

ケニアの電力アクセスが 貧困に与える影響と 包摂的で持続可能な政策設計¹

明治大学
末永啓一郎研究会
環境・エネルギー②
岩崎智子
及川稀也
神谷歩美
キムソユン
鈴木さくら

2025 年 11 月

¹ 本稿は、2025 年 12 月 13 日、12 月 14 日に開催される ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム 2025」のために作成したものである。本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

エネルギーへの安定的なアクセスは、人々の生活の質を左右する基盤であり、先進国・途上国を問わず持続可能な発展に不可欠である。日本はこれまでも、ケニアをはじめサブサハラ・アフリカ (SSA) で電力アクセス拡大や再生可能エネルギー導入を支援してきた。本研究は、この日本の支援実績を背景に、ケニアを事例として電力アクセス拡大が多次元的な貧困の削減に与える影響を、理論・計量・現地調査の三側面から統合的に検証し、包摂的かつ持続可能な電化政策の方向性を示すことを目的とする。

理論分析では、電力資本を組み込んだ拡張ソロー型成長モデルを構築し、政策が電力資本の蓄積を通じ電力アクセス率を上昇させる第1段階と、電力資本蓄積による生産性・人的資本向上を通じて広義の所得を改善する第2段階という二段階メカニズムを定式化した。この仕組みは、実証分析において政策の間接効果を検証するための基礎モデルとして位置づけられる。

マクロ計量分析では、WDI (2000～2023) に基づく SSA 48 カ国パネルで固定効果・分布ラグを用いて推定した結果、電力アクセスの上昇は中期的に家計支出と教育成果を有意に改善させる一方、短期には投資負担に伴う抑制が生じることが示唆された。

ミクロ計量分析では、KIHBS 2005/06・2015/16 および KCHS 2020～2022 を用い、傾向スコアマッチング (PSM) と Staggered DID で平均処置効果 (ATT) を推定した。電化世帯は未電化世帯に比べ成人一人当たり支出が約 13% 高く、初等教育在学率が約 7 ポイント上昇した。RIF-DID により効果は中下位所得層で強く、格差縮小に資する可能性が確認された。農村部では照明・通信の改善が家事時間短縮・学習時間確保・就業機会拡大を通じて女性・子どもに波及することが示された。

2025 年 8 月の Nyandarua 県 Kinangop 地域での現地調査では、電化世帯で夜間学習時間が平均 1.8 時間増加し、携帯・ラジオ等を介した情報アクセスが拡大。一方、未電化世帯では灯油・キャンドル依存に伴う健康被害と支出の不安定化、頻発する停電や料金負担の高さが主要制約として確認された。これらの知見は、理論で提示した二段階メカニズムと計量結果を現場レベルで裏づける。

政策評価では、本文で提示した二つの課題 (A) 農村ソーラーパネル市場の質・価格の問題と、(B) 送配電ロスおよびピーク時断続停電に対応する手段として、(I) 民間投資を呼び込むリスク緩和ファシリティ政策 (Risk Mitigation Facility: RMF)、(II) 需要平準化のための時間帯別料金制度 (Time-of-Use: TOU) を取り上げ、固定効果モデルおよび合成コントロール法 (SCM) で効果を検証した。比較事例に基づく推計では、RMF 政策の導入は農村電力アクセス率を最大で約 24 ポイント押し上げ、TOU 制度の導入は送配電ロスを最大で約 5.5 ポイント改善させる可能性が示唆された。統計的有意性や前処置適合に留意しつつ、プラセボ・MSPE 比による頑健性確認を行った。

以上を総合すると、電力アクセスの拡大は所得・教育・健康を通じて農村の生活基盤を底上げし、社会的包摂に実質的な効果を持つ。政策含意として、本研究は段階的アプローチを提案する。すなわち、第1段階で RMF 政策により初期投資リスクを軽減し「アクセスを広げる」。第2段階で TOU 制度の需要側管理により「効率的に使う」仕組みを整える。日本の地熱・送配電支援やスマートメーター・配電デジタル化への協力は、この二段階を下支えする国際協力として再評価される。

本研究の独自性は、(i) 電力アクセスの因果効果を、マクロ (SSA48 カ国) とミクロ

(ケニア世帯調査) 推定し、さらに電力アクセスの恩恵が特にどの所得層で顕著かを定量的に示した点。(ii) 政府の質・再エネ政策・料金補助制度など制度的要因を組み込んで分析を行い、電化効果を左右する政策環境を特定した点。(iii) 現地フィールド調査を実施し、定量分析では捉えにくい生活実態を補足的に把握した点である。以上により、電力アクセスの影響を統合的に捉え、持続可能かつ包摂的な政策を選定し、ケニアの包摂的で持続可能な発展と日本の国際協力実践の双方に資する実証的知見を提供する。

目次

第1章 はじめに

第2章 現状と課題

第1節 ケニアの現状

第1項 電力普及状況

第2項 貧困の状況

第2節 電力市場の構造と課題

第1項 電力市場制度とエネルギー政策の展開

第2項 送配電系統および電力価格

第3節 日本の協力

第1項 ODA と日本企業の連携

第2項 JICA の取り組みと電力アクセス率向上への貢献

第3章 先行研究および本稿の位置づけ

第1節 先行研究の整理

第1項 電力アクセスが貧困に与える影響

第2項 政策が電力アクセスの拡大に与える影響

第2節 本稿の新規性

第4章 理論分析

第1節 モデルの理論的設定

第2節 電力アクセスと貧困：二段階メカニズムの理論化

第3節 定常状態分析と政策効果の理論的予測

第5章 計量分析

第1節 分析Ⅰ：電力アクセスが所得・教育・健康に与える影響の固定効果分析

第1項 分析の概要

第2項 データ

第3項 分析の結果・考察

第2節 分析Ⅱ：電力アクセスが所得に与える影響のPSM-DID分析

第1項 分析の概要

第2項 データ

第3項 分析の結果・考察

第3節 分析Ⅲ：電力アクセスが教育に与える影響のロジット分析

第1項 分析の概要

- 第2項 分析の結果・考察
- 第4節 分析Ⅳ：電力アクセスが所得階層ごとに与える影響の RIF-DID 分析
 - 第1項 分析の概要
 - 第2項 データ
 - 第3項 分析の結果・考察

第6章 実態調査

- 第1節 フィールドワークによる電力アクセスの効果の検証
 - 第1項 目的と位置づけ
 - 第2項 現地調査の結果と主要な知見
- 第2節 計量分析との統合的考察

第7章 政策選定

- 第1節 仮説
- 第2節 政策選定分析（固定効果モデル）
 - 第1項 分析概要
 - 第2項 データ
 - 第3項 分析の結果・考察
- 第3節 政策介入の動学的効果分析（合成コントロール法）
- 第4節 RMF 政策
 - 第1項 政策の概要
 - 第2項 RMF 政策の効果推定
- 第5節 TOU 制度
 - 第1項 制度の概要
 - 第2項 TOU 制度の効果推定

第8章 政策提言

- 第1節 政策提言の方向性
- 第2節 提言Ⅰ：民間投資促進のための RMF 政策
 - 第1項 ケニアでの RMF 政策導入の枠組み
 - 第2項 実現可能性・限界
- 第3節 提言Ⅱ：電力負荷平準化のための TOU 制度
 - 第1項 ケニアでの TOU 制度拡大の枠組み
 - 第2項 実現可能性・限界
- 第4節 政策提言のまとめ

第9章 おわりに

参考文献・データ出典

付録

略語一覧

略称	正式名称	解説
EPRA	Energy and Petroleum Regulatory Authority	ケニアのエネルギー・石油規制庁。電力・石油・再生可能エネルギー・エネルギー効率化など、エネルギー関連分野全体の規制と監督を担う独立行政機関。
FIT	Feed-in Tariff	固定価格買取制度。再生可能エネルギーによる発電を一定価格で長期的に買い取る制度。
HDI	Human Development Index	人間開発指数。所得・教育・健康の3要素から算出される人間開発の総合指標。
IEA	International Energy Agency	国際エネルギー機関。先進国を中心とするエネルギー協力機関で、エネルギー安全保障や脱炭素政策を主導する。
IMF	International Monetary Fund	国際通貨基金。加盟国の経済安定化支援や政策助言、融資を行う国際機関。
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業者。政府や公営電力会社以外に、民間資本で発電設備を建設・運営し、電力公社などに電力を販売する事業者。
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構。日本政府のODA実施機関として、開発援助や技術協力を通じて各国の持続的成長を支援する。
KCHS	Kenya Continuous Household Survey	ケニア継続家計調査。2020年以降毎年実施されている家計の経済・社会状況調査。
KenGen	Kenya Electricity Generating Company	ケニア発電公社。国内の発電量の約70%を担う最大の発電事業者で、地熱・水力・風力など多様な電源を保有する。
KIHBS	Kenya Integrated Household Budget Survey	ケニア統合家計予算調査。家計支出、所得、生活水準を把握する全国調査で、貧困分析に広く利用されている。

KNBS	Kenya National Bureau of Statistics	ケニア統計局。統計データの収集、分析、配布を行うケニア政府の主要機関。
KNES	Kenya National Electrification Strategy	ケニア国家電化戦略。2030 年までにユニバーサルアクセスを達成するためのロードマップを示した文書（2018 年策定）。
KPLC	Kenya Power and Lighting Company	ケニア電力公社。全国の約 960 万人以上の顧客に電力を供給している。送配電網の管理および電力販売を担う。
LMCP	Last Mile Connectivity Project	ラストマイル電化プロジェクト。低圧送電線を延長し、既存電網近隣の未電化世帯を接続する国家事業。
NEP	National Energy Policy	国家エネルギー政策。ケニア政府が掲げるエネルギー分野の包括的政策指針。
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助。先進国が発展途上国の経済開発・福祉向上を目的として行う公的資金援助。二国間援助や多国間援助を含む。
RMF	Risk Mitigation Facility	組織やシステムにおけるリスクを体系的に管理するための枠組み。特に情報セキュリティやプロジェクト運営、金融、公共政策などで使われる。
RISE	Regulatory Indicators for Sustainable Energy	世界銀行が策定した持続可能なエネルギー政策の整備度を評価する指標。電力アクセス・再エネ・エネルギー効率・クリーンクッキングの 4 分野で各国の制度や政策をスコア化。
SCM	Synthetic Control Method	合成コントロール法。単一の処置対象に対する反実仮想を構築するための手法。
TOU	Time-of-Use	時間帯別料金制度。電力需要のピーク時とオフピーク時で電気料金を変動させる仕組み。消費者に負荷平準化を促し、発電コスト削減や電力系統の安定化に寄与する。
WDI	World Development Indicators	世界銀行が提供する主要な国際統計データベース。経済・教育・健康・インフラなどの包括的指標を含む。

第1章 はじめに

サブサハラ・アフリカ(SSA)の中でもケニアは、国家開発戦略「Vision 2030」²に基づき、経済成長とエネルギーインフラ整備を最重要課題として位置づけており、再エネ資源を活用し、電力供給の安定化とアクセス拡大を目指す政策が進められている。2023年の電力アクセス率は76.2%に達したが、都市部(96%)と農村部(68%)の間には依然として格差が存在する。この格差は、所得・教育・健康といった生活の基盤に影響し、社会経済的不平等を再生産している。

電力アクセスは単なるエネルギー供給手段ではなく、人間開発の三側面(所得・教育・健康)を支える基礎的な社会インフラである。安定した電力は、産業活動・雇用の拡大、夜間照明・ICT環境の整備、清潔なエネルギー利用の促進を通じて、貧困削減と持続的成長に寄与する。

一方で、ケニアでは送配電網の整備遅延や料金負担の重さといった課題が残り、電力が公平に行き渡っているとは言えない。特に農村部では、接続が進んでも供給の不安定さや高コストが生活改善の妨げとなっている。

以上を踏まえ、本研究はケニアにおける電力アクセスが所得・教育・健康に与える影響を理論的・実証的に検証し、未電化地域へのアプローチに加え、持続可能なエネルギー供給を目的とした政策提言を行う。マクロ・ミクロの計量分析と現地調査を通じて、電力アクセスの効果と実態を示し、包括的で持続可能なエネルギー政策の方向性を考察する。

第2章 現状と課題

第1節 ケニアの現状

第1項 電力普及状況

本研究での「電力アクセス」は、単なる電力接続の有無ではなく、利用可能な電力量や供給の安定性を含む概念として定義する。WDIのマルチ・ティア・フレームワーク(MTF)では、電力アクセスをTier 0からTier 5で評価する(表1)。携帯電話の充電や小型ランプのみを賄うTier 1は、生活改善効果が乏しく、実質的に未電化とされる(World Bank & ESMAP, 2015; Ritchie et al. 2021)。

² Kenya Vision 2030は、2030年までに「世界的な競争力と繁栄を持ち、高い生活の質を備えた国」を実現するための長期的な開発計画である。国民の熱意を原動力に、クリーンで安全な環境のもと、すべての国民が豊かに暮らせる新興工業国への変革を目指している(Kenya Vision 2030, 2008)。

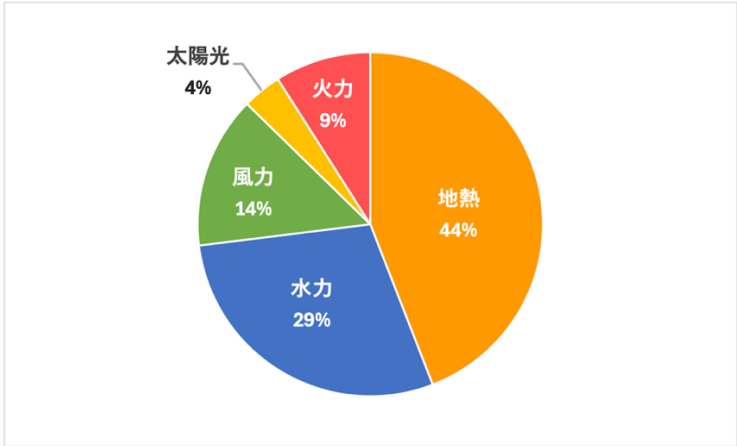
表 1 MTF に基づく電力アクセスの定義と評価基準

Tier	特徴	利用可能機器・条件	国際的解釈
0	電力アクセスなし	照明不可、携帯電話充電不可	完全な未電化
1	最低限のアクセス	携帯電話充電、小型LEDランプ1〜2基、 <50Wh/日、4時間利用(夜2時間)	未電化に近い扱い
2	限定的アクセス	照明、携帯電話充電+テレビ、扇風機、 200Wh/日程度、4時間利用(夜2時間)	基本的な家庭生活の改善
3	中程度アクセス	照明、通信機器、テレビ、扇風機、小規模 生産利用、1kWh/日、8時間利用(夜4時間)	教育・生活水準の改善が明確
4	高度なアクセス	冷蔵庫、小規模ビジネス機器、3.4kWh/日、 16時間利用(夜4時間)	教育・経済効果が顕著
5	先進国並み	洗濯機・電気調理器など制約なし、 8.2kWh/日、23時間利用	都市部と同等の電化

出典：World Bank & ESMAP, Beyond Connections: Introducing the Multi-Tier Framework (2015)より筆者作成

2024年の総発電量125.58億kWh³のうち、地熱44%、水力29%、風力14%、太陽光4%、火力9%と、再エネの比率は約91%に達し、アフリカ諸国の中でも再エネ主導型の電源構成を有していることを示している（KNBS, 2024）（図1）。

図 1 ケニアの発電方法の内訳

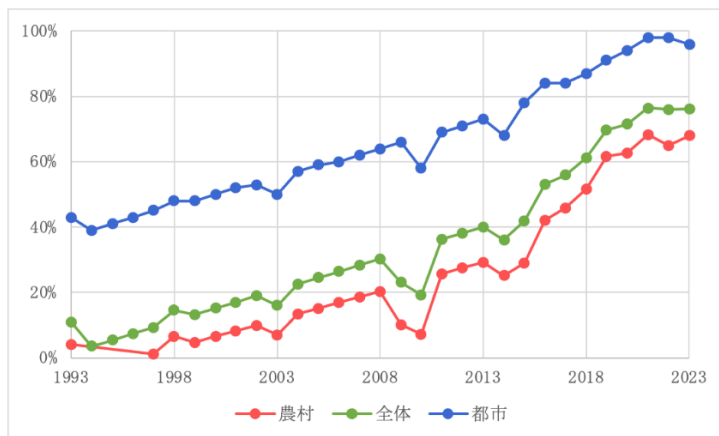


出典：KNBS, Leading Economic Indicators, December 2024より筆者作成

WDIによると、2023年の電力アクセス率は76.2%⁴で、都市部の96%に対し農村部は68%にとどまり、地域格差が依然として大きい（図2）。実際の農村調査でも、多くの世帯が系統電力ではなく小型ソーラーパネルや充電式バッテリーに依存しており、この格差の実態が確認された（写真1）。農村の状況については第6章で詳述する。

³ 日本の2024年発電量は8537.5億kWhである（資源エネルギー庁、2025）。
⁴ Tier1以上を基準としている。

図 2 ケニアにおける電力へのアクセス（人口の割合）



出典：World Bank, World Development Indicators (WDI), “Access to electricity (% of population), 1993-2023 より筆者作成

写真 1 充電したバッテリーを用いて電力を使う様子



出典：筆者撮影（2025年8月29日、Nyandarua村）

第2項 貧困の状況

本研究での「貧困」は、単なる所得の欠如ではなく、国連開発計画の人間開発指数（HDI）や多次元貧困指数（MPI）⁵を参考に、所得・教育・健康の三側面を含む多次元的な概念として定義する。

