

第3章 ガーナ

—コメ経済の動向と農業政策—

小倉 達也

1. はじめに

西アフリカ諸国においては、イモ類やトウモロコシなど多様な穀物が主食として食べられている。したがって、従来はイモ類やトウモロコシを含めて多様な食料消費の動向を把握することが重要であった。しかし、近年西アフリカ諸国においてコメの消費量が急速に増加しており、コメの経済における動向を把握することが重要となってきた。その中でも、特にガーナ共和国においてコメの消費量の増加は著しい傾向を見せている。したがって、本稿ではガーナ共和国を対象を絞り、コメの需給動向と、コメ生産と食料安全保障の関係性を検討する。

まず第2節において、コメの需給動向をマクロデータより検証する。次に第3節において、ガーナ共和国における農業政策の動向を分析する。さらに、第4節において、独自に収集したデータを基に、稲作生産と食料安全保障との関係性について検討を行う。最後に第5節においてまとめを行う。

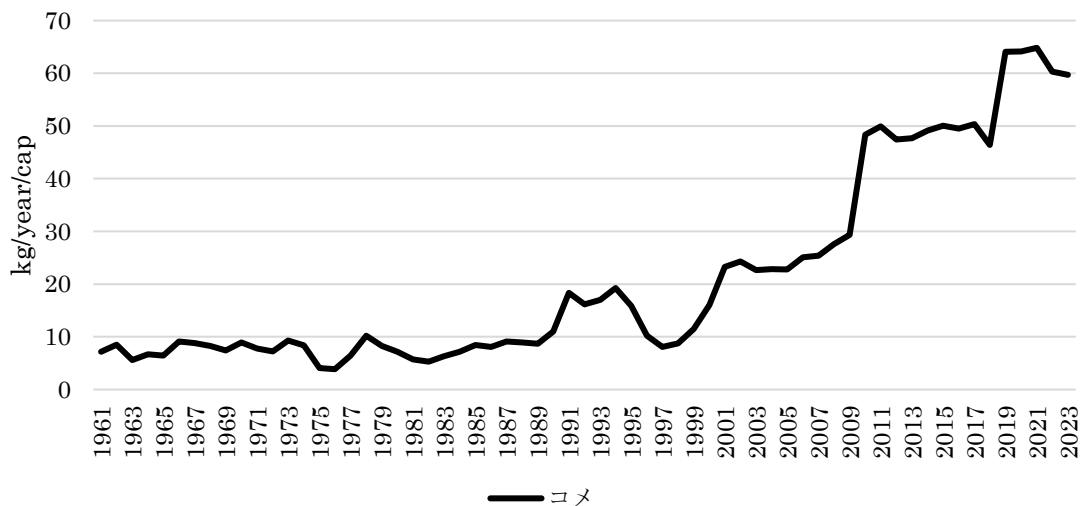
2. コメの需給動向

本節では、コメの需給動向に関して検証を行う。まず、コメの需要構造の分析を行う。ガーナ共和国においては、コメはトウモロコシに次ぐ主要な穀物として消費されている。食べ方としては、日本のように白米をおかずと一緒に食べるスタイルではなく、フライドライスやジョロフライスといった煮込みご飯にして食べる傾向にある。コメは農村部においても主食として食べられているが、都市人口の増加に伴い、都市部での消費が増加している傾向にある。食べられているコメは日本で食されているジャポニカ米ではなく、タイやベトナムで生産されているような長粒種で香りがついているインディカ米が主である。コメの消費の増加傾向の要因としては、様々な原因が検討されているが、主な要因としては、トウモロコシやイモ類の練り粉を使った食事よりもコメの食事の方が調理の簡便性があるために、主に都市部の消費者にとって好まれる傾向があると言われている。コメの産出先に関しては、国産米も流通しているが、特に都市部においては輸入米が好まれて消費されており、輸入米が主な供給元となっている。コメの国際貿易市場においては、インド産米が安価なコメとして一番多く流通しているが、ガーナ共和国においては、輸入米は主にタイやベトナムから来たものが好まれて食されている。タイ産とベトナム産を比べると、

タイ産の方が若干価格も高く、食味が良いものとして扱われている。また、インド産米も流通が行われているが、インド産米はタイ産よりも更に価格が高いバスマティ米が流通している。国産米は輸入米と比べると品質が若干劣る。特に割れ米比率の高さや石などの夾雑物の混在などが品質の低下の原因として挙げられている。

