった。追肥で用いられる尿素が土壌の塩類化を引き起こすと考えられる農民が一定数おり、使用を控えたからだと思われる。追肥の後には人力での除草（現地語でニラニ）がおこなわれた。ニラニと呼ばれる小型の鋤状農具を用いて雑草を根から掘り返す。この作業により追肥と土がよく混

ざる。ニラニの後に降雨があれば、追肥の効果が高まるらしい。ほとんどの農民は除草剤とニラニの両方で雑草を管理していた。

殺虫剤とホルモン剤は3月上旬から中旬にかけて、同時期に施用された。チャーアルギで3月上旬、チャーロミズでは3月中旬に集中した。これらはバケツ内で混合されたのち、背負式噴霧器を用いて散布された。両地域すべての圃場で殺虫剤が使用されたが、ホルモン剤の使用は全体の半数程度にとどまった。収穫の期間は4月上旬から5月下旬まで2カ月に及び、とくに5月上旬—中旬に集中した。チャーアルギでは、4月上旬から収穫を始める農民もあった。4月15日のカールボイシャキ（バングラデシュの新年）以降は突発的な降雨が多発する。収穫期にダイズが水に濡れると発芽や腐敗により商品価値がなくなる。農民は晴天の合間を見て、ある程度成熟した個体から順に収穫していた。

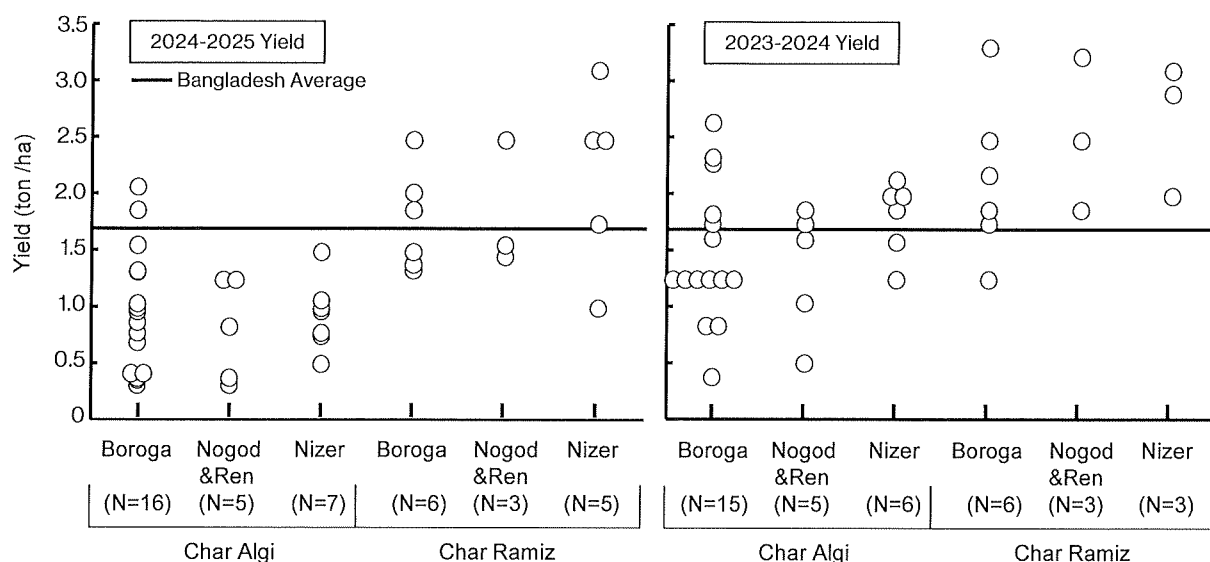


Fig. 5 Soybean Yield Variation by Land Tenure Type and Location across Two Consecutive Years in Char Algi and Char Ramiz

ダイズの単収

2023-2024 の降雨の年次差、塩濃度の異なるチョーアルギとチョーロミズ、および異なる土地所有形態の3つの要因に着目し、それらの要因とダイズの単収の関係を Fig. 5 に示した。土壌の塩類化がダイズの単収に及ぼす影響をチョーアルギとチョーロミズの単収の差を比較して評価した。チョーアルギでは平均単収 1.12 t/ha (図示せず)、チョーロミズでは 1.81 t/ha (図示せず)であった。その減少は 39% ($1.12/1.81 \approx 0.61$) であり、塩類化の地域間差は単収を低下させる大きな制約であった。