⁵ 教育・健康・生活水準の3側面からなる10指標（1.就学年数、2.子どもの就学、3.子どもの死、4.栄養、5.電力、6.衛生、7.安全な飲料水、8.床、9.炊事用燃料、10.資産）を用いて貧困を把握し、世帯がこのうち3分の1以上の項目に該当する場合を「貧困状態」と定義。（gooddo、2019）

ケニアは 2023 年時点で一人当たり GDP が約 1,950 米ドルの下位中所得国であり、人口の約 35% が 1 日 2.15 米ドル未満で生活している。

教育面では、薪集めや調理に時間を取られることで女性や子どもの就学機会が減少し、ジェンダー格差が拡大している。政府は「デジタル学習プログラム」⁶を通じて学校への電力供給と周辺家庭の電化を進め、夜間学習の環境整備を図っている。また、改良型調理器具⁷の導入による家事負担の軽減も進められている。

健康面では、伝統的燃料⁸による室内空気汚染が呼吸器疾患や心疾患の原因となり、年間約 23,000 人の死亡に関連し、(IEA、2024)これが約 39 億米ドルの経済損失に相当する(写真 2)。政府は 2024 年にクリーン調理移行戦略⁹を策定し、2028 年までに普遍的アクセスの実現を目指している。

このように、電力アクセスは所得・教育・健康の三側面と密接に関わる多次元課題である。したがって、包摂的な政策設計を通じて電力を基盤とした生活環境を整備することが、ケニアの持続的な貧困削減に不可欠である。

写真 2 薪を使って調理する様子



出典：筆者撮影（2025 年 8 月 29 日、Nyandarua 県 Kinangop 地域 Kariahu 村）

第 2 節 電力市場の構造と課題

第 1 項 電力市場制度とエネルギー政策の展開

ケニアの電力部門は、ケニア発電公社（KenGen）と独立系発電事業者（IPP）が発電、ケニア電力公社（KPLC）が配電と小売を担う。ケニア電力送電公社（KETRACO）は送電網の整備と保有、農村電化・再生可能エネルギー公社（REREC）は農村部電力アクセスの改

⁶ ケニア政府が教育省を通じて 2013 年に導入したもので、21 世紀のリテラシースキルを持つ学習者を教育・学習に統合することを目的とする (THE PROMISING FUTURE OF DIGITAL LEARNING IN KENYA, 2022)

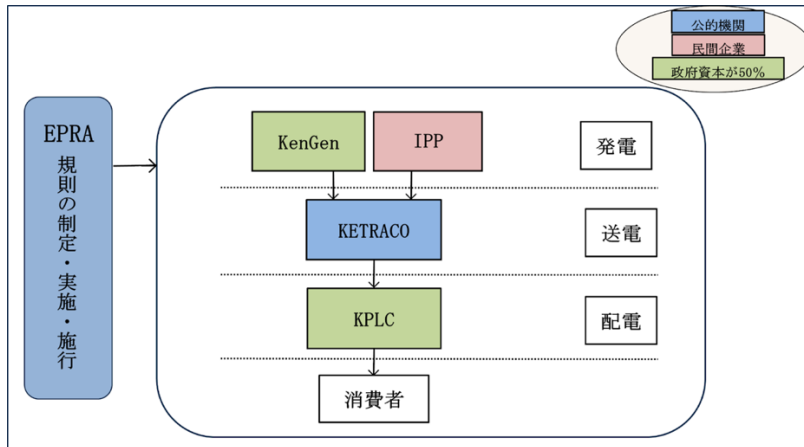
⁷ 薪の使用量が少なく、保温性が高く安価で、煙が少ない調理道具 (Cherono, 2025)

⁸ 薪、木炭、家畜糞などのバイオマス燃料を指す。農村部や低所得層で広く利用されるが、屋内大気汚染による健康被害などを引き起こす要因となる。これに対し、電気、LPG、天然ガス、灯油などの「近代的燃料」は、より清潔かつ効率的なエネルギー源である。(World Bank, 2020; IEA, 2022)。

⁹ 伝統的で汚染性の高い燃料の使用が公衆衛生と環境にもたらす悪影響の軽減を目的とする。2028 年までにすべての世帯のクリーン調理燃料利用実現に向けた政策的枠組みとロードマップを提示 (ケニアエネルギー省、2024)。

善を担当し、全体はエネルギー・石油規制庁（EPRA）の規制下にある。（図 3）これらの背景には、Vision2030 をはじめとする一連のエネルギー政策が存在する。表 2 に、2007 年以降の主要政策とその成果を示す。

図 3 エネルギーセクター構造



出典：JICA「ケニア国 エネルギー利用の最適化にかかる情報収集・確認調査」2024 より筆者作成

表 2 ケニアの主要エネルギー政策とその効果

年	政策	内容	効果
2007	「Vision2030」発表	2030 年までに中所得国へ転換することを目指す国家開発戦略。エネルギー分野を経済成長基盤と位置づけ、電力アクセス率の向上、発電源の多様化、再エネの導入拡大を戦略目標に掲げる。	発電容量： 1,429MW(2010)→3,322MW(2023) 再エネ比率： 約 60%(2010)→84.9%(2023)
2008	FIT 制度導入	再エネ電源（風力・小水力・バイオマス）を対象に、固定価格での電力買収を保証する制度。	民間投資の活性化により 再エネ設備容量： 2008 年→2014 年で約 1.5 倍
2010	FIT 制度改定	地熱・太陽光・バイオガス発電を新たに対象とする。 買収単価の引き上げ。	再エネプロジェクト数： 4 件(2008)→48 件(2015) 再エネ発電容量： 850MW(2010)→4,400MW(2020)

2015	ラスト・マイル・コネクティビティ・プロジェクト (LMCP) 開始	農村部の未接続世帯に対し、変圧器半径 600m 以内を対象に低コストで電力接続を行う国家プロジェクト。第 1～3 フェーズで KPLC が全国的に接続拡大を実現し、格差是正を図った。	2015～2023 年に約 945 万世帯が新規接続。 電力アクセス率： 40.1%(2013)→76.2%(2023) 未電化人口： 約 2000 万人→約 1100 万人
2018	国家エネルギー政策 (NEP) 策定	「安価・競争的・持続可能・信頼性の高いエネルギー供給」を実現するため、エネルギー効率向上、再エネ開発促進、送配電網の拡充、民間参入を総合的に推進。	再エネ比率： 87.9%(2020)→84.9%(2023) 発電内訳：地熱 41.7%、水力 24.7%、風力 13.1%、太陽光 3.5%
2019	エネルギー法施行	電力・石油・再エネを包括的に統合し、規制機関 EPRA を正式に設置。電力・石油・再エネ・ミニグリッド・電力取引・小売などの枠組みを一体化。電力市場の自由化、監督強化、再エネ制度の法的基盤を整備。	ネットメータリング規則 2024、卸供給、オープンアクセス規則 2024 などが制定。IPP・民間投資が拡大。

出典：IEA、EPRA、KPLC、Ministry of Energy 各種報告書より筆者作成

これらの政策により、電力アクセス率の向上や再エネ比率の拡大が進み、市場構造も大きく変化した。特に、FIT 制度やラストマイル・コネクティビティ・プロジェクト (LMCP) は、発電から配電に至るインフラ整備を後押しし、国有企業中心の体制を作った。

一方で、電力アクセスの地域格差は残り、小規模な再エネ事業者（ミニグリッド事業者）の参入を阻む制度上の障壁が課題となっている。こうした課題に対して、新規参入を促す仕組みや投資基金の整備が求められる。

近年では、国家エネルギー政策（2018 年）とエネルギー法（2019 年）を基盤に、安定供給と再生可能エネルギーの活用を両立させるための制度改革が進められている。今後は、こうした制度改革とあわせて、地域レベルでの民間参入を促す仕組みづくりを強化し、持続的な電力アクセスの拡大を図ることが重要である。

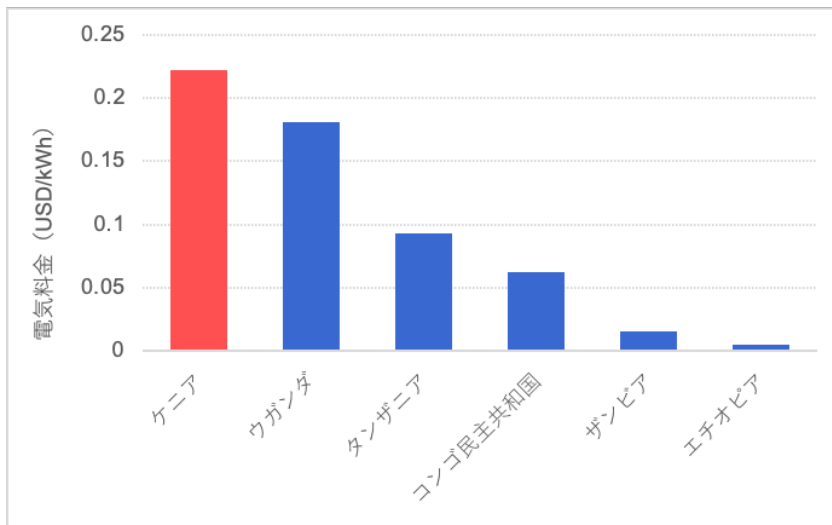
第 2 項 送配電系統および電力価格

ケニアにおける電力普及の最大の課題は、電力価格の高さと送配電網の非効率性である。IEA（2024）によれば、2023 年の時点で送配電ロス率は 23%に達し、アフリカ平均の 15%を大きく上回る。これは、老朽化した設備による漏電などの技術的損失と、盗電・請

求漏れなどの非技術的損失の双方が要因である。政府はスマートグリッド¹⁰などの監視・制御技術を導入し、送配電網の効率化を進めている。東芝への企業訪問（2025 年 8 月 6 日）で得られた知見でも、発電能力には余裕があるが、系統網¹¹の整備がボトルネックであることが確認された。ただし今後はデータセンター建設など大口需要の拡大が見込まれ、余剰供給を吸収していく可能性が指摘されている。

また、電力料金の高さも全国的な負担となっている。2025 年第 1 四半期のケニアの家庭用平均電力料金は約 0.222 米ドル/kWh で、SSA 地域の平均（約 0.14 米ドル/kWh）を大きく上回る。周辺国より高く、（Global Petrol Prices、2025）、所得格差を拡大させている（図 4）。

図 4 東アフリカ主要国 家庭用電気料金の国際比較



出典：Global Petrol Prices, “Electricity prices for households: world map”, 2025 Q1 より筆者作成

料金には基礎単価に加えて燃料費・為替変動・インフレの変動を反映したパススルー¹²分や、付加価値税、再生可能エネルギー賦課金、規制当局賦課金などがすべての契約者に一律で上乗せされるため、低所得世帯ほど負担が重い。政府は月 30kWh 以下の利用者に対して料金を 4%引き下げるライフライン・タリフ制度を導入しているが、依然として低所得者の負担は大きい。

地域間格差も深刻で、首都ナイロビやその周辺では都市開発とともにインフラ整備が進む一方、北部や北東部、インド洋沿岸などでは、長年にわたり国家政策上の優先順位が低く、インフラ整備が遅れてきた。背景には、人口密度や経済活動の集中度の違いがある。

¹⁰ ICT を活用して電力の需給をリアルタイムに監視・制御し、送配電網の効率化と安定化を図る次世代型電力システム。

¹¹ 電力の発生から消費までの一連のシステム、すなわち発電から始まり、送電、変電、配電を経て、最終的に電力を消費する需要家に至るすべての要素が組み合わさって構成されるシステムである（環境省、2010）。

¹² 燃料費・為替・インフレなど外的コスト変動を反映して電気料金を調整する制度。（EPRA, Electricity Tariff Components, 2024）

また、送電網の延伸が困難な地域では、ミニグリッド¹³やスタンドアローン型¹⁴の電源装置など、分散型エネルギー¹⁵の導入が不可欠である。しかし、これらは出力の不安定さや蓄電容量の制約を抱え、採算性も低い。農村部では消費量が少ないため初期投資の回収が難しい。そのため、初期段階の電化には、政府や関係機関による補助金・財政支援の仕組みが不可欠である。

第3節 日本の協力

第1項 ODA と日本企業の連携

日本の政府開発援助で整えられた制度を基盤に、民間企業と日本発の NGO が現場での実装を担っている。供給側では企業の技術と建設支援が安定供給を支え、需要側では太陽光照明や地域電化が生活改善に直結している。次の表 3 に、それぞれの主体の具体的な取り組みと成果を整理する。

表 3 ケニアの電力分野における日本の ODA ・民間企業の役割

区分	主体	主な事業・活動内容	成果・役割
① 制度・案件形成 (ODA 基盤)	外務省／JICA	電力マスタープラン策定支援、地熱資源調査、送配電網整備、LMCP 支援	制度設計・案件形成・融資環境を整備し、民間参入を促進
② 供給側 (発電・系統)	(株) 東芝エネルギーシステムズ	オルカリア I (1-3 号機) 更新用地熱タービン・発電機の供給 (2024 年受注) (写真 3)	発電効率・運用安定性を向上
	(株) 三菱パワー	オルカリア V 地熱発電所 (140MW) の主要機器供給および EPC 請負 (2019 年稼働)	高性能化・工期短縮を実現
	(株) 富士電機	オルカリア I 追加 6 号機・メネンガイ地熱発電所向けタービン・発電機納入	発電性能・信頼性を強化
	(株) 豊田通商	メネンガイ地熱発電所 (35MW) 建設契約、再エネ事業投資	再エネ発電事業の実装促進
	(株) 住友商事	オルカリア VI PPP 事業のショートリスト候補	新規地熱案件形成への関与

¹³ 地域内で独立して発電・配電を行う小規模電力網。

¹⁴ 既存の送電網に接続せず、家庭や施設単位で完結して電力を供給する独立型システム。

¹⁵ 集中型の大規模発電所からの送電に依存せず、地域または利用者の近くで発電・供給を行うエネルギーシステム。

③ 需要側 (利用促進)	(株) パナソニックホールディングス	太陽光ランタン・省エネ照明機器の無電化地域への導入	家庭・学校の電化促進と安全照明の普及
	World Vision Kenya	学校・地域施設への太陽光発電・クリーン調理導入支援	教育・保健分野での電力利用拡大

出典：各社報告書・ウェブサイト等より筆者作成

写真 3 オルカリア IV 地熱発電所訪問にて実際に使用されていた東芝のタービン



出典：筆者撮影（2025 年 8 月 28 日、ナクル県オルカリア IV 地熱発電所）

第 2 項 JICA の取り組みと電力アクセス率向上への貢献

JICA の支援は、地熱を核にした発電力強化、幹線送電の増強、都市配電の更新、人材育成を柱として、電力アクセス拡大と系統の信頼性向上に継続的に寄与してきた。地熱ではオルカリア群の新增設・改修を通じてベースロードの安定化と効率改善を後押しし、送電では地域の負荷中心を結ぶ系統強化、配電では変電所増強や老朽線更新、計量の高度化により停電時間と送配電ロスの削減を図り、新規接続の受け皿整備を進めた。併せて、官民・大学と連携した研修により、実務スキルを現場に定着させている。近年は需要側にも踏み込み、家庭の実測に基づくピーク要因分析を踏まえ、TOU 制度の活用や機器ラベリング、高効率機器の普及促進などの施策パッケージを提示した。供給側の増強と需要側の最適化を両輪とするこの枠組みにより、アクセス拡大と質の向上を同時に進めるアプローチが確立されつつある。

第 3 章 先行研究

第 1 節 先行研究の整理

本稿は、ケニアを対象として、電力アクセスの拡大が家計支出、教育水準、健康水準といった本稿の定義する「貧困」への影響を実証的に明らかにし、持続的かつ包摂的な開発の実現に向けた政策提言を目指す。関連する先行研究は、①電力アクセスが所得、教育、健康などの貧困指標に与える影響を検証した研究と、②電力分野の政策が電力アクセスの拡大に与える影響を分析した研究の2つに分類できる。

第1項 電力アクセスが貧困に与える影響

ここでは、(1) 所得 (2) 教育 (3) 健康への電力アクセスの効果を整理する。

(1) 所得への影響

Khandker et al. (2012) は、バングラデシュ農村の約2万世帯データを用いて、グリッド電化が世帯所得を平均21%増加させ、貧困率を1.5ポイント低下させたと報告している。電力アクセスの効果は比較的裕福な世帯でより大きく、所得階層による波及差も確認された。

また、Dinkelman(2011)は南アフリカ農村部の送電線拡張を自然実験として利用し、電化が女性の労働参加を有意に促進することを示した。家事労働の省力化を通じて市場就業や自営業活動への参加が促進され、家計所得の増加に寄与する経路が確認されている。

これらの研究は、電化が生産活動や就業機会を通じて、経済的自立を後押しすることを実証している。

(2) 教育への影響

Bridge(2017)はニカラグアのパネルデータを用いて、電化が非農業所得を17~21%押し上げ、初等教育修了率を7~10ポイント有意に高めることを示した。照明環境の改善により、夜間学習時間が1日あたり平均0.6時間延び、テレビやラジオを通じた情報アクセスの拡大が、児童の学業成果向上に寄与していると指摘されている。

さらに、Gashaye et al. (2025)はエチオピア農村世帯を対象に同時方程式モデルを推定し、電化世帯では非電化世帯に比べ家族の平均教育年数が約2年長いと報告している。特に女子児童において就学率の上昇が顕著であり、家庭労働の負担軽減と情報アクセス拡大が教育機会の格差縮小につながる可能性を示唆している。