このような消費構造を持つガーナ共和国のコメであるが、具体的にはどれくらいの消費量となっているのだろうか。

第1図はガーナ共和国におけるコメの一人当たり年間消費量を見たものである。図から分かることとして、コメは伝統的に主食として多く食べられていたわけではないことがある。1960年代から1980年代の30年間にかけて、コメの消費量は年間約10kgにとどまっており、コメが主要な穀物として消費されていたわけではないことが分かる。1990年代から2000年代後半にかけて、コメの年間一人当たり消費量は約20kgに到達した。1960年代から2000年代後半にかけて、少しずつ消費量を増加させてきた傾向にあるが、2010年代にはいと傾向が大きく変化している。2010年代には年間約50kgの消費量を示しており、現在から過去15年間でコメがガーナ共和国において主要な穀物としての地位に到達したことが分かる。2020年代には更に消費量が増加する傾向にあり、現在では年間約60kgの消費量を示しており、主食として重要な位置を占めるに至ったことが第1図から明らかとなる。

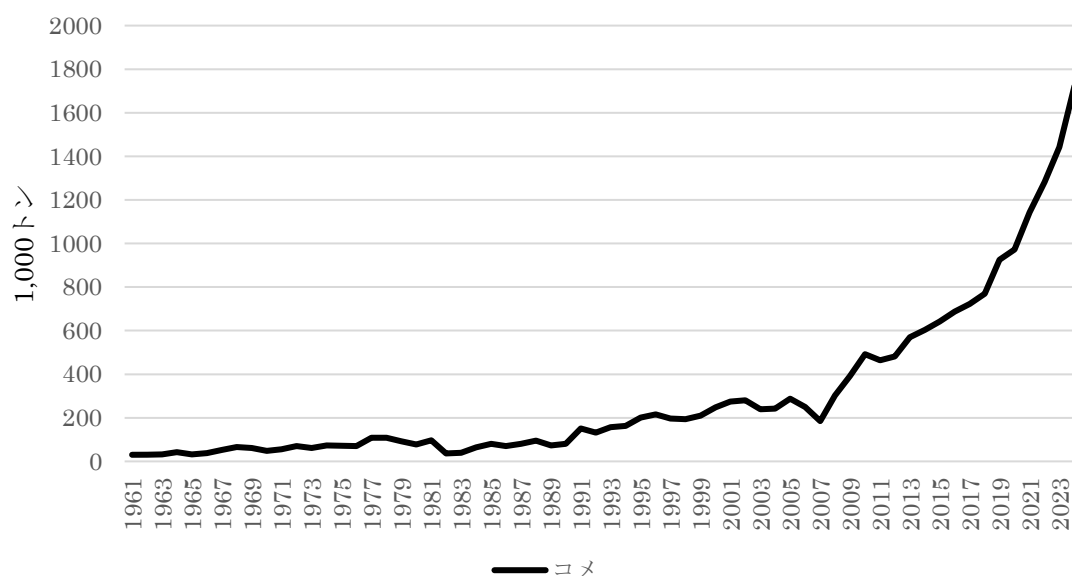


第1図 コメの一人当たり年間消費量

資料：FAOSTAT

以上、コメの需要構造を検討した。これだけの需要の伸びを見せているコメであるが、その供給構造はどうなっているであろうか。第2図は、コメの年間生産量を見たものである。この図によると1960年代から1980年代にかけて国内生産は約10万トンを超えており、国内生産はあまり大きくなかったことが分かる。このことは、同時期にコメの年間一

人当たり消費量があまり大きくなかったことと整合的である。1990年代以降から、コメの生産量は10万トンを超えるようになり、2000年代後半ごろには約50万トンと1960年代に比べて生産量が約5倍に達していることが分かる。コメの国内生産量は、コメの需要量と同様に、2010年代ごろから急激な増加傾向を示すことが分かる。2010年代には約50万トンから約90万トンと10年間で約2倍の生産量の増加を示している。このことは同時期にコメの年間一人当たり消費量が急激に増加したことと整合的であり、国内需要の一定割合が国産米の増加によって担保されていることを示唆している。2020年代以降もコメの増産の傾向は変化せず、現在では年間約170万トンの国内生産量を示している。