次に、降雨の不確実性が各地域の単収に及ぼす影響を検討した。2024-2025 年のダイズ栽培は 2023-2024 年と比べ 15 日の降雨の遅れがあった。塩濃度の高いチョーアルギでは、2023-2024 年の平均単収 1.51 t/ha (図示せず) が 2024-2025 年に 0.92 t/ha (図示せず) まで低下し、39% ($0.92/1.51 \approx 0.61$) 減った。一方、チョーロミズでは、平均単収はそれぞれ 2.35 t/ha と 1.91 t/ha (いずれも図示せず) であり、19% ($1.91/2.35 \approx 0.81$) の減少にとどまった。降雨の時期が遅れた場合に

は、塩類化が進行した農地で単収の低下がより一層顕著になることが示唆された。

一方で、土地所有形態の違いに着目すると、塩や降雨ほど支配的な影響はなかったが、最も不安定な土地所有形態のボロガでは単収は低くなる傾向が読み取れた。一方で、個々の圃場間で単収の大きなばらつきがあり、興味深いことにボロガの方が他の土地所有形態よりも高い単収を得ていた。2024-2025 年のチョーアルギのボロガ圃場において、16 圃場のうち、5 圃場がノゴッド・レンの最大単収を、3 圃場がニジェルの最大の単収を超えた。2023-2024 年においては、チョーアルギとチョーロミズにおいて、最高単収を記録した圃場の土地所有形態はいずれもボロガだった。ボロガで高収量を記録した背景には、収量に基づく地主との関係性があると考えられる。ボロガで分配される収量が期待水準を下回ると、地主からの信頼や評価が損なわれる懸念がある。一部の小作農には、高収量を維持することで圃場の継続利用を確保しようとする意識が働いていた可能性がある。地主との関係維持を意識し、高収量を目指す動機づけが働いたと考えられる。

【要約】

バングラデシュ沿岸地域におけるダイズ栽培の適正技術を開発することを目的とし、土壌の塩濃度、降雨の年次変動、土地所有の制約がダイズの単収に及ぼす影響を調査した。バングラデシュ沿岸部に位置する塩害の程度が異なるチョーアルギとチョーロミズで構成されるベパリパラ集落を調査の対象とした。その結果、地域ごとに年次間の単収の減少率を比較したところ、降雨が15日遅かった2024-2025年には、チョーアルギで約40%、チョーロミズで約20%の単収低下がみられた。降雨の遅延と塩類化の相互作用により地域におけるダイズの単収への影響を定量的に示すことができた。土地所有形態が単収に及ぼす影響については、圃場間のばらつきを伴いながらも一定の傾向が示唆された。最も不安定なボロガでは単収が低下する傾向があった。ボロガでは、農地の所有権が不安定なため、多くの農民が牛糞堆肥などの土壌改良資材の投入を控えていた。一方で、一部のボロガ圃場は他の土地形態よりも高収量を記録した。この背景には、地主との関係維持の観点から収量が重要視され、小作農が継続的な圃場利用を確保するために高収量を達成しようとする動機付けが働いた可能性がある。

【謝辞】

本研究を実施するにあたり、研究助成を賜りました公益財団法人タカノ農芸化学研究財団に厚くお礼申し上げます。また、調査助手として協力してくれた Md. Nahid Hossen 氏には、調査活動全般にわたる支援に加え、ご家族ともに温かく受け入れていただいたことに心から感謝申し上げます。

【文献】

Bangladesh Bureau of Statistics (BBS),
2023. Yearbook of Agricultural

Statistics – 2022 (34th Series).
Statistics and Informatics Division
(SID), Ministry of Planning,
Government of the People's
Republic of Bangladesh. Dhaka,
Bangladesh. 664 pp.

Food and Agriculture Organization of
the United Nations (FAO), 2002.
Land tenure and rural development
(FAO Land Tenure Studies No. 3).
Rome, Italy. 50 pp.

Maas, E. V., and Hoffman, G. J. 1977.
Crop salt tolerance-current
assessment. J. Irrig. Drain. Eng.
103: 115-134.

Soil Resources Development Institute
(SRDI) 2010. Saline Soils of
Bangladesh; SRDI, Ministry of
Agriculture. Dhaka, Bangladesh. 55
pp.

Vogel, A. W. 1994. Compatibility of soil
analytical data: Determinations of
cation exchange capacity, organic
carbon, soil reaction, bulk density,
and volume percent of water at
selected pF values by different
methods. International Soil
Reference and Information Centre
(ISRIC): Wageningen, Netherlands.
37pp.