このように、電力アクセスの向上は単に照明の確保にとどまらず、教育投資と人的資本形成の促進に寄与することが多くの研究で確認されている。

(3) 健康への影響

Cohen Ang' u et al. (2023)はケニアの世帯データを用いて多次元エネルギー貧困指数(MEPI)を構築し、電力未利用や伝統的燃料依存が健康に与える影響を分析した。結果として、エネルギー貧困が深刻な地域ほど呼吸器疾患リスクが高く、近代的燃料利用の拡大が健康改善と強く関連することを示した。

また、Gashaye et al. (2025)は、電化世帯の医療費が未電化世帯より44%低いと報告し、屋内大気汚染の軽減による疾病負担の低下を指摘した。薪・木炭に依存する世帯では医療費が約39%高い傾向がみられ、燃料構成の違いが健康格差を生んでいることが確認された。

このように、電力アクセスの向上は清潔なエネルギー利用を促し、疾病リスクを減少させることで家計の医療負担を軽減する効果を持つ。

(4) 総合的考察と先行研究の限界

以上から、先行研究は総じて電力アクセス率向上が家計の所得向上、教育達成度の上昇、健康リスクの低減といった貧困指標の改善を及ぼすことを示唆している。

一方で、これらの研究には限界点が3つ挙げられる。

第一に、分析の多くが特定国・地域に限定された短期的効果に焦点を当てており、他地域や長期的影響への一般化は難しい。例えばDinkelman(2011)の研究は南アフリカの制度的背景下での5年以内の雇用効果に特化しており、中長期的に教育や健康に波及する影響については十分検討されていない。またLee et al. (2019)のケニアにおける実験研究では、接続補助後の16~32か月間に所得・教育・健康など主要指標への有意な改善が見られなかったことが報告されている。観察期間が2年程度と比較的短く、電化の恩恵が表れるまでの時間差(ラグ)を考慮できていない可能性がある。

第二に、先行研究の手法上の制約として、電力アクセスと貧困の関係における内生性バイアスの問題がある。多くの研究がPSMや操作変数法を用いて対処を試みているものの、横断データに基づく分析では依然として因果特定に限界が残る。

第三に、電力アクセスの「質」や供給信頼性に十分な注意が払われていない点も挙げられる。停電の頻発や電圧不安定といった質的側面は、単に「配電網に接続されたか否か」以上に家計の電力利用と成果を左右しうる。しかし既存研究の多くは電力アクセスの有無に焦点を絞っており、制度的要因の影響を十分分析していない。

第2項 政策が電力アクセスの拡大に与える影響

電力アクセスの拡大は、政府の補助制度や料金政策が重要な役割を果たしてきた。特に、開発途上国では初期接続費の高さが家計の最大の障壁であり、政策の内容が大きく影響することが指摘されている。

Lee et al. (2019)はケニア西部で段階的補助制度のRCTを行った。結果として、補助率が全額・57%・29%と段階的に設定されたにもかかわらず、需要の増加は限定的であり、実際の接続率は無補助群の約1%に対して全額補助でも50%に届かなかった。これは、接続料以外の支出制約や信用制約が需要拡大を妨げていることを示した。さらに、接続後の電力利用も低水準にとどまり、電力アクセスが即座に所得や教育、健康に波及する効果は確認されなかった。これらの結果から、価格引下げだけでは電力アクセスを持続的に促すには不十分であることが明らかとなった。

一方、エチオピアを対象としたGashaye et al. (2025)は、政府の電化補助が世帯レベルの所得・教育・健康に及ぼす効果を分析している。電力アクセス率の向上は所得水準や教育年数を有意に高めたが、その効果の多くは地域間で異なり、送配電インフラの整備状況や地方行政の能力によって差が生じたことが確認された。

また、アジア地域でも同様の議論がある。Khandker et al. (2012)は、南アジア3か国の比較分析を通じて、政府の送電拡張プログラムや農村電化基金の設立が電力アクセス率を高める上で決定的な要因であったと指摘した。ただし、こうした補助制度の効果は地域の所得格差や行政能力によって左右され、低所得層ほど制度の恩恵を受けにくい構造的課題も残されている。

そして、これらの研究には以下の課題が残る。第一に、政策効果を短期的な需要変化に限定して評価しており、電力利用の定着や利用の質的变化を十分に追跡していない。第二に、政策実施主体の役割分担や制度間の相互作用が十分に分析されていない。第三に、ケ

ニアを含むアフリカ諸国では、電化政策が貧困にどの程度波及しているかを定量的に示す研究が乏しい点が挙げられる。

第2節 本稿の新規性

本稿の新規性は以下の3点である。

第一に、Bridge (2017) の分析手法を応用し、PSM-DID 分析により電化の因果効果を推定した上で、RIF-DID 分析により所得階層別の効果を検証した。これにより、電化の恩恵が特に顕著な所得層を示す。

第二に、SSA 諸国のマクロパネルデータを用い、制度的要因について定性的に分析を行い、ケニアにおいて導入や運用が課題とされる政策に焦点を当てた。その上で、これらの中から選定した政策について、合成コントロール法を用いて効果を検証した。

第三に、現地フィールドワークを実施し、定量分析では捉えにくい生活実態を補足的に把握する点である。ケニアの農村地域における聞き取り調査や現場観察を通じ、電力利用によって世帯の時間利用・教育環境・健康管理行動などに及ぼす効果を検証した。利用者の主観的満足度に着目し、電化の真の効果と政策的課題をより正確に示す。

以上の3点を通じて、電力アクセスが貧困削減に与える影響をマクロ・ミクロの両側面から統合的に捉え、政策要因を明らかにし、持続的かつ包摂的な電化政策を提示する。

第4章 理論分析

本章では、Mankiw et al. (1992) の拡張ソロー・モデルを基礎に、電力資本 (E) を独立した生産要素として導入する理論枠組みを提示する。政策的介入が電力資本の成長を促し、電力アクセス向上を経て貧困削減に至る因果連鎖を、二段階メカニズムとして理論的に検討する。

第1節 モデルの理論的設定

本研究では、電力資本を独立した生産要素として取り入れた拡張型コブ＝ダグラス生産関数を仮定する。

$$Y_{ct} = K_{ct}^{\alpha} E_{ct}^{\beta} (A_{ct} L_{ct})^{1-\alpha-\beta}, \quad \alpha + \beta < 1 \quad (1)$$

ここで Y_{ct} は国 c 、年 t における広義の所得であり、 K は物的資本、 E は電力資本、 L は労働、 A は技術水準を示す。電力資本 E は物的資本 K とは独立した別個の生産要素として捉える。ここで E は、発電所や送配電網などの電力インフラ資本ストックとして定義する。これを K と分離する論理的根拠は、 K とは異なる投資決定メカニズムの影響を強く受けるためである。

物的資本と電力資本への投資は、それぞれ所得の一定割合で行われ、減価償却率は同一とする。電力資本の蓄積動学式は次のとおりである。

$$\dot{e} = s_e y - (n + g + \delta)e$$

同様に、物的資本の蓄積動学式は以下のように表される。

$$\dot{k} = s_k y - (n + g + \delta)k$$

まず、技術水準を A 、労働を L とし、その積 $A \cdot L$ を有効労働と定義する。 \dot{k} と \dot{e} は、それぞれ有効労働あたりの物的資本と電力資本ストックの時間当たり変化量を示す。 $s_k y$ ($s_e y$)は新たな投資による資本の増加であり、 $(n + g + \delta)k$ ($(n + g + \delta)e$)は、労働増加、技術進歩、資本減耗による有効労働あたりの資本の減少を表す。

第2節 電力アクセスと貧困：二段階メカニズムの理論化

本節では、政策から所得までの経路を、二段階で理論化する。

第1段階として、政策的介入 ($Policy_{ct}$) が電力資本への投資率 ($s_{e,ct}$) に影響すると仮定する。これは政策が電力インフラ投資の「適切な環境整備」を促すことを示す。

$$s_{e,ct} = \delta_0 + \delta_1 policy_{ct} + \epsilon_{ct}, \quad \delta_1 > 0 \quad (2)$$

この関係式は、政策が電力アクセスの拡大という役割を果たすことを示す。実際、Michoud et al. (2021)は、政策の効果的な実行こそが、電力アクセスを向上させるための核心的な役割を果たし、それによって最終的に電力普及率が高まると指摘している。

第2段階では、第1段階で決定された投資率に基づく電力資本の蓄積が広義の所得に与える効果を分析する。式(1)を対数微分し、成長会計式を導くと次の関係が得られる。

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{E}}{E} + (1 - \alpha - \beta) \frac{\dot{L}}{L} + (1 - \alpha - \beta) \frac{\dot{A}}{A} \quad (3)$$

ここで $\frac{\dot{Y}}{Y}$ は広義の所得成長率、 $\frac{\dot{E}}{E}$ は電力資本成長率を示す。係数 β が正 ($\beta > 0$) である限り、電力資本の拡大は広義の所得を押し上げ、貧困を緩和する方向に作用する。

式(2)と(3)は、エネルギー政策が電力アクセスを介して所得に間接効果を与える二段階メカニズムを示す。第1段階では政策介入が投資率を通じて電力アクセスを推進し、第2段階では電力資本の成長が所得を高め、貧困削減に寄与する。この理論枠組みは、実証分析における政策の間接効果を検証する基礎モデルである。

第3節 定常状態分析と政策効果の理論的予測

本節では、電力資本が定常状態における広義の所得 (Y) に与える影響を導く。すなわち、電力資本への投資率変化が長期的な所得水準に及ぼす効果を分析する。式(1)を有効労働一人当たりの形に変換すると、生産関数は次のように表される。

$$y = k^{\alpha} e^{\beta}$$

ここで、 $y = Y/(A \cdot L)$ は有効労働一人当たりの広義の所得を表す。 k は物的資本、 e は電力資本をそれぞれ有効労働で割ったものである。

第1節で定義した連立方程式 ($\dot{k} = 0$ と $\dot{e} = 0$) に基づき、定常状態を解くと、有効労働一人当たりの定常所得 y^* は、各投資率と $(n + g + \delta)$ によって次のように決定される。

$$y^* = s_k^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} s_e^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} (n + g + \delta)^{-\frac{\alpha+\beta}{1-\alpha-\beta}}$$

この式から、電力資本投資率の弾力性 ($\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}$) が正である限り、電力資本への投資率の増加は長期的に広義の所得の水準 y^* を上昇させる方向に作用することが理論的に示される。すなわち、電力資本の改善は、教育機会の拡大、所得創出、および保健インフラの機能強化を通じて、広義の所得の水準を向上させる。

上式の両辺を自然対数で線形化し、一人当たり所得 $\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln A_0 + gt + \ln y$ の関係を適用すると、実証分析の基礎となる以下の式が得られる。

$$\ln y^* = \ln A(0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha-\beta} \ln s_k + \frac{\beta}{1-\alpha-\beta} \ln s_e - \frac{\alpha+\beta}{1-\alpha-\beta} \ln(n + g + \delta)$$

この式は、広義の所得の対数を被説明変数とする線形化モデルであり、電力資本の変化が定常状態における所得の動向にどの程度影響するかを理論的に示している。

以上の分析から、政策的介入が電力資本投資率に影響を与え、その投資率が資本蓄積の動学を通じて長期的な定常状態の所得水準を決定するという因果連鎖が理論的に示された。したがって、エネルギー政策は電力アクセスの蓄積経路を通じて間接的に貧困を緩和し、社会的厚生を向上させる重要な政策的手段であると位置づけられる。

第5章 計量分析

本章では、前章で構築した理論モデルにおいて示された「電力アクセスを通じた貧困の改善効果」を実証的に検証する。電力アクセスが所得・教育・健康の三側面に与える影響を定量的に明らかにし、貧困緩和に至る経路を多面的に把握することを目的とする。

本章の分析は、理論モデルにおける第二段階（電力アクセスが貧困に与える影響）を対象とし、次の4つの方法で構成される。なお、第一段階については第7章にて分析する。

第1節では、SSA 48カ国を対象とするマクロ計量分析を行い、電力アクセスの進展が国レベルの所得・教育・健康に与える影響を検証する。第2節、第3節および第4節では、ケニアを対象としたミクロデータ分析により、電力アクセスが家計レベルの所得・教育に及ぼす影響を検証する。

以上を通じて、理論的に導かれた「政策→電力アクセス→貧困削減」という二段階経路を実証的に裏づけることを目的とする。また、本章では所得データの信頼性が低い途上国の特性を踏まえ、家計の生活水準指標として消費支出を用いる。消費は効用に直接関係し、恒常所得をより反映するためである (Haughton & Khandker, 2009)。

第1節 分析Ⅰ：電力アクセスが所得・教育・健康に与える影響の固定効果分析

第1項 分析の概要

本節では、SSA 48カ国を対象に、電力アクセスの拡大が所得・教育・健康に与える影響を固定効果モデルにより検証する。

本研究の推定モデルは次式で表される。

$$\ln Y_{ct} = \sum_{i=0}^3 \beta_i \ln Elec_{c,t-i} + \gamma' X_{ct} + \mu_c + \lambda_t + \varepsilon_{ct}$$

ここで、 Y_{ct} は国 c 、年 t における所得・教育・健康の指標を表し、 $Elec_{c,t}$ は電力アクセス率を示す。係数 $\beta_0 \sim \beta_3$ は電力アクセスの当期および遅延的効果を表し、 μ_c は国固定効果、 λ_t は年固定効果、 ε_{ct} は誤差項を表す。すべての変数は自然対数化され、係数は弾力性として解釈可能である。本研究では、電力アクセスの効果が時間をかけて顕在化する可能性を考慮し、固定効果モデルに最大3期のラグを導入した分布ラグ仕様¹⁶を採用した。説明変数の過去値を同時に含めることで、電力アクセスの短期的および中期的な影響を明示的に捉えることを目的としている。国固定効果および年固定効果を含め、標準誤差は国レベルでクラスターリングした。

第2項 データ

本節では、SSA 48カ国のWDIの年次データ（2000～2023年）を用いてパネルデータを構築した。

被説明変数には、所得を表す「家計最終消費支出」、教育を表す「初等教育就学率」、健康を表す「平均寿命」を使用した。主要な説明変数は電力アクセス率であり、統制変数には、既存研究（Burns et al., 2017; Asongu & Le Roux, 2017; Tsekane, 2024）を参照し、経済構造と国際経済関係を反映する4変数を採用した。民間部門信用供与、外国直接投資、個人送金、および貿易依存度である。

変数の定義と記述統計量を表4に示す。

¹⁶ 本研究で用いる分布ラグ仕様（finite distributed-lag specification）は、説明変数の当期および過去の値を同時に回帰式に含め、その効果が時間をかけて被説明変数に波及する構造を明示的に推定する方法である。（Wooldridge, 2010）

表 4 使用変数の記述統計量 (SSA48 カ国、2000～2023 年)

変数名	定義	観測数	平均値	標準誤差	最小値	最大値
電力アクセス率(農村部, %)	農村地域で電力を利用できる人口の割合	1, 103	24. 8	26. 1	0. 4	100
クリーン燃料・調理アクセス率 (%)	主要な調理手段として清潔な燃料・技術を利用する人口の割合	1, 104	20. 5	27. 2	0	100
一人当たり家計最終消費支出(実質2015ドル)	家計・非営利団体による最終支出を人口で除した値	935	1, 492. 4	1, 769. 4	195. 5	12, 789. 3
初等教育就学率(%)	初等教育に在籍する児童の総就学率 (%)	888	98. 7	22. 8	8. 5	156. 8
平均寿命(年)	出生時に予想される平均余命	1, 152	58. 9	7. 0	14. 7	77. 2
民間部門向け信用供与額(対GDP比, %)	GDPに占める民間部門への国内信用の比率	1, 029	19. 2	21. 5	0	142. 4
外国直接投資(ドル)	外国直接投資 (FDI) の流入額	1, 145	$6. 57 \times 10^8$	$1. 80 \times 10^9$	$-7. 4 \times 10^9$	$4. 07 \times 10^{10}$
海外送金(ドル)	海外在住者から受け取る個人送金額	1, 095	$7. 13 \times 10^8$	$2. 71 \times 10^9$	0	$2. 43 \times 10^{10}$
貿易開放度(輸出入合計/GDP, %)	経済全体に占める貿易 (輸出 + 輸入) の割合	1, 027	69. 8	41. 1	2. 5	347. 7

出典：WDI, World Bank (2024) より筆者作成

第 3 項 分析の結果・考察

推定結果を表 5 に示す。すべてのモデルには国固定効果および年固定効果を含め、標準誤差は国レベルでクラスタ化している。表では、所得・教育・健康の各モデルを並列して示し、比較可能性を高めている。

表 5 電力アクセスが家計支出・教育・健康に与える影響（固定効果モデル，SSA 48 カ国）

変数名	家計最終消費支出(ln)	初等教育就学率(ln)	平均寿命(ln)
電力アクセス率(ln, 当期値)	-0.036 (0.026)	-0.028 (0.039)	-0.007 (0.012)
電力アクセス率(ln, 1期ラグ)	-0.045** (0.018)	-0.043 (0.026)	0.024 (0.020)
電力アクセス率(ln, 2期ラグ)	0.034** (0.017)	0.008 (0.027)	-0.011 (0.019)
電力アクセス率(ln, 3期ラグ)	0.011 (0.023)	0.028 (0.032)	0.031** -0.012
クリーン調理・燃料アクセス率(ln)	0.071** (0.028)	0.016 (0.028)	(0.003) -0.007
民間部門信用供与(ln)	-0.018 -0.038	0.007 (0.034)	0.010 (0.0107)
外国直接投資(ln)	-0.002 -0.012	0.003 (0.007)	0.002 (0.003)
個人送金(ln)	0.002 -0.002	-0.001 (0.002)	-0.0003 (0.001)
貿易依存度(ln)	0.074 -0.052	0.123** (0.051)	0.002 (0.008)
係数	6.347*** (0.217)	4.004*** (0.266)	3.888*** (0.064)
観測数	651	559	692
国数	42	43	44
R2値	0.507	0.229	0.304