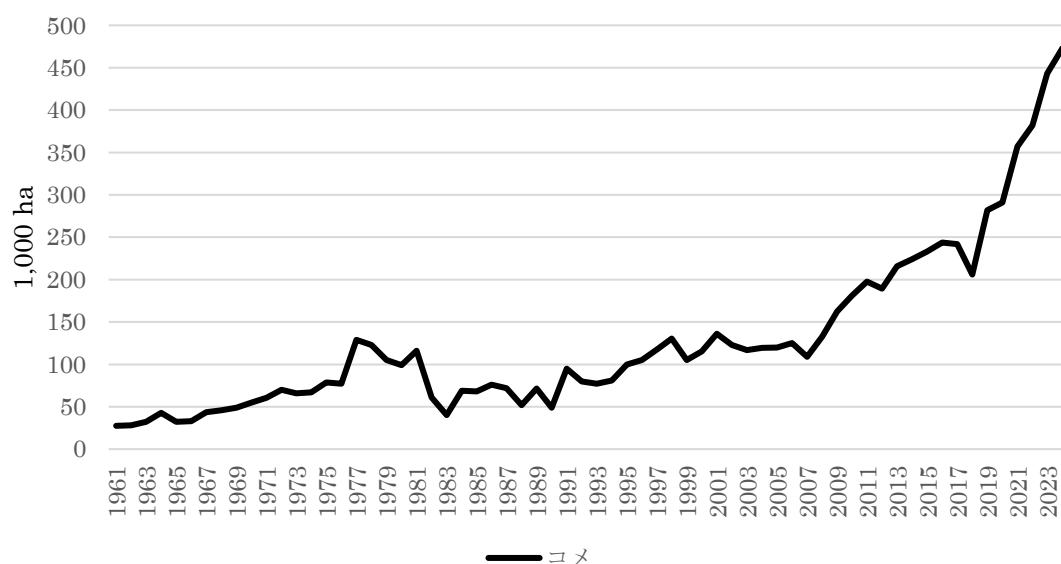


第2図 コメの年間生産量

資料：FAOSTAT

以上、コメの国内生産量の動向を検証した。確実に分かることは、コメの国内供給は2010年代に入るまで低迷傾向にあり、その後急速に国内供給量を増加させたことにある。では、どのような要因によって国内生産量は急速に増加したのであろうか。国内生産量を増加させるには、作付けする面積を増加させるか、一単位当たりの面積での生産量を増加させるかの2つの経路が存在する。第3図は、コメの年間生産面積を示したものである。1960年代から1990年代までは、年間約2万haから10万haの間で推移しており、コメの生産面積は一定の割合で増加しない傾向にあったことが分かる。やはり、コメの年間生産面積も増加傾向を示すのは2010年代ごろからである。2010年代ごろから生産面積は約20万haを超えるように2000年代と比較して約2倍のものの増加を示しており、この時期に作付面積の増加によって生産量が増加したことが分かる。また、2020年代にはその増加量を堅調に伸ばしており、現在では約45万haもの面積まで2010年代と比較して更に約2倍の増加を短期間で示している。したがって、年間国内生産量の増加の一部は生産面積の増加に

よって達成されたと言ってよいであろう。なぜこれほどの生産面積の拡大が達成可能であったのかに関しては、国内においてコメの作付けに適した土地が多く残されていたからだと考えられる。特に、ガーナ共和国では灌漑面積は限られており、天水に依存した低湿地帯でコメの生産は行われており、そのような低湿地帯が多く残されていた結果が生産面積の急拡大につながったのだと言える。