括弧内はロバスト標準誤差。

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

(筆者作成)

(1) 所得（家計最終消費支出）への影響

電力アクセス率の1期ラグ係数は -0.045 ($p < 0.05$) で負の影響を示したが、2期ラグでは 0.034 ($p < 0.05$) と有意に正に転じた。電化初期には接続費用や設備投資などの負担により家計消費が一時的に抑制されるが、時間の経過とともに電力利用を通じた生産活動や情報アクセスが拡大し、所得が上昇する「遅行的波及効果」が示唆される。

(2) 教育（初等教育就学率）への影響

教育モデルでは、当期係数が -0.028 で負の影響を示し、3期ラグで 0.008 と正に転じたが、いずれも有意ではなかった。短期的には接続コストが家計の教育支出を圧迫する可能性がある一方、電力アクセスによる学習環境の改善が教育成果として表れるには一定の時間を要すると考えられる。マクロデータでは明確な効果を確認できなかったが、次節のミクロ分析で改めて検証する。

(3) 健康（平均寿命）への影響

電力アクセス率の3期ラグ係数は 0.031 ($p < 0.05$) で有意に正の影響を示した。電力は医療施設や家庭の照明・冷蔵設備の稼働を支え、生活衛生や医療サービスの質を向上さ

せることで健康水準を高める。短期的効果はみられないが、持続的な電化進展が長期的な健康改善に寄与している。

(4) 総合的考察

全体として、電力アクセスの拡大は短期的には家計消費を抑制するが、中期的には所得・教育・健康のいずれにも正の影響を及ぼす。効果は即時的ではなく、2～3年の時差をもって顕在化する傾向がみられる。なお、ラグを含まない固定効果モデル（L0のみ）では平均寿命を除き有意な効果は得られなかったが、係数の符号は概ね一致しており、分布ラグ仕様によって電化の時間的影響をよりの確に捉えられることが確認された。

第2節 分析Ⅱ：電力アクセスが所得に与える影響のPSM-DID分析

第1項 分析の概要

本節では、電力アクセスが世帯の福祉に与える影響を因果的に推定することを目的とする。従来の観察データを用いた推計では、電化世帯と未電化世帯の間に存在する選択バイアスを十分に考慮できない可能性がある。そのため、本研究では、傾向スコア・マッチング（Propensity Score Matching: PSM）¹⁷と段階的導入を考慮した差の差分析（Staggered Difference-in-Differences: Staggered DID）を組み合わせることで¹⁸、また、本分析を補完するために傾向スコア回帰（PS回帰）も実施した。詳細な推定結果については付録A-1、A-2およびA-3に示す。

本研究においては、まず電化群と未電化群の世帯が持つ属性に基づいて傾向スコアを推定し、Kernel Matching法を用いてマッチングを行う。その後、マッチング後のサンプルに対してStaggered DIDを適用し、電化前後のアウトカムの変化を比較する。

基本的な推定式は以下の通りである。

$$Y_{ht} = \alpha + \beta(Treated_h \times Post_t) + \gamma'X_{ht} + \varepsilon_{ht}$$

ここで、 Y_{ht} は世帯 h のアウトカム（家計支出）を示し、 $Treated_h$ は電化世帯ダミー、 $Post_t$ は電化後を示すダミー変数である。係数 β は電化の平均処置効果（ATT: Average Treatment effect on the Treated）を表す。 X_{ht} は統制変数、 ε_{ht} は誤差項である。

第2項 データ

本節では、ケニアにおける家計・生活水準を把握するために、Kenya Integrated Household Budget Survey (KIHBS 2005/06, 2015/16) および Kenya Continuous Household Survey (KCHS 2020, 2021, 2022) を用いてデータを構築した。いずれの調査

¹⁷ PSMは、Rosenbaum and Rubin (1983)によって理論的に定式化された手法であり、処理群と対照群の観測可能な属性に基づいて傾向スコアを推定し、類似したサンプル間で比較を可能にする。

¹⁸ Heckman, Ichimura, and Todd (1997)による研究では、PSMとDIDを組み合わせることで、未観測の時間不変な要因を統制しつつ、より厳密な因果推定が可能であることが示されている。

も Kenya National Bureau of Statistics (KNBS) により全国代表世帯を対象として実施され、支出・教育・健康に関する包括的な情報を含む。本来は最新の KIHBS 2025/26 を利用するのが望ましいが、現時点では未公開であるため、KCHS を補完的に活用することで近年の動向を反映させる。調査目的や頻度に相違はあるものの、主要項目や変数定義は共通しており、時系列比較は十分に可能である。ただし、厳密な意味でのパネルデータではないため、解釈に際しては限界を認識しつつ慎重に議論を行う。

被説明変数には、前章で理論的に定義した「貧困の三要素（所得・教育・健康）」に対応する指標を採用した。しかしデータ不足のため、所得を表す変数を「大人一人当たり支出」、教育を表す変数を「教育支出」とする。これらを式の推定に用いた。

主要な説明変数は電力アクセス率（農村部）であり、電力アクセス率の進展が家計支出や教育に与える影響を測定する。

変数の定義と記述統計量を表 6 に示す。

表 6 使用変数の記述統計量

変数名	定義	観測数	平均値	標準誤差	最小値	最大値
電力アクセス	電力アクセスダミー (1=電化世帯、0=未電化)	56,737	0.55934	0.49647	0	1
大人一人当たり支出額 (KES)	世帯の大人一人当たり月間支出額 (ケニア・シリング)	56,737	4921.28	4287.69	9.39539	552741.8
大人一人当たり教育支出額 (KES)	世帯の大人一人当たり月間教育支出額 (ケニア・シリング)	56,737	506.18	3428.75	0	410000
世帯人数(人)	同居している家族人数	56,737	4.64697	2.54024	1	29
世帯主の性別	世帯主の性別 (1=男性、0=女性)	56,737	0.91276	0.58043	0	1
世帯主の年齢(歳)	世帯主の年齢	56,737	48.5	16.32199	12	115
世帯主の年齢 ²	世帯主の年齢の二乗	56,737	2618.65	1740.547	144	13226
トイレの有無	トイレ施設の有無ダミー (1=あり、0=なし)	56,737	0.83042	0.3752751	0	1
薪使用の有無	薪を主燃料として使用 (1=はい、0=いいえ)	56,737	0.88219	0.322382	0	1

出典：KIHBS 2005/06, 2015/16 および KCHS 2020-2022 (KNBS) より筆者作成

第3項 分析の結果・考察

(1) 支出の分析結果

電力アクセスが所得（大人一人当たり支出）に与える因果効果を検証するため、傾向スコアマッチング (PSM) を実施し、処置群と対照群の共変量バランスを確認した。共変量バランス検定の結果、マッチング後の標準化平均差は多くの変数で大幅に縮小し、選択バイアスの低減が統計的に裏付けられた。その詳細な結果については付録 A-3 に記述する。

さらに、PSM-Staggered DID を適用した結果の表 7 より、ATET は 0.306（標準誤差＝0.021、 $p<0.01$ ）であり、電力アクセス導入後に所得が約 30.6%増加したことが示された。これらの結果から、電力アクセスは家計の経済的厚生を有意に改善していることが示された。ATT および PSM-DID の推定値によると、電力導入後に所得は約 30%増加しており、これは電力アクセスが生産活動や情報取得を促進し、消費能力を高めたことを反映している。所得の増加は、教育や生活の質向上への投資を可能にする基盤となる点で重要である。

表 7 電力アクセスと一人あたり支出に関する PSM-DID 分析結果

	大人一人当たり支出額 (ln)
ATET (平均処置効果)	0.306
標準誤差	0.021
p値	$p<0.01$

(筆者作成)

(2) 教育支出への影響

電力アクセスが教育支出に与える因果効果を検証するため、まず傾向スコアマッチング (PSM) を実施し、共変量のバランス改善を確認した。共変量バランス検定の結果、マッチング後の標準化平均差は多くの変数で大幅に縮小し、選択バイアスの低減が統計的に裏付けられた。その詳細な結果については付録 A-4 に記述する。

さらに、時間的变化を考慮するため、PSM-DID を適用した結果の表 8 より、ATET は 0.490（標準誤差＝0.087、 $p<0.01$ ）であり、電力アクセス導入後に教育支出が約 49%増加したことが示された。

表 8 電力アクセスと一人当たり教育支出に関する PSM-DID 分析結果

	大人一人当たり教育支出額 (ln)
ATET (平均処置効果)	0.490
標準誤差	0.087
p値	$p<0.01$

(筆者作成)

教育支出に対する電力アクセスの有意な効果が確認されたことは、家計が教育に対してより多くの資源を投入する傾向を示している。しかし、教育投資の増加が必ずしも学習機会の拡大や教育成果の改善に直結するとは限らない。特に農村部では、教育支出の増加が学校在籍率や出席率の向上にどの程度反映されるかを検証することが重要である。

このため、次の補完的分析では、電力アクセスが学校在籍率に与える影響を検討する。学校在籍率は教育の実質的なアクセスを示す指標であり、教育支出の増加が実際に子どもの就学行動に結びついているかを確認することで、電力アクセスの教育分野における社会的効果をより包括的に評価できる。

第3節 分析Ⅲ：電力アクセスが教育に与える影響のロジット分析

第1項 分析の概要

本節では、先行するPSM-DID分析を補完し、電力アクセスと教育との関係をより精緻に把握するため、ロジスティック回帰分析（Logistic regression）を実施した。特に、ロジットモデルの係数を直接解釈することが困難であるため、各説明変数が在学の有無に与える影響度を直感的に把握できるよう、限界効果を推定した。学齢期（6～17歳）における効果の異質性を検証するため、全体、学齢期（6～17歳）、非学齢期（18歳以上）の三群に分けて推定した。

被説明変数は在学の有無で、1＝在学、0＝非在学の二値変数である。主要説明変数は電力アクセスの有無（1＝アクセスあり）である。統制変数は先行研究を参考に設定した。人口統計的要因として個人属性と地域特性を考慮し、さらに家計要因を統制するため、家計規模、大人一人当たり総支出、大人一人当たり教育支出を導入した。また、衛生施設が教育成果に影響することを指摘した研究（Alam et al., 2025）を踏まえ、トイレの有無を変数に含めた。

本分析のロジスティック回帰モデルは次式で表される。

$$\text{logit}[\text{Pr}(\text{School}_s = 1)] = \beta_0 + \beta_1 \text{Elec}_s + \gamma' Z_s + \varepsilon_s$$

ここで*i*は個人、被説明変数 $\text{logit}[\text{Pr}(\text{School}_i = 1)]$ は生徒*s*が在学している確率を示す。 β_0 は定数項、 β_1 は電力アクセスの係数、 γ' は統制変数ベクトル Z_s に対応する係数ベクトル、 ε_s は誤差項である。データはPSM-DID分析と同一のものをを用いた。 Z_s は世帯人数、農村ダミー、世帯主の性別、年齢区分（24歳以下、25～50歳、51歳以上）、大人一人当たり支出、教育支出、トイレの有無が含まれる。

第2項 分析の結果・考察

分析の結果を表9に示す。

表 9 ロジスティック回帰モデルの結果（限界効果）

変数名	(1) 全体	(2) 学齢期	(3) 非学齢期
電力アクセス	0.0120*** (0.00163)	0.0182*** (0.00176)	0.00296 (0.00199)
世帯人数(人)	-0.0104*** (0.000289)	-0.00771*** (0.000277)	-0.00989*** (0.000366)
農村	0.0271*** (0.00168)	0.0226*** (0.00189)	0.0195*** (0.00186)
世帯主の性別(女性)	-0.0118*** (0.00138)	-0.00257 (0.00149)	-0.0192*** (0.00162)
25～50歳	-0.700*** (0.00117)		-0.408*** (0.00185)
51歳以上	-0.721*** (0.00109)		-0.430*** (0.00179)
大人一人当たり支出額 (In_KES)	-0.0110*** (0.00131)	0.0141*** (0.00135)	-0.00637*** (0.00150)
大人一人当たり教育支出額 (In_KES)	0.0361*** (0.000523)	0.0165*** (0.000579)	0.0451*** (0.000584)
トイレ施設	0.0598*** (0.00225)	0.0727*** (0.00179)	0.0231*** (0.00264)
観測数	280,958	108,489	172,469

括弧内はロバスト標準誤差。

注 * * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001。

(筆者作成)

主要変数である電力アクセスは全体と学齢期グループにおいて有意に正であった。これは、電力にアクセスできる世帯にいる人ほど学校に在籍している確率が高いことを示す。特に学齢期グループではこの傾向がより顕著であり、確率の上昇幅が1.82%ポイントと最も大きく、電力アクセスが教育機会の拡大に寄与していることが確認された。一方、非学

年齢グループでは係数は正ではあるものの有意ではなく、教育活動への直接的影響よりも、家庭環境の改善を通じた間接的効果の可能性が考えられる。総支出は学齢期でのみ有意に正であり、生活水準の向上が就学を促進することが考えられる。教育支出は有意に正であり、家計の教育投資が在学確率を高めることを裏付けた。

以上の結果から、電力アクセスは児童の教育参加を最も強く促進する要因の一つであることが明らかになった。特に学齢期におけるその効果は顕著であり、夜間学習環境の改善や情報アクセスの拡大を通じて在学継続を促進すると考えられる。さらに、教育支出や衛生環境の整備といった要素も正の影響を及ぼす一方、世帯規模などの要因は教育参加を抑制する方向に働いている。これらの結果は、電力アクセスが教育機会の拡大において極めて重要な役割を果たしていることを裏付けている。

前節の PSM-DID 分析では、電力アクセスが一人当たり教育支出を約 49% 有意に増加させることが示されたものの、教育支出はあくまで教育投資の代理指標であり、実際の在学への波及を直接的に把握することはできなかった。これに対し、本節のロジット分析（表 15）は、その教育支出の増加が実際の在学に結びついているかを検証したものであり、学齢期児童の在学を 1.82% ポイント押し上げるという有意な効果を確認した。すなわち、電力アクセスは教育への投資意欲を高めるだけでなく、実際の在学行動を促す段階へ波及していることが明らかになった。

第 4 節 分析Ⅳ：電力アクセスが所得階層ごとに与える影響の RIF-DID 分析

第 1 項 分析の概要

分析Ⅱでは、電化が平均的な家計支出および教育投資を有意に押し上げることを実証したが、その効果は世帯の所得階層によって異なる可能性がある。そこで、本節では電力アクセスの効果が家計支出に与える影響の分布を明らかにし、どの所得階層でより顕著に効果が表れるのかを検証する。

手法には RIF 回帰を staggered-DID の枠組みと組み合わせ、無条件分位点（10・25・50・75・90 パーセンタイル）における電化の因果効果（ATT）を推定する。

まず、地域クラスター単位で年次の電化率の平均を算出し、電化率が 0.5 を初めて上回った年をそのクラスターの処置年 G と定義した。これにより、クラスターごとに電化導入のタイミングが特定され、段階的導入 DID の推定が可能となる。手法の詳細は付録 A-4 に示す。

推定は「まだ処置を受けていない」群を対照群として行い、各分位点における ATT と 95% 信頼区間を算出した。

第 2 項 データ

分析Ⅱ・Ⅲと同様に、KIHBS（2005/06, 2015/16）および KCHS（2020, 2021, 2022）を統合したパネルデータを用いた。被説明変数は大人 1 人当たり消費支出の対数値であり、世帯の生活水準を示す主要な貧困指標である。主要統制として、教育支出の対数、世帯人数、世帯主属性（性別・年齢・年齢²）、住宅・生活環境（水汲み回数、薪使用、藁屋

根、土床、一部屋、トイレ施設)、および農村ダミーを用いる。これらは、家計の貧困や住宅の耐久性を左右する要因などであり、Bridge(2017)に基づいて家計の所得機会や居住環境を統制する目的で選定した。表 10 に使用変数の記述統計量を示す。

表 10 使用変数の記述統計量

変数名	定義	観測数	平均値	標準誤差	最小値	最大値
大人一人当たり支出額 (KES) (ln)	世帯の大人一人当たり月間支出額 (ケニア・シリング)	88,147	8.50349	0.763981	2.240027	13.22265
電力アクセス	電力アクセスダミー (1=電化世帯、0=未電化)	88,147	0.640317	0.47991	0	1
大人一人当たり教育支出額 (KES) (ln)	世帯の大人一人当たり月間教育支出額 (ケニア・シリング)	52,024	5.766381	1.485864	-0.6617	13.81751
世帯人数(人)	同居している家族人数	88,147	4.30937	2.512162	1	29
世帯主の性別	世帯主の性別 (1=男性、0=女性)	69,558	0.8521378	0.354966	0	1
世帯主の年齢(歳)	世帯主の年齢	88,147	45.75815	16.02614	12	115
世帯主の年齢 ²	世帯主の年齢の二乗	88,147	2350.643	1656.771	144	13225
農村	地方(農村)居住ダミー (1=農村、0=都市)	88,147	0.638218	0.480519	0	1
水汲み(回)	世帯が水汲みへ出かける月間の回数	88,147	7.610941	7.019497	0	90
薪使用の有無	世帯が薪を主燃料として使用 (1=はい、0=いいえ)	88,147	0.663755	0.472427	0	1
藁屋根	藁・草屋根の住宅居住ダミー	88,147	0.061443	0.240142	0	1
土床	土床の住宅居住ダミー	88,147	0.079379	0.270331	0	1
一部屋	世帯の住宅が一部屋のみかを表す	88,147	0.494175	0.499969	0	1
トイレの有無	トイレ施設の有無ダミー (1=あり、0=なし)	88,147	0.882605	0.321892	0	1