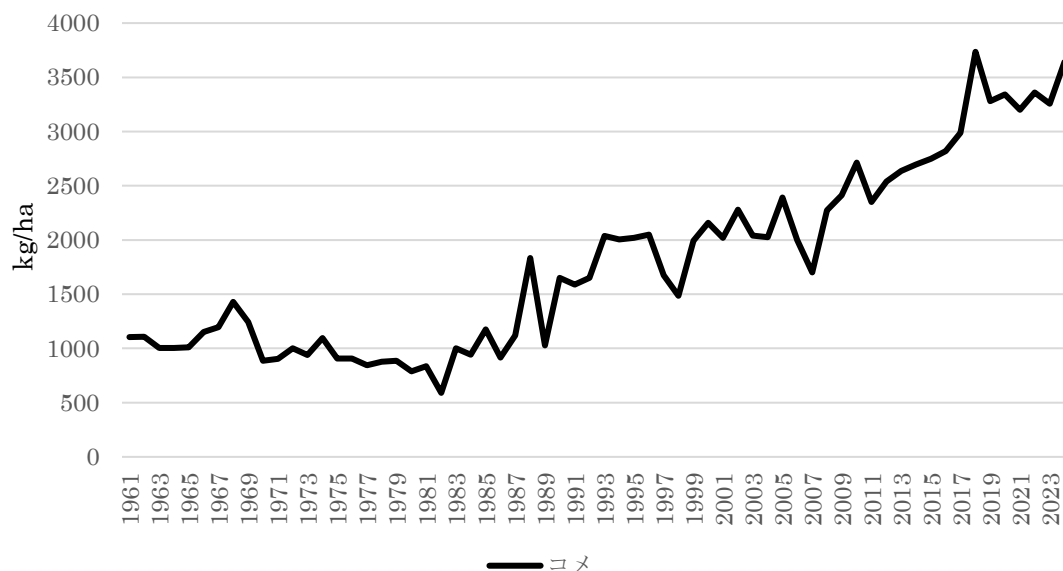


第3図 コメの年間生産面積

資料：FAOSTAT

以上、コメの生産面積の拡大の傾向を検討した。確かにコメの生産面積を拡大させることで生産量の拡大が達成できるのであれば良い傾向であるが、コメの生産に適した土地は有限であり、コメの作付面積の増加によってのみコメの生産量を増加させるわけにはいかない。したがって、一単位当たりの面積でどれくらいコメを収穫できるのかが重要になってくる。第4図は、コメの1ha当たりの収量の変化を示したものである。コメの単収は、1960年代から1980年代にかけて低迷していた。同時期にはコメの1ha当たりの単収は約1トンであり、日本やアジア地域諸国での収量が約5トン以上あることを考えると5分の1程度しか生産力がなかったことが分かる。単収が低かったことの原因としては、土地に適した高収量性の改良品種や化学肥料の普及が十分でなかったことが想定される。2000年代にかけて単収は約2トンまで増加するが、その水準はアジア地域と比べるとまだ低いと言わざるを得ない。2010年代から現在にかけて単収は約2.5トンから約3.5トンと約1トンの増加の傾向を見せており現在では約3.5トンの数値を示している。単収が増加したことの背景として、土地に適した改良品種と化学肥料の導入が進んだことが考えられる。改良品種に関しては、需要の高い国産の長粒種香り米品種が同時期に開発されており、その普及が一役買ったと考えられる。ただし、本改良品種のポテンシャルとしては、約6トン

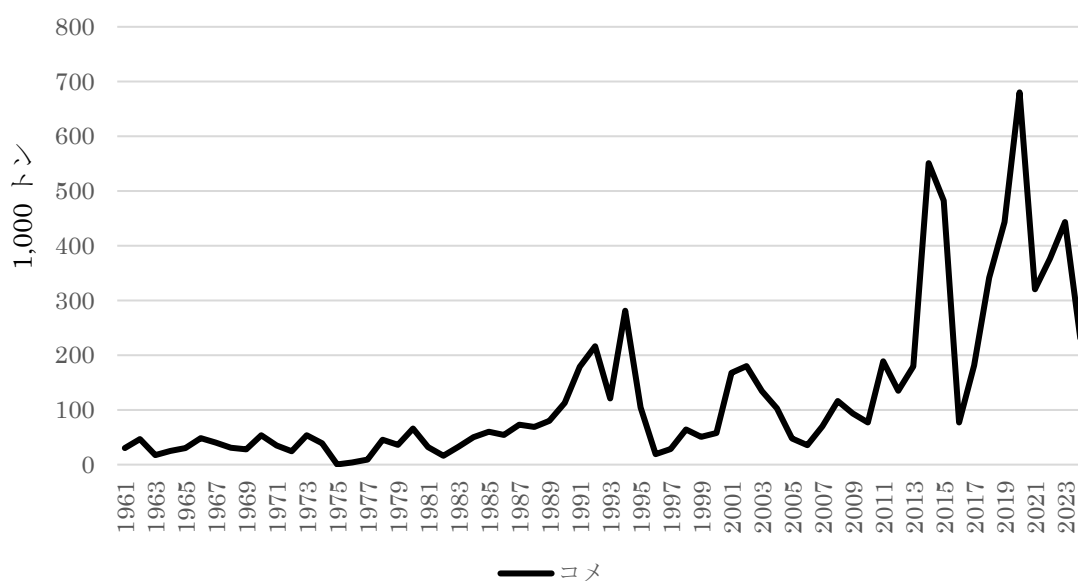
の生産力を持っているので、まだそのポテンシャルはフルに発揮されていないと言える。化学肥料に関しては、補助金政策によって普及が同時期に進んだと考えられる。



第4図 コメの1ha当たりの収量

資料：FAOSTAT

以上、コメの国内供給の構造を検討した。しかし、前述したとおりガーナ共和国においては、国産米だけではなく輸入米が好まれて消費されている。したがって、コメの輸入動向についても把握する必要がある。第5図はコメの年間輸入量を示したものである。コメの輸入に関してもコメの国内生産と国内消費の動向と同様に、1960年代から1980年代までは低迷していた傾向にある。同時期の輸入量は、約3万トンから約5万トンとあまり大きな量を示していない。1990年代より約10万トン以上の輸入量を示しており、国内生産量が増加した時期に輸入量も急増したことが分かる。特に同時期の生産量は約10万トンから約20万トンであり、国内消費の約半分が輸入米によって賄われていたことが分かる。2010年代以降、年度によるばらつきはあるが、輸入量は約30万から40万トンにも達しており、国産米の生産量の増加だけでは国内消費の増加に対応できておらず、輸入米によって国内消費が担保されていることが分かる。その最大値は2020年の約68万トンであり、同時期の国内生産量が約97万トンであることを考えると、輸入依存率が40%を超えることが示されている。しかし、2024年現在では輸入量は約23万トンまで減少しており、同年の国内生産量が約171万トンであることを考えると、輸入依存率は低下しており、輸入米から国産米への消費の代替が生じていることが想定される。



第5図 コメの年間輸入量

資料：FAOSTAT

3. 農業政策の動向

第2節では、コメの需給動向をマクロデータに基づいて検証した。第3節では、コメの生産に影響を与える農業政策について概観する。

ガーナ共和国においては様々な農業政策が実施されているが、その農業政策は Food and Agriculture Sector Development Policy (FASDEP)によって規定される (MoFA, 2007)。FASDEPは、農業部門を近代化するための実施戦略の枠組みとして 2002 年に開発された。また、4 年間の実施に伴ってその内容を改良する必要があるため、2007 年に FASDEPII が策定された。FASDEPIIは、農業部門での活動を商業化していくことを強調し、市場志向型の成長戦略を念頭に置いた政策の実施を志向している。政策は、特に資源に乏しい農家を対象として食料安全保障と所得多様化を達成するために限られた作物を対象としている。また、環境の持続可能性を考慮して、農業バリューチェーンにおいて商品作物の生産性を向上させることが強調される。

農業政策の目的は主に 6 つに分類される。その 6 つの内容は、①食料安全保障と緊急事態への対応、②所得の成長、③競争力の向上と市場への統合、④土地と環境の持続可能な管理、⑤食料農業開発への科学技術の応用、⑥制度の協調の強化である。この 6 つの政策目的ごとに個別の政策戦略が存在する。

①の、食料安全保障と緊急事態への対応の達成の問題点としては、穀物生産性の低さ・食料供給の季節性・農業政策に対応する能力の限定性・農道の貧弱さ・災害対応のシステムの脆弱性・栄養不良の蔓延などが挙げられる。具体的な戦略としては、灌漑設備の開発・高収量品種の導入・効率的な収穫後処理の開発・道路インフラの開発・農業多様化機会の

向上とリスクの軽減・栄養の改善・災害対応の早期警告システムの構築などである。

②の、所得の成長の達成の問題点としては、農業部門の相対的所得の低さ・輸出作物と比較した主要穀物の所得成長の限界・生産の季節性・農業作物のバリューチェーンの視点の欠如・収穫後処理の重要性の欠如・女性農家の負担・生産資材へのアクセスの欠如などが挙げられる。具体的な戦略としては、農業の多様化のサポート・バリューチェーンの開発・商業的農業への補助・品質と所得を向上させるための良い農業慣行の開発・小規模農家の産業への参入の振興・市場へのアクセスの向上・農家組織の形成・農道の改善などである。

③の、競争力の向上と市場への統合の達成の問題点としては、農道の脆弱さや市場情報の不適切さ・国内市場での製品差別化の欠如・農業資材の品質の低さなどが挙げられる。具体的な戦略としては、民間企業との協力を推奨し地域市場での取引の発展をすること・農産物のマーケティングの支援などである。