出典：KIHBS 2005/06, 2015/16 および KCHS 2020-2022 (KNBS) より筆者作成

第3項 分析の結果・考察

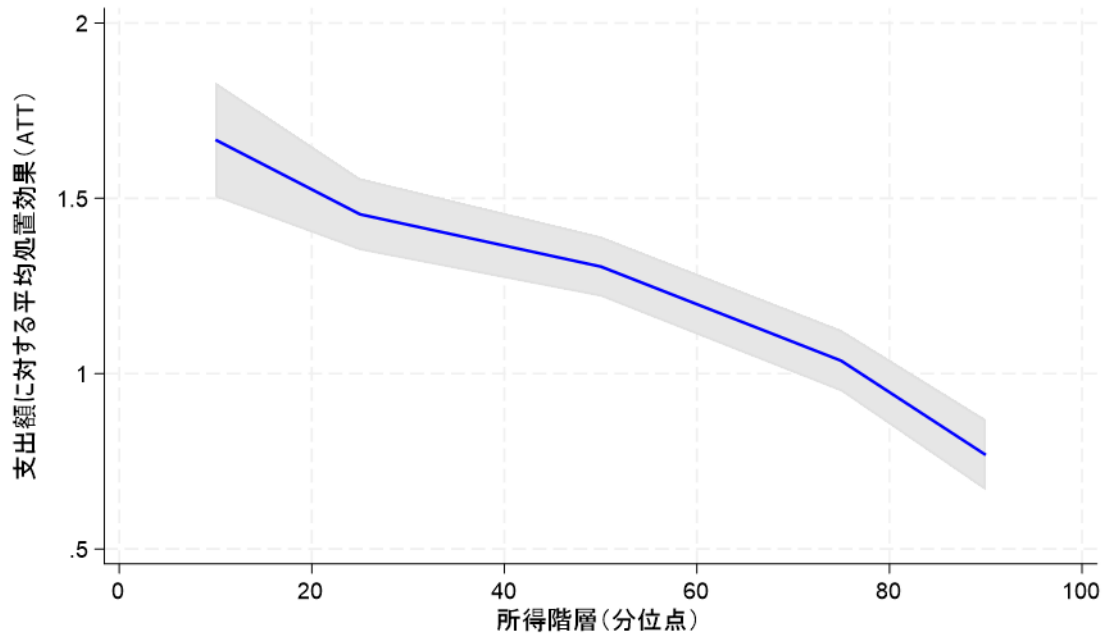
推定結果を表 11 および図 5 に示す。

表 11 電力アクセスと消費の分位点

低所得	推定値(ATT)	標準誤差	95%信頼区間(下限)	95%信頼区間(上限)	有意水準
(1) 最貧困 (q=10)	1.667	0.083	1.503	1.831	***
(2) 低所得者 (q=25)	1.455	0.052	1.352	1.557	***
(3) 中間所得者 (q=50)	1.306	0.044	1.220	1.391	***
(4) 高所得者 (q=75)	1.037	0.045	0.949	1.124	***
(5) 最富裕層 (q=90)	0.768	0.052	0.667	0.869	***

(筆者作成)

図 5 電化の所得階層別効果 (RIF-DID、5 分位)



(筆者作成)

分位点が高くなるにつれて ATT が単調に減少しており、電力アクセスの効果が最貧層ほど大きく、上位層ほど小さいことが明確に表れている。特に下位 20%では 1.67 と高く、上位 20%では 0.77 にとどまる。これは、低所得層の支出をより強く押し上げること示唆している。

つまり、電力アクセスは単に平均的な支出を押し上げるだけでなく、分布全体をより平等な方向に変化させる格差縮小効果の可能性をもつ。これは、低所得層が電力を得ることで、照明・家内生産・教育活動・情報アクセスなどの基本的サービスを利用できるようになり、生活の質が大きく改善されることを反映している。

一方で、上位層では効果が限定的であり、既に代替エネルギー源や安定収入を有する世帯では、追加的利益が小さいと考えられる。この結果は、低所得層で電化の恩恵が最も大きく表れることを裏づけており、電力アクセスの拡大が貧困削減に直結する政策手段であ

ることを示している。限られた公共投資や資源の中で、どの所得層に重点的に資金を配分すべきかを検討する際に、この結果は重要な政策的含意をもつ。

第6章 実態調査

第1節 フィールドワークによる電力アクセスの効果の検証

第1項 目的と位置づけ

本節は、前章の計量分析で示された電力アクセスの効果について、現地の実態を通じて因果経路を検証する。所得・教育・健康に加えて、家計行動・費用構造に与える影響を比較し、計量分析の傾向の背景を検証する。

本調査は、筆者らが「電力アクセスが家計の所得・教育・健康に与える影響を明らかにしたい」という研究テーマを提示したことをきっかけに、JICA ケニア事務所のご協力を受け、無償資金協力「ナクル市及びその周辺並びにモンバサ市周辺配電設備整備計画」のプロジェクト評価の一環として協働が実現したものである。調査は同事業の枠組みの下、KPLC の支援を得て共同で実施された。JICA ではこれまで、配電設備整備の進捗や接続世帯数などの成果を中心に評価を行ってきたが、電力アクセスが家計の経済状況や生活環境に与える効果を把握する機会は限られていた。そのため、こうした従来の評価を補完し、電力アクセスの波及効果をより多面的に検証する試みとして位置づけられる。

実施日は2025年8月29日・30日、場所はNyandarua郡Kinangop地域（写真4）。筆者らが設定した基準¹⁹をKPLCが現地事情を踏まえて適用し、電化済み4世帯・未電化5世帯を抽出した。協議を重ねてアンケート用紙（付録A-5）を作成し、半構造化インタビューの形式で行った。この他にも、ケニア関連の企業訪問や、滞在中に、電力アクセスの効果に関するインタビューを行ったので、以下では、その成果も踏まえて議論を展開する。

¹⁹ (1)大規模土地保有世帯の除外、(2)同程度の経済水準の地域、(3)子どものいる世帯、(4)平均または平均以下の経済状況

写真 4 Nyandarua 郡 Kinangop 地域の位置



出典：筆者作成（Google Map より）

第 2 項 現地調査の結果と主要な知見

本調査では、電化済み世帯と未電化世帯の間で照明手段・エネルギー支出構造・教育環境・健康に明確な差異が観察された。全世帯の結果は表 12 に示し、代表的な事例を踏まえつつ主要な知見を整理する。

表 12 現地調査の結果（筆者作成）

項目	世帯 A	世帯 B	世帯 C	世帯 D	世帯 E	世帯 F	世帯 G	世帯 H	世帯 I
村	Gathawbi	Kariahu	Upper Mbaruk	Wakahel	Mbirithi	Jambini	Mawingu	Bignano	Bignano
電化状況	未電化	未電化	未電化	未電化	未電化	電化	電化	電化	電化
世帯人数	11	8	4	8	12	8	2	5	8
子ども数	2	1	1	2	0	6	0	3	7
職業	農業 (キャベツ等)	農業 (キャベツ等)	オートバイ修理＋農業	農業 (じゃがいも)	農業 (トウモロコシ等)	農業 (キャベツ等)	農業 (トウモロコシ等)	商業＋農業 (野菜販売)	農業 (自家消費中心)
月収 (KES)	1667	1833	30000	10000	4000	6000	2000	10000	500
農地面積	1 acre	3 acres	－	2 acres	1/4 acre	1/2 acre	1/2 acre	1/8 acre	1/2 acre
家畜	牛 1・鶏 (ペット)	牛 4・鶏	牛 1	牛 2・鶏・羊	牛 3・鶏	－	牛 2	－	牛 2・ヤギ 5
照明手段	ソーラー・パラフィン	ソーラー・パラフィン・キャンドル	ソーラー・キャンドル	ソーラー・パラフィン・キャンドル	ソーラー・キャンドル・パラフィン	電気	電気	電気	電気
調理燃料	薪	薪 (屋内)	炭・薪	薪	薪・ガス	－	薪・炭	薪・ガス	－

電気代/月 (KES) (前→後)	2000～ 3000	60KES/日 (18 ヶ月 PAYG)	-	-	-	2000～ 3000→ 1000	200/月	1600→1000	500→200
支払い制度	-	14 日未払い で停止	-	修理不可・再 支払い	-	Last Mile 接続	-	-	-
導入年	-	-	-	-	-	2019	2020	2020	2019
教育への影 響	暗くて宿 題ができ ず体罰あ り	子どもは寄 宿・教育影響 少	-	-	-	-	-	出席率・成績 向上	オンライン授 業・宿題容易
健康・生活 の変化	特になし	薪煙害リスク	特になし	特になし	特になし	生活利便 性向上	夜更かし・ 生活時間変 化	健康・衛生改 善	生活利便性・ 健康改善
生活行動の 変化	早寝 (19 時頃)	照明制限あり	音楽・TV で幸福感 ↑	7～9 時就寝	特になし	家事・学 習時間拡 大	夜間活動増 加	夜間照明で生 活拡張	夜間活動・家 事効率化
主な用途	照明・テ レビ	照明・テレビ	テレビ・ ラジオ	照明	照明・テレビ	照明・テ レビなど	照明・テレ ビ・ラジ オ・アイロ ン	照明・TV・温 水シャワー・ アイロン	照明・TV・ラ ジオ
備考	ソーラー 停止・不 安定	PAYG で未払 い停止	安定収入 あり	ソーラー故障 リスク	子ども独立済	安定供給	停電時キャ ンドル	ソーラー故障 経験あり	停電少なく安 定

(1) 未電化世帯の特徴

未電化世帯では、照明をソーラーランタン、キャンドル、パラフィンランプなどに依存する(写真5, 写真6)。これらは照度・安定性が低く、夜間の学習活動を著しく制限し、Gathawbi 村の世帯 A では「暗くて宿題ができず、課題未提出による体罰がある」と報告された。また、呼吸器官などへの悪影響なども報告された。

写真 5 未電化世帯の照明手段：ソーラーランタン



出典：筆者撮影（2025 年 8 月 29 日、Nyandarua 県 Kinangop 地域 Gathawbi 村）

写真 6 未電化世帯の照明手段：キャンドル



出典：筆者撮影（2025 年 8 月 29 日、Nyandarua 県 Kinangop 地域 Gathawbi 村）

さらに、Kariahu 村の世帯 B では、写真7のようなソーラーパネルを Pay-as-you-go 方式²⁰（60KES²¹/日を 18 か月払い²²）で利用していたが、14 日間未払いで停止される仕組みであり、電力アクセスの持続性の脆弱さが課題となっていた。

²⁰ 分割前払い方式。モバイルマネーを活用したオフグリッド太陽光の支払い方式として普及。

²¹ 日本円で約 68 円。

²² 1800KES(約 2043 円)/月、x32400KES(約 36774 円)/18 ヶ月となると、前述の世帯収入に占める割合が大きく、家計にとって大きな負担となることがわかる。

写真 7 未電化世帯の屋根に設置されたソーラーパネル



出典：筆者撮影（2025 年 8 月 29 日、Nyandarua 県 Kinangop 地域 Wakahel 村）

（2）電化済み世帯の特徴

一方、電化済み世帯では、支出効率・教育・健康の複合的改善が観察された。

Bignano 村の世帯 H では、2000 年のアクセス以前はキャンドル 4 本／日に月 1,600Ksh を費やしていたが、アクセス後は電気代が月 1,000Ksh に減少した。電気はテレビ・アイロン・温水シャワーなどに利用され、家事・学習時間の双方を拡張し、子どもの出席率や成績の向上が確認された。

同村の世帯 I でも、2019 年のグリッド接続以降にソーラー依存から切り替え、エネルギー支出が月 500Ksh から 200Ksh に減少した。停電は稀で、オンライン授業や宿題が可能となり、学習時間・集中度が向上したという報告が得られた。こうした知見は、定量分析で確認された「電力アクセス→教育成果・教育投資額の向上→人的資本形成」のメカニズムを生活実態レベルで裏付ける証拠といえる。

今回の現地調査では直接所得の増加に言及した世帯はなかったが、ケニア西部の Laikipia 県出身で養鶏を営んでおり、2008 年に世帯が電力にアクセスした KenGen のスタッフは、電力アクセスにより経済活動が大きく変化したという。卵を温める機械が使用可能となり、効率性が向上し、雇用主となり、規模が拡大した。このように、所得に直接影響を与える場合もある。

第 2 節 計量分析との統合的考察

本節では、計量分析で得られた結果を、Nyandarua 郡 Kinangop 地域におけるフィールドワークの知見と統合し、電力アクセスの効果とそのメカニズムを検討する。

まず、マクロ分析では電力アクセス率の所得の係数が短期的に負、中期的に正へと転じ、初期の費用負担が一時的に家計消費を抑制する一方、時間の経過とともに生産性向上などを通じて所得を押し上げることが確認された。この傾向は、ミクロ分析でもアクセス後に所得が平均 30% 程度増加するという結果として示された。現地調査でも、Bignano 村の電化世帯ではキャンドル使用時の支出が電気代へと減少し、家計支出の効率化が観察さ

れた。この事例は、短期的な負担を経て中期的に効率化へ転じるという定量結果の因果経路を裏づけている。

教育面でも同様に、ミクロ分析では電力アクセスが教育支出を約 49%増加させ、就学率を有意に押し上げる効果が確認された。フィールドワークでは、未電化世帯が暗い照明環境のために宿題ができず、未提出による体罰を受けるケースが見られた一方、電化世帯では夜間学習やオンライン授業が可能となり、学習時間と集中度の向上が報告された。これらの観察は、電化が教育支出の増加を通じて学習機会を拡張し、人的資本形成を促進する経路を示す。

健康面では、マクロ分析で平均寿命の 3 期ラグ係数が有意に正であり、衛生環境や医療アクセスを改善することが示された。現地でも、未電化世帯での薪調理や煙害、電化世帯での温水シャワーや冷蔵設備の利用など、生活衛生の差異が明確に確認された。これらは電化が健康改善を通じて長期的に福祉を高めることを裏づける。

以上を総合すると、電力は単なるエネルギー供給の拡大にとどまらず、所得・教育・健康を通じた貧困削減の媒介的要因として機能していることが確認された。定量分析が示した係数の符号やタイミングは、現地の生活実態と高い整合性を持ち、電力アクセスの効果が時間的に遅れて、行動・環境を経由して現れることを示している。今後の政策設計では、単なる接続数の拡大ではなく、アクセスの持続性と信頼性の確保が重要な課題となる。

第 7 章 政策選定

第 1 節 仮説

現状分析およびフィールドワークの結果、LMCP 等により農村部への電化率は一定の進展を見せているものの、安定的かつ信頼できる電力供給が確保されていない現状が明らかとなった。これらを踏まえ、貧困削減に向けて解決すべき主要な課題は以下の 2 点であると考察する。

第一に、ソーラーパネル市場では、JICA 職員の証言にもあるように、製品の質の低さと価格の高さが課題である。特に農村部では信頼性の高い機器に限られ、市場の独占構造によって価格が下がらない状況が続いている。その結果、電力アクセスの拡大がコスト面で阻害され、世帯では質に見合わない高価格の粗悪なソーラーパネルが使用されている。

第二に、送配電ロスの側面でも深刻な問題が確認された。JICA 職員や KenGen 職員によると、送配電ロスやピーク時の停電、熱負荷による漏電が頻発しており、送配電網の運用が十分に機能していないという。筆者らがナイロビ滞在中に経験した停電や、農村住民からの「停電は日常的に起こる」との証言も、この問題の実態を裏付けている。

これらの事実は、電力アクセスを「tier1」（基礎的電化）レベルで評価するだけでは不十分であり、電力供給の信頼性と持続性こそが貧困削減に不可欠であることを示している。

したがって、本稿では次の 2 つの仮説を提示する。

(A) ソーラーパネル市場の独占を防ぎ競争を促すことで、導入コストを低減し、電力アクセス率を向上させることができるのではないか。

(B)送配電ロスを抑制することで、電力の安定供給を実現し、真の貧困削減に繋がるのではないかと。

これらの仮説を検証するため、次節以降では、それぞれの課題に対応し得る政策として、(Ⅰ)RMF 政策 (Risk Mitigation Facility、リスク緩和ファシリティ政策)、(Ⅱ)TOU 制度 (Time-of -Use、時間帯別料金制度) の 2 つを取り上げ、その有効性と実現可能性を検討していく。

第 2 節 政策選定分析 (固定効果モデル)

第 1 項 分析概要

本節では、SSA 諸国における電力アクセス拡大を左右する政策的要因を固定効果モデルにより明らかにする。分析枠組みは Nagayama (2022) を参考に、固定効果モデルを採用し、独自の説明変数も追加した。推定モデルは次式で表される。

$$Y_{ct} = \beta_0 + \beta_1 Policy + \beta_2 \ln(GDP_{ct}) + \sum_{i=3}^9 \beta_i X_{i,ct} + \mu_c + \lambda_t + \varepsilon_{ct}$$