④の、土地と環境の持続可能な管理の達成の問題点としては、農業普及活動における持続可能な土地と水管理の欠如・農作業に伴う環境問題の認識の欠如・土地利用政策の欠如などが挙げられる。具体的な戦略としては、持続可能な土地と環境管理を農業政策において主題とすること・環境問題への認知を高めること・環境負荷が低い農法の採用を促すことなどである。

⑤の、食料農業開発への科学技術の応用の達成の問題点としては、農業研究への資金とコミットメントの欠如・限定的なバイオテクノロジーの応用・農業政策研究の欠如・農業政策における女性の視点の欠如が挙げられる。具体的な戦略としては、需要主導型の研究の推進・研究デザインへのジェンダー統合の導入・農業政策研究の強化などである。

⑥の、制度の協調の強化の達成の問題点としては、農業部門でのパブリックプライベートセクターの従事の欠如などである。具体的な戦略としては、協調を向上させるようなコミュニケーション戦略の開発・農業省による協調的役割の強化などである。

その他の政策として、サービス供給への政策が存在する。具体的には、農業投入物へのアクセスや金融サービスへのアクセスがあげられる。農業投入物へのアクセスの達成への問題点としては、農業投入物のマーケティングをする政策枠組みの欠如や農業投入物への低い需要が挙げられる。具体的な政策としては、農業投入物の取引の拡大・農業投入物の有用性の普及などである。

金融サービスへのアクセスへの達成の問題点としては、農業信用の供給の時期の悪さ・農業金融への限定的なアクセス・中長期的な農業融資への限定的なアクセスなどである。具体的な戦略としては、担保の種類の柔軟性の促進・農村部での小規模金融制度の促進・グループレンディングの仕組みの資源に乏しい農家への導入・農村部の女性への金融サービスへのアクセスの強化などである。

以上、FASDEP の政策枠組みに関して概観した。そこで示されているように、多くの政策目標と達成手段に関して FASDEP は規定している。では、具体的な政策としてはどのようなものが存在するのだろうか。

ガーナ共和国では様々な農業政策が実施されているが、その中で最も重要な政策としては、Planting for Food and Jobs（食料と仕事のための植え付け：PFJ）政策が挙げられる（MoFA, 2023）。PFJは、農業の近代化と成長の達成のために2017年から2022年にかけてフェーズ1が実施された。PFJ フェーズ1では、6つの目的が設定されていた。すなわち、フードセキュリティの確保・生産性の向上・輸入代替の促進・輸出の促進・農産物加工とバリューアディションの促進・若者への雇用の創出である。FASDEPで示された通り、農業融資へのアクセスが限定的であることを念頭に置き、フェーズ1では、改良品種と化学肥料の購入に対する補助金政策が具体的な施策として導入された。フェーズ1の成果としては、穀物の収量の増加が挙げられるが、そのことは第2節でみた近年のコメの生産性の増加と整合的であり、PFJの有用性が想定される。フェーズ1は成功したものの、問題点が存在した。具体的には、政府の財源への圧迫・バリューチェーン構築の限定性・農業信用への限定的なアクセス・中大規模商業農家へのニーズの欠如などである。特に、財政への負担の問題は、補助金政策の実施という形態の持続可能性の観点から重要な問題であったと考えられる。したがって、PFJはフェーズ2を2024年から2028年にかけて実施することになった。フェーズ2の目的は6つあり、すなわち、食料の入手可能性の強化・食料価格の高騰の抑制・輸入代替の促進・輸出の促進・雇用の創出・フードセキュリティとレジリエンスの強化である。フェーズ2では、補助金政策を撤廃し、現物返済の形での農業融資（投入物の事前配布）の方策を実施している。この政策は、信用アクセスへの障壁を除外し、改良投入物の投入による生産性の向上を達成や農産物の価格安定化を達成し、農業の商業化や食料安全保障の達成を目的としている。したがって、農業投入物へのアクセスだけでなく、農作業の機械化や農業普及の強化や農産物市場化なども志している。現物返済の形での農業融資は、農家にとっては、作付け前に必要な費用が減少することになるので、補助金政策よりも有効な政策であると考えられる。PFJ フェーズ2の4つの主要な要素は、①バリューチェーンアプローチ・②民間企業への視点・③市場志向型・④包括性である。また、PFJ フェーズ2では11の品目が優先対象となる。11の対象は、養鶏・トウモロコシ・コメ・ソルガム・大豆・トマト・辛子・玉葱・キャッサバ・ヤム芋・食用バナナである。11の対象には、コメも当然含まれている。コメに関しては、PFJのベースラインである2022年には自給率が約48%であるが、これを2028年には100%にする目標を掲げている。そのためには、2028年にコメの単収は4.8トン、年間生産量は約330万トンまで達する必要がある。その目標達成のための挑戦としては、①土地開発の費用の高さ・②品質の高い認証品種の入手の限定性・③灌漑や水管理の貧弱さ・④改良農業投入物の不適切な使用・⑤機械化サービスへのアクセスの不十分さである。具体的な介入としては、5つ挙げている。すなわち、①農業投入物と機械化サービスへのアクセスの改善・②灌漑面積の増加・③改良品種の生産の補助・④貯蔵施設インフラの建設の促進・⑤国産米消費の促進である。

4. コメ生産技術と食料不安度

第3節では、コメの生産に影響を与える農業政策について検討した。そこでは、農業政策の第一目標としてフードセキュリティ（食料安全保障）の達成が挙げられていた。本節では、コメの生産度合い及び農業生産の多様性とフードセキュリティの達成度合いとの関連性を検討する。

本節での分析に使用するデータは、2025年2～3月にかけて行った北部ガーナ地域での現地調査により得られた。1/50,000 尺度の地図を用いてタマレ市近郊の 54km×54km の範囲を対象地域とし、14 か村を調査村としてランダムに選定し、回答を得られた 46 家計をサンプル農家とした。

コメ生産技術の指標としては、収量向上技術である直条植え・均平化・畔の3技術のいずれかを採用するダミー、改良品種採用ダミー、収穫後作業での機械使用ダミー（コンバインハーベスターかトラクター）を用いる。

農業多様性の指標としては、シンプソン多様性指数を用いる (Simpson, 1949)。シンプソン多様性指数の定義は以下のとおり。

$$SDI_i = 1 - \sum_{j=1}^n s_{ij}^2$$

記号 i が家計レベル、記号 j が作物レベル、 n が作物数を表す。記号 s は作物 j の全体に占める作付シェアを示す。

フードセキュリティの指標に関しては、Food Insecurity Experience Scale (FIES)の指標を用いる (Ballard, et al. 2013)。FIES は主観的な食料確保に関する経験をとらえた指標である。8つの質問事項から回答を得て、生得点（0～8点）を得る。生得点を得たら、得点の閾値によって中程度の食料不安と重程度の食料不安が定義される。生得点が3点以上で中程度、7点以上で重程度の食料不安であると定義される (Adjognon, et al. 2021; Rudin-Rush, et al. 2022)。

以下分析では、以下の定式化で回帰分析を行う。

$$Y_{ik} = \alpha + \beta SDI_{ik} + \gamma INT'_{ik} + \delta X'_{ik} + \theta_k + \epsilon_{ik}$$

ここで、記号 Y は FIES の指標、記号 SDI はシンプソン多様性指数、記号 INT は農業集約化の指標、記号 X は家計レベルの制御変数、記号 θ は村レベルの固定効果、記号 ϵ は誤差項を表す。

第1表は、FIES で見た食料不安と農業生産体系との関係性を分析した結果を示している。重程度の食料不安に関して、改良品種や技術パッケージの採用が食料不安を軽減させる傾向にあることが示されているが、結果は統計的に優位な水準では得られなかった。原因としては、サンプル数の少なさから結果のばらつきが大きいので、統計的に優位な水準で効果が得られなかった可能性がある。第2表は、第1表の結果を受けて、食料不安を個々の要素に分解して結果を検討したものである。具体的には、食料不足の発生・空腹だが食べるものがなかった状態・一日中何も食べなかった状態を検討したものである。結果による

と、技術パッケージの採用は一日中何も食べなかった状態を減らす傾向にあるが、結果は統計的に優位な水準では得られなかった。一方で、農業生産の多様性と食料不安の関係を検討すると、農業多様性指標が食料不安の発生を統計的に優位な水準で減少させる傾向にあることが示された。背景としては、一つの作物に集中するよりも、多様な作物を生産することにより、自家消費の多様性を保つことによって、農家は食料安全保障を達成している可能性があることが考えられる。ただし、稲作に集中し、増加した稲作所得から市場での購入を通して食料安全保障を担保する経路も存在するので、なぜ稲作に特化した経路が上手くいかないのかは、コメの経済における重要性の中で検討する必要がある。特に、本稿で使用したサンプルは小規模のものであるので、より正確な値を検出するために今後大規模な調査を実施してより正確な値を検出することが必要であろう。