ここで、 Y_{ct} は国 c 、年 t における被説明変数で、それぞれ (1) 電力アクセス率 (2) エネルギー効率を用いる。 $Policy$ は政策ダミー変数で、(1) RMF 政策 (2) TOU 制度の導入ダミーである。 $\ln(GDP_{ct})$ は一人当たり GDP の対数値であり、各国の経済発展水準を統制するために導入した。係数 $\beta_3 \sim \beta_9$ は、各統制変数 $X_{i,ct}$ に対応する推定パラメータを示す。 μ_c は国固定効果、 λ_t は年固定効果、 ε_{ct} は誤差項である。

第 2 項 データ

RISE データおよび WDI データから、2013-2022 年の国別パネルデータを構築した。WDI データはマクロ経済・社会インフラの基礎的指標を網羅しており、電力アクセスの経済的・構造的背景を統制するために利用した。

(Ⅰ) RMF 政策

表 13 に使用変数の記述統計量を示す。

表 13 使用変数の記述統計量

変数名	定義	観測数	平均値	標準誤差	最小値	最大値
電力アクセス率 (%)	農村地域で電力を利用できる人口の割合	210	26.22667	22.04443	0.5	95.5
RMF制度	RMF制度導入ダミー (1=導入、0=未導入)	210	0.0333333	0.1799344	0	1
FIT制度	FIT制度導入ダミー (1=導入、0=未導入)	210	0.3047619	0.4614064	0	1
一人当たりGDP (ドル) (ln)	一人当たり国内総生産	210	3936.548	2811.123	996.8964	14699.07
発電設備容量 (thousand MW)	国内に設置された全発電設備の 総容量	210	4.015186	11.75607	0.038184	65.87124
地熱発電容量 (billion kWh)	国内の年間地熱発電による発電量	210	0.0315819	0.1476334	0	0.9491
外国直接投資(ドル)	外国直接投資(FDI)の流入額	210	1.23e+09	3.07e+09	-1.98E+09	4.07e+10
貿易依存度(輸出入合計 /GDP, %)	経済全体に占める貿易 (輸出+輸入)の割合	210	50.20719	17.31431	2.698834	122.2598
インフレ率 (%)	消費者物価指数(CPI)に基づく 年次インフレ率	210	13.78024	51.45057	-2.489793	557.2018
人口成長率 (%)	一年間の人口増加率	210	2.538089	0.6702963	-0.4152354	3.758372

出典：WDI、RISE より筆者作成

(II) TOU 制度

表 14 に使用変数の記述統計量を示す。

表 14 使用変数の記述統計量

変数名	観測数	平均値	標準誤差	最小値	最大値
送配電ロス	130	21.19841	8.803299	5.645451	46.12259
TOU制度	130	.0692308	.2548282	0	1
FIT制度	130	.3769231	.4864901	0	1
一人当たりGDP (ドル) (ln)	130	8.190911	.4655439	7.054693	9.12252
発電設備容量 (thousand MW)	130	2.201885	1.34889	.0879	5.733769
地熱発電容量 (billion kWh)	130	.0510169	.1852379	0	.9491
外国直接投資(ドル)	130	1.27e+09	1.15e+09	-1.98e+09	4.42e+09
貿易依存度 (輸出入合計/GDP, %)	130	49.92492	21.50796	2.698834	122.2598
インフレ率 (%)	130	19.14594	64.78307	-2.430968	557.2018
人口成長率 (%)	130	2.696549	.5531665	1.339959	3.656846

出典：WDI、RISE より筆者作成

第3項 分析の結果・考察

(I) RMF 政策

表 15 に推定結果を示す。

表 15 RMF 政策が電力アクセス率に与える影響（固定効果モデル，SSA 21 カ国）

変数名	電力アクセス
RMF制度	13.60*** (3.715)
FIT制度	-0.895 (1.468)
一人当たりGDP(ドル)(ln)	21.99*** (5.171)
発電設備容量(thousand MW)	0.177 (0.236)
地熱発電容量 (billion kWh)	40.77*** (7.490)
外国直接投資(ドル)	1.32e-10 (1.52e-10)
貿易依存度(輸出入合計/GDP, %)	-0.0926 (0.0626)
インフレ率(%)	0.0326*** (0.00826)
人口成長率(%)	2.119 (1.366)
定数項	-160.4*** (41.50)
観測数	210
国数	21
R2値	0.668

括弧内は標準誤差。

注 * * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

(筆者作成)

RMF 政策導入が電力アクセス率に対して、13.60 ($p < 0.01$) で有意に正の影響を示した。よって、RMF 政策の効果に焦点を当てていく。

(II) TOU 制度

表 16 に推定結果を示す。

表 16 TOU 制度が送配電ロスに与える影響（固定効果モデル, SSA 13 カ国）

変数名	送配電ロス
TOU制度	3.927 (2.607)
FIT制度	1.329 (1.015)
一人当たりGDP(ドル)(ln)	-3.399 (3.680)
発電設備容量(thousand MW)	0.288 (0.741)
地熱発電容量 (billion kWh)	12.69*** (4.153)
外国直接投資(ドル)	2.16e-10 (3.10e-10)
貿易依存度(輸出入合計/GDP, %)	-0.0307 (0.0344)
インフレ率(%)	0.00229 (0.00440)
人口成長率(%)	1.035 (1.379)
観測数	130
国数	13
R2値	0.273

括弧内は標準誤差。

注 * p<0.1, ** p<0.05, ***p<0.01

(筆者作成)

推計結果より、TOU 制度は送配電ロスの低減に有意な効果を示さなかった。本分析の範囲では TOU 制度が送配電ロスを有意に抑制するという仮説は支持されなかった。しかし、TOU 制度は需要側の行動変化や電力利用効率の改善を通じて、中長期的には電力効率化に寄与する可能性を持つ制度である。そのため、短期的な固定効果モデルでは捉えきれない政策効果を検証するため、次節では合成コントロール法を用いて定量的な再検証を行う。

第 3 節 政策介入の動学的効果分析（合成コントロール法）

第 4 節、第 5 節では、制度導入が農村部の電力アクセス率、送配電ロス率に与える影響を厳密に評価するため、合成コントロール法（Synthetic Control Method: SCM）²³を適用する。データは第 2 節と同じものを用いる。分析手法については付録 A-6 に記述する。農

²³ SCM は、従来の Difference-in-Differences (DiD) モデルを一般化した手法であり、未観測の要因が時間とともに変化する点を許容する点で、政策評価において高い有効性を持つ。

村部電力アクセス率に対する RMF 制度導入の影響、ならびに TOU 制度導入による送配電ロス率改善への影響を定性的・定量的に評価する。

第4節 RMF 政策

第1項 政策の概要

RMF 政策とは、政府および国際金融機関が共同で民間投資のリスクを部分的に保証・補償する仕組みである。再生可能エネルギーや送配電事業など、初期投資が大きく長期的な収益回収を要する分野では、契約不履行や為替変動、政治的不安定性などのリスクが高く、民間企業の参入を阻む要因となっている。RMF 政策はこうしたリスクを軽減することで、投資環境を改善し、民間資本の流入を促進することを目的とする。

世界銀行やアフリカ開発銀行による金融支援を活用し、契約不履行や為替損失などの投資リスクを補償する仕組みを設計することで、民間資本の参入を促すことが可能となる。

比較事例として、ルワンダでは 2017 年以降、ミニグリッドや再生可能エネルギー IPP 向けの RMF 政策を整備した。政府が電力購入者の債務を部分保証する二重構造を構築した結果、民間資金の流入が進み、電源開発が加速した。実際、RMF 政策の導入後、農村電化率は 2016 年の 25% から 2023 年には 74% へと大幅に上昇したと報告されている。この成功は、政策的リスクの低減が民間投資を促進し、電力アクセス率向上に直結することを示している。

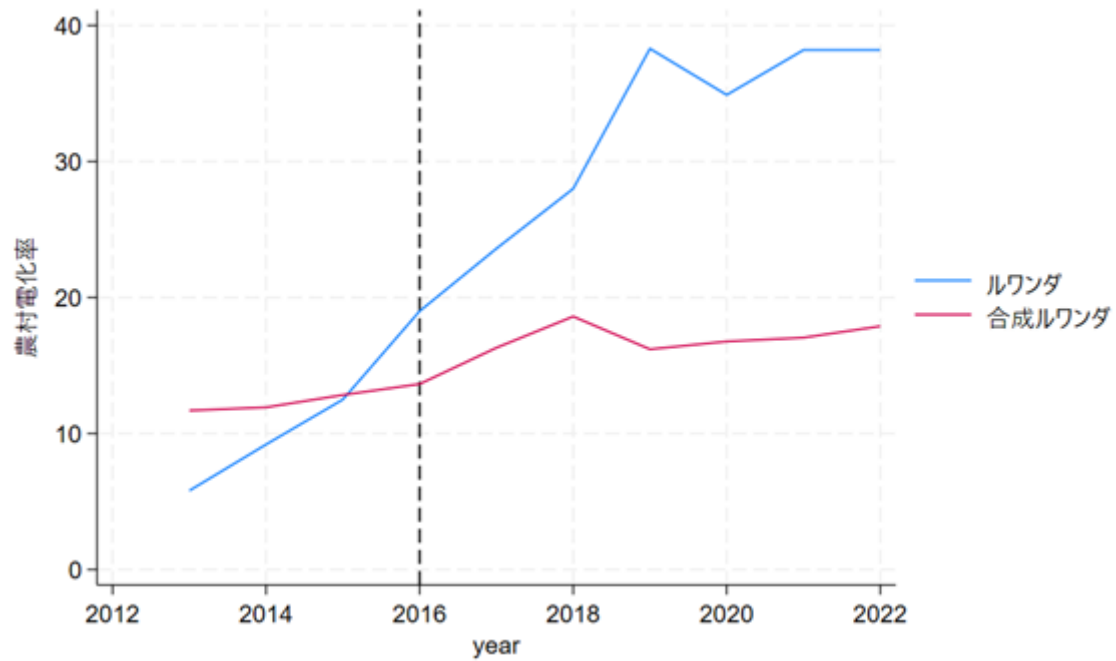
したがってケニアにおいても、政府保証と国際機関保証を組み合わせた RMF 政策の導入により、再エネ投資の信頼性向上と資金動員の拡大が期待される。特にミニグリッド事業者や地方電化プロジェクトに対して同様の枠組みを適用することで、民間主導の農村電化促進が現実的な政策手段となり得る。

第2項 RMF 政策の効果推定

図 6 は、合成コントロール法による推定結果を示している。青線はルワンダの農村電化率、赤線は合成ルワンダの反事実的推定値である。処置前（2012～2015 年）において両者の推移は十分に一致しておらず、処置期間前のフィットは限定的である。このため、推定結果の解釈には注意が必要である。

それでも、2016 年の RMF 政策導入後、両者の乖離が拡大していることから、制度導入が農村電化率に肯定的な影響を与えた可能性が示唆される。ただし、グラフの重なりのみでは因果効果の統計的な裏付けに乏しいため、次にプラセボテストおよび正確 p 値を用いた仮説検定を行う。

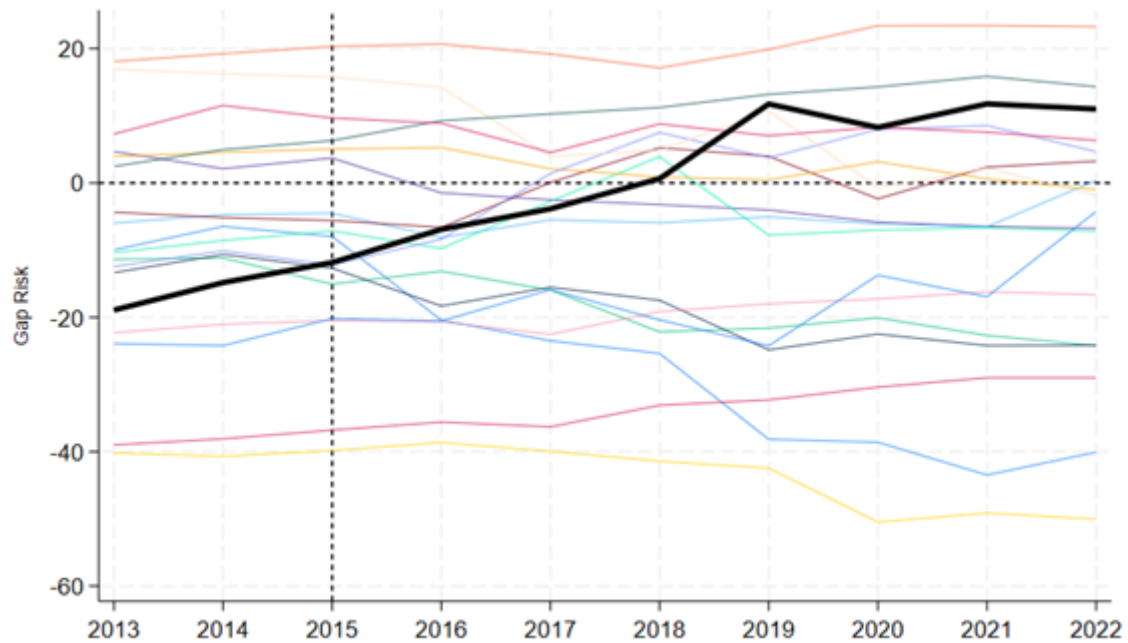
図6 農村部電力アクセス率の推移



(筆者作成)

図7はプラセボテストの結果を示しており、2015年以降、ルワンダの乖離度が他国に比べて比較的增加していることが確認できる。この乖離は政策導入後の影響を視覚的に裏付けるものであり、介入効果の持続性を示唆している。

図7 プラセボテスト(黒線：ルワンダ)

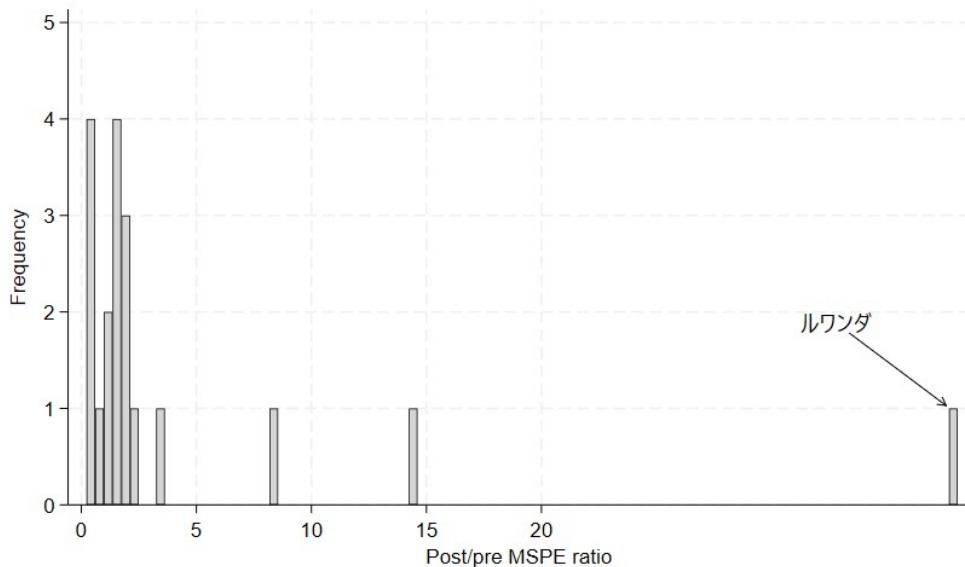


(筆者作成)

図8は、処置前後の MSPE 比をヒストグラムとして示している。横軸は MSPE 比、縦軸は頻度である。ルワンダの MSPE 比は約 19 であり、他の 25 カ国の MSPE 比はほとんど 5 以下に集中している。この結果、正確 p 値は 0.04 であり、有意水準 5% を下回るため、制度導入の効果は統計的に有意と解釈できる (Abadie et al., 2010)。

以上の結果から、RMF 政策は投資リスクの低減を通じて民間事業者の参入を促進し、電力アクセスの拡大に寄与した可能性が高い。なお、プラセボの実施に際しては処置前に実際の結果変数の値と合成コントロールの結果変数の値が大きな乖離を示した国を除いている。

図 8 MSPE 比率の推定結果



(筆者作成)

第5節 TOU 制度

第1項 制度の概要

TOU 制度とは、電力の供給コストや系統負荷の変動に応じ、時間帯ごとに異なる料金を設定する制度である。ピーク時には料金を高く、夜間や週末など需要が少ない時間帯には低く設定し、利用者が使用時間を分散させることで、需要の平準化と系統の効率向上を図る。

この制度は、ピーク抑制により発電・送配電設備への負荷を軽減し、再エネを有効活用しながら、電力コスト全体の抑制と持続的な供給を実現することを目的とする。そのため TOU 制度は、電力アクセスが一定程度進んだ国で、既存の供給網をより安定的かつ効率的に運用するための主要な政策手段とされる。ケニアにおいても、電力利用の質を高め、送配電ロス削減や再エネ活用を促す制度として期待されている。

比較事例として、ルワンダでは 2016 年に規制当局と公的電力事業者が時間帯別料金制度を明文化し、翌年から運用を開始した。需要の高い・中間・低い時間帯に分けた三区区分を導入したことで料金体系の透明性が高まり、需要側管理の基盤が整備された。さらに、多くの家庭で事前支払い式メーターが普及しており、時間帯別料金の運用を支える環境が早期に整っていた。こうした制度整備は、再エネの活用と負荷平準化を両立させる基盤となった。

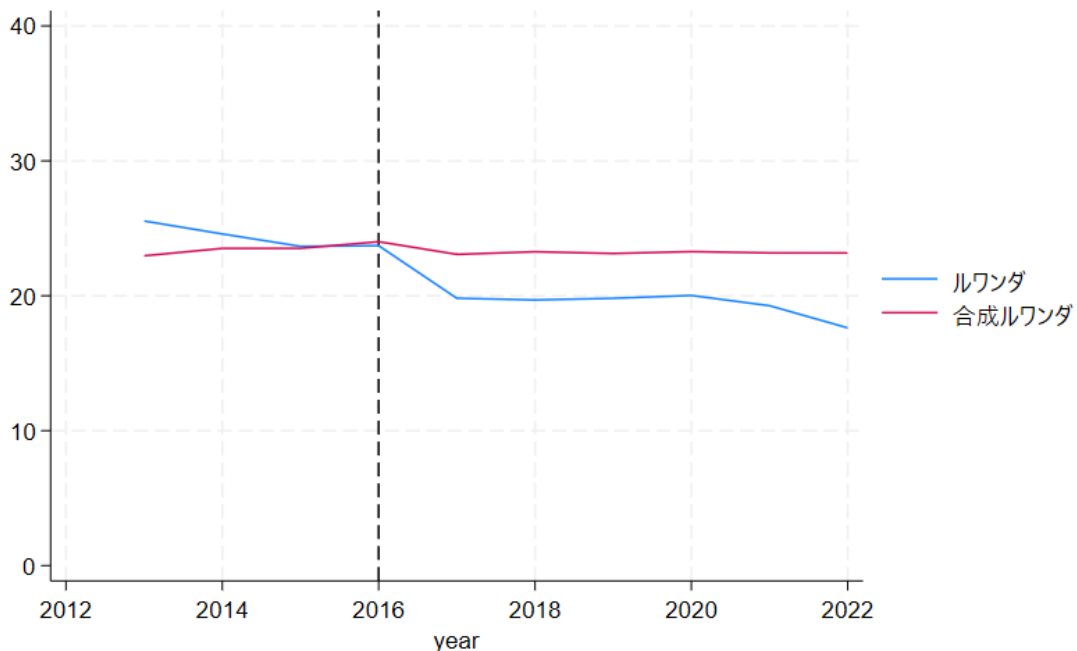
また南アフリカでは、家庭を含む幅広い利用者に TOU 制度が適用されている。電力公社 Eskom は住宅向けにもピークとオフピークの料金差を設け、消費者が使用時間を調整できる仕組みを導入した。その結果、家庭のピーク需要が平均約 4～5%減少し、送配電設備の稼働率が向上、電力供給の安定化と料金抑制にも寄与している。

したがって、ケニアでも、ルワンダのような制度の早期整備と、南アフリカのような家庭部門への段階的拡大を組み合わせることで、電力利用の効率化と再エネ活用の最大化を実現できると考えられる。

第2項 TOU 制度の効果推定

図9は、合成コントロール法による推定結果を示している。青線はルワンダの送配電ロス率、赤線は合成ルワンダの反事実的推定値である。処置前（2012～2016年）において両者は概ね類似した推移を示しているが、2017年のTOU制度導入後、両者は乖離し始める。この乖離は、制度導入が送配電ロス率に肯定的な影響を与えた可能性を示唆する。ただし、グラフの重なりのみでは、合成コントロールが反事実を適切に表しているかの統計的根拠に乏しい。そこで次に、プラセボテストと正確p値を用いた仮説検定を行う。

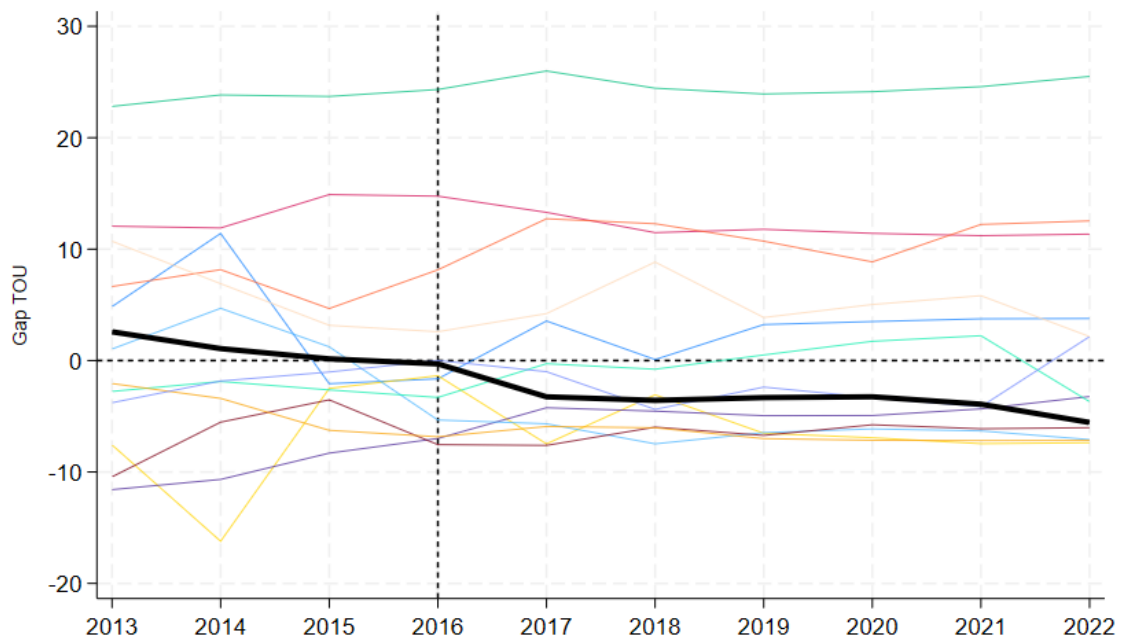
図9 送配電ロス率の推移



（筆者作成）

図10はプラセボテストの結果を示している。2017年以降、ルワンダ（黒線）のGapはゼロ付近から負の方向に乖離し、他国と比較して顕著な低下を示している。この結果は、TOU制度導入後に送配電ロス率が改善した可能性を視覚的に裏付けるものである。

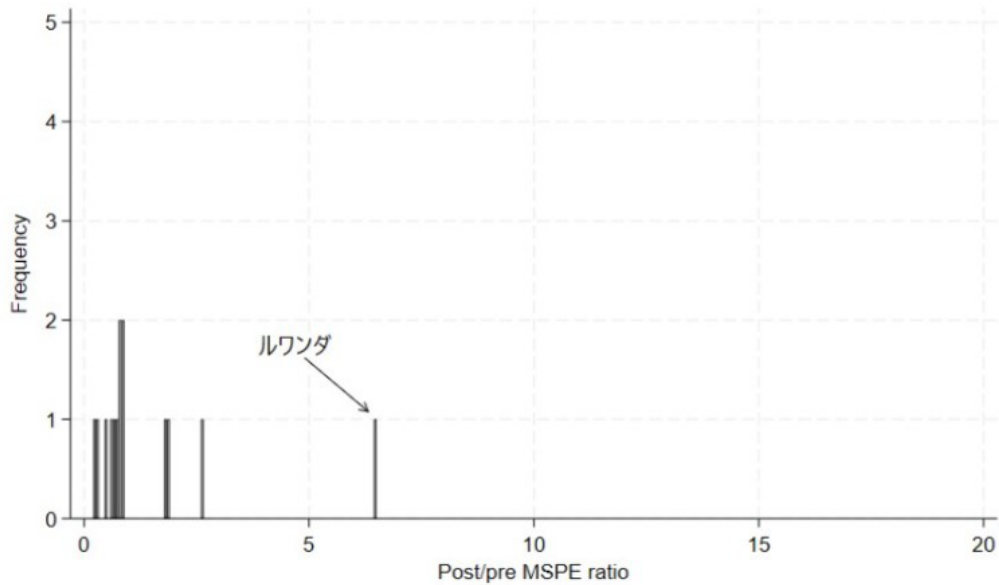
図 10 プラセボテスト(黒線：ルワンダ)



(筆者作成)

図 11 は、処置前後の MSPE 比をヒストグラムとして示している。横軸は MSPE 比、縦軸は頻度である。ルワンダの MSPE 比は約 6 であり、他の 12 カ国の MSPE 比はほとんど 5 以下に集中している。この結果、正確 p 値は 0.07 となり、有意水準 10% を下回るため、制度導入の効果は統計的に有意と解釈できる (Abadie et al., 2010)。以上の結果から、TOU 制度導入は送配電ロス率の改善に一定の効果をもたらした可能性がある。なお、プラセボテストの実施に際しては、処置前に実際の結果変数と合成コントロールの値が大きく乖離していた国を除外している。

図 11 MSPE 比率の推定結果



(筆者作成)

第 8 章 政策提言

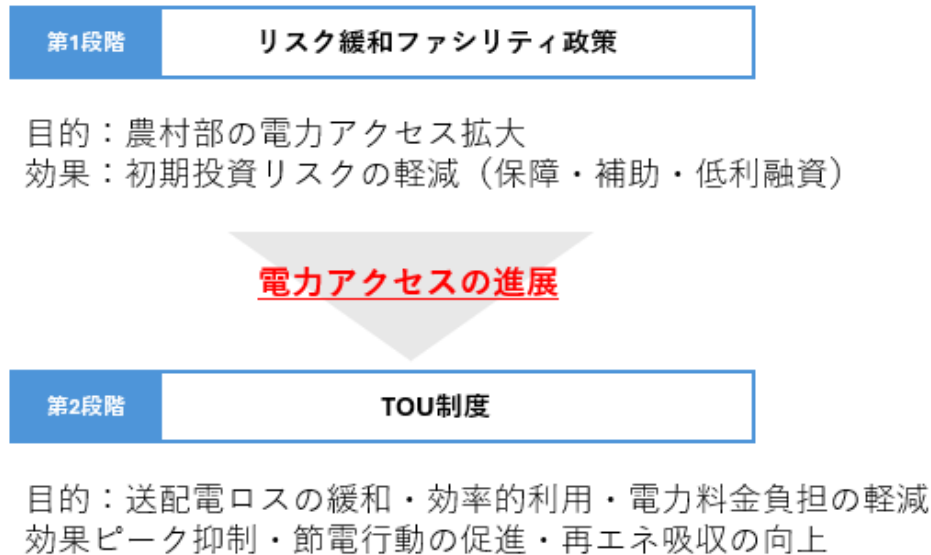
第 1 節 政策提言の方向性

本稿では、ケニア農村世帯を対象に、電力アクセスが貧困削減に及ぼす効果をマクロ・ミクロ両面から検証した。分析の結果、電力アクセスは所得や教育、健康といった生活成果を改善させる一方で、その効果はアクセスの「有無」よりも、供給の「質」や「継続的な利用可能性」に強く依存することが示唆された。

これらの結果を踏まえ、本研究はケニアにおける電力アクセスの拡大とその持続的改善を実現するため、二段階の政策を提言する。第 1 段階では、農村部における初期投資リスクを軽減し、民間参入を促す RMF 制度により、電力アクセス率の向上を図る。第 2 段階では、アクセスが一定程度進展した後に、TOU 制度を導入することで、需要をオフピークへ誘導し、送配電ロスの緩和や電力料金負担の軽減、再生可能エネルギーの有効利用を促進する。

このように、第一段階で「アクセス拡大」、第二段階で「効率的・持続的」に使う仕組みを整えることが、ケニアの電力アクセスを持続的に発展させ、安定的かつ包摂的な利用を実現するために重要である。図 12 にそのフレームを示す。

図 12 政策形成フレーム



(筆者作成)

第2節 提言 I：民間投資促進のための RMF 政策

第1項 ケニアでの RMF 政策導入の枠組み

【提言対象】

再生可能エネルギー投資の促進および制度設計を担う主要機関であるエネルギー・石油規制庁（EPRA）、ケニア電力公社（KPLC）、エネルギー省

【提言理由】

ケニアでは、発電事業の多くを民間 IPP が担っている一方で、支払い遅延や為替変動リスク、政策変更リスクが依然として投資抑制要因となっている。特に、送配電を独占する KPLC の財務不安や契約履行の遅延は、投資家のリスク認識を高める要因となっており、制度的な信用補完メカニズムの欠如が問題となっている。このため、民間事業者が安心して参入できる投資環境の整備が急務である。

【提言内容】

ケニア政府は、世界銀行の「Risk Mitigation Facility (RMF)」やアフリカ開発銀行 (AfDB) の「Sustainable Energy Fund for Africa (SEFA)」を活用し、部分的リスク保証 (Partial Risk Guarantee: PRG) 制度を導入することが望ましい。具体的には、為替

変動リスク、契約不履行リスク、初期損失リスクに対応する保証枠組みを財務省および EPRA の主導で構築し、政府または国際機関がオフテイカー（KPLC）の支払い義務を保証する形で制度化する。

制度設計にあたっては、ルワンダ政府の RMF 政策導入事例を参考に、国際開発協会（IDA）との共同融資・保証契約を組み合わせることで、投資促進と電力アクセス拡大の両立を図ることができる。また、導入後は保証条件や申請手続きの透明化、モニタリング指標の設定を通じて制度の信頼性を高めることが重要である。

【期待される効果】

実証分析の結果、制度導入により農村電化率が最大で約 24 ポイント改善することが明らかになった。また、導入後 5 期目から 7 期目にかけては 21～24 ポイントの改善が観察され、制度が農村電化率に対して実質的な影響を及ぼした可能性が示唆される。

政府および国際機関による保証により、民間事業者の資金調達コストが低下し、再生可能エネルギー案件への投資が拡大すると考えられる。さらに、オフテイカーである KPLC の信用不安が解消されることで、IPP との電力購入契約の締結が円滑化し、発電容量および電化率の向上が見込まれる。

加えて、再エネ事業の採算性が改善することで、農村部における分散型電源（ミニグリッド・ソーラー等）の普及が進むと期待される。ルワンダの事例を基準とすれば、ケニアにおいても同様の仕組みを導入することで、農村電化率が約 15～20 ポイント上昇する潜在的效果が見込まれる。

第 2 項 実現可能性・限界

ケニアには、現時点で RMF 政策のような包括的な保証スキームが存在していない。そのため、制度導入にあたっては、国際機関との協議を通じた制度設計や、政府財政負担との調整が不可欠となる。

また、政府保証の過度な利用は財政リスクを伴うため、保証の範囲を限定し、対象を優先地域や再生可能エネルギー案件に重点化することが望ましい。これにより、限られた財政資源の効率的な活用と政策の持続可能性を両立させることができる。

さらに、KPLC の財務状況や制度運用能力の改善と並行することで、保証制度全体の安定性と信頼性を高めることができると考えられる。

ただし、ルワンダと比較すると、ケニアでは国営電力会社の規模が大きく、債務負担も重い。このため、制度の初期段階では、全国的な展開ではなく、限定的な地域や特定案件での試験的導入から段階的に拡張していくことが現実的である。

第 3 節 提言Ⅱ：電力負荷平準化のための TOU 制度

第1項 ケニアでの TOU 制度拡大の枠組み

【提言対象】

再生可能エネルギー投資の促進および制度設計を担う主要機関であるエネルギー・石油規制庁（EPRA）、ケニア電力公社（KPLC）、エネルギー省

【提言理由】

電力アクセスの拡大が進む一方で、ピーク時間帯の需要集中や送配電ロスの増大が課題となっている。これに対処するため、2018 年に商工業向けの TOU 制度が導入され、2023 年には EV 充電や中小企業向けにも拡大された。しかし、家庭や農業利用者への適用は限定的であり、電化後の持続的利用には需要平準化を促す仕組みが不可欠である。

【提言内容】

既存の TOU 制度を恒久化・全国化し、一般家庭や農業利用者にも段階的に拡大する。料金体系を時間帯別に明確化し、スマートメーターの普及を活用して、家庭部門にも希望者が選択できる形で TOU 契約を導入する。これにより、需要をオフピークへ誘導し、電力利用の効率化と安定供給を両立させる。

【期待される効果】

実証分析の結果、制度導入により送配電ロス率が最大で約 5.5 ポイント改善することが明らかになった。また、導入後 5 期目から 7 期目にかけては 3～5.5 ポイントの改善が観察され、制度が送配電ロス率に対して実質的な影響を及ぼした可能性が示唆される。

ピーク負荷の分散によって送配電ロスと発電コストを抑制し、停電リスクを軽減できる。また、夜間電力の活用が進むことで、再生可能エネルギーの変動吸収や電力システムの安定化が促進される。商工業向け試行では約 2,400 社が参加し、6.9 億ケニアシリングのコスト削減が確認されており、家庭・農業部門への拡大でも同様の効果が期待される。

第2項 実現可能性・限界

ケニアではすでに商工業部門で TOU の効果が確認されており、スマートメーターの普及が進む中で家庭部門への拡大も現実的である。今後、日本の ODA、JICA、民間企業はこれまで支援してきた送配電網整備に加え、スマートメーターや通信システムの導入といったインフラ高度化にも焦点を当てた支援を強化すべきである。

日本企業の中では、東芝エネルギーシステムズや日立製作所、三菱電機などが、海外で配電制御やメータリングシステムを整備した実績を持つ。こうした技術をケニアの電力制度にも応用することで、制度運用の効率化に貢献できる可能性がある。

一方で、農村部では電力需要が小さく価格差への反応が限定的であり、通信環境の維持コストも課題である。そのため、当面は都市・産業部門を中心に運用を安定させ、段階的に拡大していく現実的アプローチが求められる。

第4節 政策提言のまとめ

本章では、ケニアの電力アクセス拡大とその持続的改善を目的として、二つの政策提言を提示した。第一の政策である「民間投資促進のための RMF 政策」は、為替変動リスクや契約不履行リスクを軽減し、政府および国際機関による保証を通じて民間資本の参入を促すものである。この政策は、電力インフラ投資における信用補完機能を強化し、農村部を含む電力事業の拡大を実現する施策である。