第1表 食料不安と農業生産体系との関連1

	Moderate	Severe
改良品種	-0.02 (0.18)	0 (0.05)
技術パッケージ	0.01 (0.13)	-0.07 (0.15)
ポストハーベスト機械	0.04 (0.19)	-0.01 (0.04)
シンプソン多様性指標	0.45 (0.61)	0.59 (0.55)
制御変数	Yes	Yes
村固定効果	Yes	Yes
観測数	46	46

資料：聞き取り調査より筆者作成

注. カッコ内はロバスト標準誤差

第2表 食料不安と農業生産体系との関連2

	Ranout	Hungry	Wholeday
改良品種	0.06 (0.22)	-0.01 (0.23)	0 (0.05)
技術パッケージ	0.03 (0.15)	0.06 (0.18)	-0.07 (0.15)
ポストハーベスト機械	0.01 (0.25)	0.01 (0.27)	-0.01 (0.04)
シンプソン多様性指標	-1.93 ** (0.74)	0.66 (0.92)	0.59 (0.55)
制御変数	Yes	Yes	Yes
村固定効果	Yes	Yes	Yes
観測数	46	46	46

資料：聞き取り調査より筆者作成

注1) カッコ内はロバスト標準誤差

注2) **は5%水準で統計的に有意な水準を示す

5. おわりに

以上、ガーナ共和国におけるコメの需給動向と農業政策の動向に関して検討してきた。検討内容をまとめると以下のとおりになる。

第一に、コメは需要・供給両面で2010年代以降急速に増加傾向にあることである。ガーナ共和国では、輸入米が好まれて食されていると言われているが、コメの需要の高まりを受けて国内生産の面も強化されている点は強調に値する。また、現在では輸入量が減少し国内生産量が増加する傾向にあり、輸入米から国産米への代替が生じている可能性がある。輸入依存率の減少とフードセキュリティの達成は農業政策の掲げる目標であり、その目標達成に向けて良い傾向にあると考えられる。

第二に、農業政策の変化が特徴として挙げられる。アフリカ諸国では補助金政策が主要な農業政策ツールとして使用されており、ガーナ共和国においても補助金政策が長らく実施されていた。しかし、2024年より補助金政策を撤廃し、現物返済による農業融資システムを導入するという斬新な農業政策の実施が近年の傾向として示されている。原因としては、補助金政策の財政に与える負担が大きかったことが挙げられており、持続可能な政策を実施するために、農業融資システムを新たな政策として打ち出したと考えられる。

第三に、稲作生産特化が直ちにフードセキュリティの達成に寄与するわけではない可能性がある点が挙げられる。農業政策にも示されているように、コメは今後ますます生産性と生産量の向上が図られる穀物である。そのためには、稲作に特化して農業生産を強化する方向に進むと考えられる。しかし、コメは農家にとっていくつかある主要な穀物のうちの一つであり、その生産物は主に販売収入になって農家の生計の基盤となる。一方で、稲作農家は他のトウモロコシや野菜なども同時に生産して生計を立てている。フードセキュリティの達成ためには、今後稲作に特化すべきなのか、それとも多様な作物の栽培を推奨すべきなのかを検討する必要がある。

[引用文献]

【外国語文献】

Adjognon, G. S., J. R. Bloem and A. Sanoh (2021) The coronavirus pandemic and food security: Evidence from Mali. *Food Policy*, 101: 102050. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102050>

Ballard, T.J., A.W. Kepple and C. Cafiero (2013) The food insecurity experience scale: developing a global standard for monitoring hunger worldwide. Technical Paper. Rome, FAO.
(available at <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/voices/en/>).

FAOSTAT, <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (最終アクセス 2026年2月20日)

MoFA (2007) Food and Agriculture Sector Development Policy (FASDEP II).

MoFA (2023) Planting for Food and Jobs Phase II (PFJ 2.0). A Five-Year Master Plan for the Renewal of Agriculture

- ion Ghana (2024-2028). Accra, GH: Ministry of Food and Agriculture.
- Rudin-Rush, L., J. D. Michler, A. Josephson and J. R. Bloem (2022) Food insecurity during the first year of the COVID-19 pandemic in four African countries. *Food Policy*, 111: 102306.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102306>
- Simpson, E. H. (1949) Measurement of Diversity. *nature*, 163(4148):688-688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>