第二の政策である「電力負荷平準化のための TOU 制度」は、需要をピーク時間帯からオフピークへ誘導し、電力供給の効率化と再生可能エネルギーの有効利用を促進するものである。時間帯ごとの料金設定により、利用者は電気料金を節約できるだけでなく、送配電網の負荷分散にも貢献し、安定供給の確保にも寄与する。

これら二つの政策は相互に補完的な関係にあり、RMF 政策によって民間投資環境を整備することで、TOU 制度の需給調整効果を安定的に発揮させることができる。すなわち、前者が「電力アクセスを広げる基盤」を形成し、後者が「電力を効率的に使う仕組み」を整えることで、短期的な需要平準化と中長期的な供給力拡大を同時に実現できる。

両政策の実施にあたっては、関連法規の整備、関係機関間の調整、国際機関との協働を通じて制度設計を慎重に進める必要がある。また、政策効果のモニタリングや段階的な評価を行い、財政リスクや地域間格差への影響を検証しながら、柔軟な運用を図ることが重要である。

本稿の提言が、ケニアにおける電力アクセス格差の是正と、持続可能で包摂的なエネルギー政策の構築に資することを期待し、ここに政策提言のまとめとする。

第9章 おわりに

本稿では、ケニアにおける電力アクセスの拡大が貧困に与える影響を、理論・実証・フィールドワークの三側面から多角的に検証した。特に、電力アクセスが所得・教育・健康の三側面を通じて貧困削減に寄与するという仮説を立て、マクロ・ミクロの双方から分析を行った。

理論分析では、拡張ソロー・モデルに電力資本を導入し、政策が電力アクセスを介して貧困を緩和する二段階メカニズムを提示した。実証分析では、SSA 48 か国のマクロパネルデータおよびケニア農村部のミクロデータを用い、電力アクセスの拡大が所得・教育・健康の三側面において中長期的な改善効果をもたらすことを確認した。さらに、現地フィールドワークを通じて、電力アクセスが生活時間や学習環境、健康行動に及ぼす具体的な変化を明らかにした。これらの結果は、電力アクセスが単なるインフラ整備にとどまらず、人々の生活の質を底上げする社会的基盤であることを示している。

また、政策分析では、RMF 制度や TOU 制度など、供給側の投資リスクを軽減しつつ需要側の効率的な電力利用を促す制度が、ケニアの電力市場改革において重要な役割を果たすことを示した。特に、電力供給の安定性と利用効率の向上を同時に実現する制度設計は、包摂的かつ持続可能な電力アクセスの拡大に向けて不可欠である。

本研究は、マクロ・ミクロ分析と現地調査を統合し、電力アクセスが貧困削減に及ぼす効果を理論的・実証的に一貫して検証した点に意義を有する。今後は、電力供給の「質」や信頼性を含めたデータ整備、ならびに電力アクセス改善がもたらす長期的な福祉効果の検証が求められる。

本稿が、ケニアをはじめとする開発途上国における、包摂的で持続可能なエネルギー政策の形成に寄与することを期待して、結びとする。

<謝辞>

本稿の執筆にあたり、熱心にご指導くださった末永啓一郎教授に、心より感謝申し上げます。また、ケニアでのフィールド調査に際し多大なるご支援を賜りました JICA の皆様、調査に快くご協力くださった農村地域の住民の方々、さらにインタビュー調査にご協力くださった企業のご担当者の皆様に、深く御礼申し上げます。

参考文献・データ出典

- Abadie, A., & Gardeazabal, J. (2003). “The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country” . American Economic Review, Vol. 93(1), pp. 112-132.
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). “Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California’s Tobacco Control Program” . Journal of the American Statistical Association, Vol. 105(490), pp. 493-505.
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2015). “Comparative Politics and the Synthetic Control Method” . American Journal of Political Science, Vol. 59(2), pp. 495-510.
- African Development Bank. (2023). Green Mini-Grid Market Development Programme. African Development Bank.
(<https://greenminigrad.afdb.org/sites/default/files/Mini-grid%20RoC.pdf>).
2025/10/14 アクセス.
- ALN. (2023). Power Guide - Côte d’Ivoire. ALN. (<https://aln.africa/wp-content/uploads/2023/06/ALN-Power-Guide-Cote-dIvoire-1.pdf>). 2025/9/14 アクセス.
- Ang’u, C., N. J. Muthama, M. A. Mutuku, & M. H. M’ Ikiugu. (2023). “Analysis of energy poverty in Kenya and its implications for human health” . Energy Policy 176, 113506.
- Asumadu, S. S., & S. Adams. (2020). “Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa” . Energy Reports, Vol. 6, pp. 455-466.
- Barron, M., & M. Torero. (2017). “Household electrification and indoor air pollution” . Journal of Environmental, Economics and Management Volume 86, pp. 81-92.
- Deolalikar, A. B. (1997). “The Determinants of Primary School Enrollment and Household Schooling Expenditures in Kenya: Do They Vary by Income?” . University of Washington, pp.3-15.
- Dinkelman, T. (2011). “The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa” . American Economic Review, Vol. 101, NO. 7, pp. 3078-3108.

- Energy Regulatory Commission. (2018). Schedule of Tariffs for the Supply of Electrical Energy by KPLC. Energy Regulatory Commission.
(<https://www.scribd.com/document/462100664/Gazette-Notice-Schedule-of-tariffs-for-the-supply-of-electrical-energy-by-KPLC-pdf>). 2025/9/3 アクセス.
- EPRA. (2025). Energy & Petroleum Statistics Report:2025. EPRA.
(<https://www.epra.go.ke/sites/default/files/2025-09/Statistics-Report-June-2025-Web.pdf>). 2025/9/3 アクセス.
- Felten, J., Y. Akkari, & S. Niyonzima. (2023). Burundi: Small Hydropower and Rural Development. Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (https://www.get-invest.eu/wp-content/uploads/2023/10/GET.invest-Market-Insights_Burundi_Developer-Guide_Sept-2023.pdf). 2025/9/14 アクセス.
- Gashaye, A. T., H. Liu, & J. Li. (2025). “The effect of access to electricity on rural households of underdeveloped countries: Evidence from Ethiopia” . Energy Policy, 199,114531.
- Global Petrol Prices.com. (2025). Electricity prices for households: world map Global Petrol Prices.com.
(https://www.globalpetrolprices.com/map/electricity_average/). 2025/9/14 アクセス.
- GlobalPetrolPrices.com. (2025). Kenya electricity prices. GlobalPetrolPrices.com.
(https://www.globalpetrolprices.com/Kenya/electricity_prices/). 2025/9/4 アクセス.
- Gordon, B. (2018). “The Human Development Index as Isoelastic GDP: Evidence from China and Pakistan” . Economies (MDPI), Vol. 6, No. 2, pp.1-9.
- Government of Kenya. (2008). Kenya Vision 2030. Government of Kenya.
(<https://vision2030.go.ke/>). 2025/9/3 アクセス.
- Government of the Union of the Comoros. (2018). Loi relative à l’ électricité et aux énergies renouvelables. Ministère de l’ Énergie, de l’ Eau et des Hydrocarbures. (<https://faolex.fao.org/docs/pdf/com188441.pdf>). 2025/9/14 アクセス.
- Grogan, L., & A. Sadanand. (2013). “Rural Electrification and Employment in Poor Countries: Evidence from Nicaragua” . World Development, Volume 43, March 2013, pp. 252-265.
- Haughton, J., & Khandker, S. R (2009). Handbook on Poverty and Inequality.

- Washington, DC: World Bank.
(<https://documents1.worldbank.org/curated/en/488081468157174849/pdf/483380PUB0Po-ve1010FFICIAL0USE00ONLY1.pdf>). 2025/10/23 アクセス.
- IEA. (2024a). World Energy Investment 2024. IEA. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/d829545d-fab6-4c98-b266-28556d86ce8d/WorldEnergyInvestment2024.pdf>). 2025/9/3 アクセス.
- IEA. (2024b). Kenya 2024 Energy Policy Review. IEA. (<https://www.iea.org/reports/kenya-2024/executive-summary>). 2025/9/3 アクセス.
- IEA. (2024c). Kenya 2024: Energy Policy Review. IEA. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/98bc7ce1-b22d-48c9-9ca2-b668ffbfcc4b/Kenya2024.pdf>). 2025/9/3 アクセス.
- IEA. (2025). Kenya's energy sector is making strides toward universal electricity access, clean cooking solutions and renewable energy development. IEA. (<https://www.iea.org/news/kenyas-energy-sector-is-making-strides-toward-universal-electricity-access-clean-cooking-solutions-and-renewable-energy-development>). 2025/9/3 アクセス.
- JICA. (2024). 主要国所得階層別分類. JICA. (https://www.jica.go.jp/activities/schemes/finance_co/about/standard/_icsFiles/afieldfile/2024/12/04/201410_02.pdf). 2025/9/14 アクセス.
- JICA. (2025b). Data Collection Survey on Optimal Use of Energy in Kenya: Final Report. JICA. (<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12347670.pdf>). 2025/9/17 アクセス.
- Josephat, K. (2024). "School electrification and academic outcomes in rural Kenya". *Journal of Development Economics*, Vol. 166, pp.2-12.
- Kenya National Bureau of Statistics (KNBS). (2024). Leading Economic Indicators. KNBS. (<https://www.knbs.or.ke/reports/leading-economic-indicators-december-2024/>). 2025/8/3 アクセス.
- Khandker, S. R., D. F. Barnes, & H. A. Samad. (2011). "Welfare Impacts of Rural Electrification: A Case Study from Bangladesh". *The Energy Journal*, 33(1), pp. 187-206.
- Khandker, S. R., D. F. Barnes, H. A. Samad, & N. H. Minh. (2013). "Welfare impacts of rural electrification: A panel data analysis from Vietnam". *Economic Development and Cultural Change*, 61(3), pp. 659-692.

- Kuldeep, S., S. Cheemalapati, S. R. RamiReddy, G. Kurian, P. Muzumdar, & A. Muley. (2025). “Determinants of Human Development Index (HDI): A Regression Analysis of Economic and Social Indicators”. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*, Volume 25, Issue 1, pp. 26-34.
- Lee, K., E. Miguel, & C. Wolfram. (2020). “Experimental Evidence on the Economics of Rural Electrification”. *Journal of Political Economy*, 128(4), pp. 1523-1565.
- Lee, K., E. Miguel, & C. Wolfram. (2020). “Does Household Electrification Supercharge Economic Development?”. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 34, No. 1, pp. 122-144.
- Mankiw, N. G., D. Romer, & D. N. Weil. (1992). “A Contribution to the Empirics of Economic Growth”. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, Issue 2, pp. 407-433.
- Michoud, B., & M. Hafner. (2021). “Financing Clean Energy Access in Sub-Saharan Africa Risk Mitigation Strategies and Innovative Financing Structures”. *SpringerBriefs in Energy*, pp 57-82.
- Mikul, B., & A. Niki. (2015). *Beyond Connections: Energy Access Redefined*. World Bank. (<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a896ab51-e042-5b7d-8ffd-59d36461059e>). 2025/9/14 アクセス.
- Ministry of Energy. (2018). *National Energy Policy, 2018*. Republic of Kenya. (<https://repository.kippra.or.ke/server/api/core/bitstreams/f4cc6302-0e3d-4e1c-970d-9de5f5ba3227/content>). 2025/9/3 アクセス.
- Nagayama, H. (2022). “Policy research for the mass introduction of sustainable renewable energy in developing countries”. *Development Engineering*, Volume 28, pp. 35-58.
- National Treasury. (2024). *2024 Tax Expenditure Report*. Republic of Kenya. (<https://www.treasury.go.ke/wp-content/uploads/2024/11/TAX-EXPENDITURE-REPORT-TER-2024.pdf>). 2025/6/28 アクセス.
- Paliova L., M. Robert, N. Grant, & IMF. (2019). “Multiple Dimensions of Human Development Index and Public Social Spending for Sustainable Development”. IMF Working Paper, WP/19/204, pp. 7-18
- PURC. (2013). *Public Utilities Regulatory Commission Publication of Electricity Tariffs*. PURC. (<https://purc.com.gh/attachment/594775-20230615060652.pdf>).

2025/9/14 アクセス.

Ritchie, H. (2021). Definition: Access to Electricity
What does it mean to have ‘access to electricity’ ? How is this measured? Our
World in Data (<https://ourworldindata.org/definition-electricity-access>).
2025/9/14 アクセス.

Rosenbaum, P. R., & D. B. Rubin. (1983). “The Central Role of the Propensity
Score in Observational Studies for Causal Effects” . *Biometrika*, Vol. 70, No. 1,
pp. 41-55.

UNDP. (2021). Renewable Energy and Access to Sustainable Power in the Central
African Republic. United Nations Development Programme.
(https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cf/UNDP_CAR_Energy_Report2021.pdf). 2025/9/14 アクセス.

Van de Walle, D., M. Ravallion, V. Mendiratta, & G. Koolwal. (2017). “Long-term
gains from electrification in rural India” . *The World Bank Economic Review*,
31(2), pp. 385-412.

Wooldridge, J. M. (2019). “Correlated random effects models with unbalanced
panels” . *Journal of Econometrics* 211, pp.137-150.

World Vision International. (2023). World Vision Kenya Annual Report 2024. World
Vision.
(https://www.wvi.org/sites/default/files/202505/World%20Vision%20Kenya%20Annual%20Report%202024_1.pdf). 2025/9/17 アクセス.

岡川梓 (2013). 日本におけるエネルギー貧困の要因分析とエネルギー貧困世帯に配慮した
エネルギー・環境政策の定量評価. 国立環境研究所.
(https://www.nies.go.jp/subjects/2013/22492_fy2013.html). 2025/10/18 アクセス.

データ出典

KNBS. (2006). Kenya Integrated Household Budget Survey 2005/2006 KNBS.
(<https://statistics.knbs.or.ke/nada/index.php/catalog/2>). 2025/6/30 データ取得.

KNBS. (2016). Kenya Integrated Household Budget Survey 2015/2016 KNBS.
(<https://statistics.knbs.or.ke/nada/index.php/catalog/13>). 2025/6/30 データ取得.

KNBS. (2023a). Kenya Continuous Household Survey 2020 KNBS.
(<https://statistics.knbs.or.ke/nada/index.php/catalog/112>). 2025/6/30 データ取得.

- KNBS. (2023b). Kenya Continuous Household Survey 2021 KNBS.
(<https://statistics.knbs.or.ke/nada/index.php/catalog/123>). 2025/6/30 データ取得.
- KNBS. (2024). Kenya Continuous Household Survey 2022 KNBS.
(<https://statistics.knbs.or.ke/nada/index.php/catalog/131>). 2025/6/30 データ取得.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025). Creditor Reporting System (CRS): Aid activities by sector and recipient. OECD. (<https://data-explorer.oecd.org/>) 2025/9/20 データ取得.
- U.S. Energy information administration (EIA) (2024). International Energy generation U.S. Energy information administration (EIA)
(<https://www.eia.gov/international/overview/world>). 2025/9/13 データ取得.
- University of Gothenburg. (2022). QoG Standard Dataset [Time-series data].
University of Gothenburg, Quality of Government Institute.
(<https://www.gu.se/en/quality-government/qog-data/data-downloads/standard-dataset>) 2025/8/20 データ取得.
- World Bank. (2023) World Development Indicators. World Bank.
(<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>) 2025/9/25 データ取得.
- World Bank, & ESMAP. (2024). RISE: Regulatory Indicators for Sustainable Energy.
World Bank. (<https://rise.esmap.org/downloads>) 2025/8/30 データ取得.

付録

A-1 傾向スコアマッチングの共変量バランス検定の結果(一人当たり支出)

表 A1 は、一人当たり支出に関する主要共変量のバランスチェック結果を示している。たとえば、世帯人数の平均バイアスはマッチング前の-15.4%からマッチング後には-1.7%に減少し、バイアス削減率は 89.2%であった。その他の変数においても同様にバイアスの縮小が確認され、マッチングの妥当性が統計的に支持された。

表 A1 傾向スコアマッチング前後における共変量のバランスチェック結果（一人当たり支出）

変数名	マッチング 状況	処置群の 平均値	対照群の 平均値	バイアス (%)	バイアス 減少率 (%)	T値	P値	分散比
世帯人数（人）	Unmatched	4.486	4.879	-15.4		-18.16	0.00	0.83*
世帯人数（人）	Matched	4.486	4.444	1.7	89.2	2.27	0.023	1.03*
世帯主の性別	Unmatched	0.674	0.633	8.2		9.62	0.00	.
世帯主の性別	Matched	0.674	0.662	1.1	86.4	1.45	0.146	.
世帯主の年齢（歳）	Unmatched	48.578	48.388	1.2		1.36	0.173	0.94*
世帯主の年齢（歳）	Matched	48.578	48.716	-0.8	27.3	-1.10	0.271	0.97*
世帯主の年齢 ²	Unmatched	2619.2	2617.8	0.1		0.10	0.922	0.94*
世帯主の年齢 ²	Matched	2619.2	2639.9	-1.2	-1323.5	-1.54	0.124	0.97*
薪使用の有無	Unmatched	0.846	0.934	-28.1		-31.94	0.00	.
薪使用の有無	Matched	0.846	0.850	-1.2	95.8	-1.33	0.182	.
トイレの有無	Unmatched	0.911	0.715	51.8		63.15	0.00	.
トイレの有無	Matched	0.911	0.908	0.6	98.8	1.09	0.275	.
大人一人当たり支出額 (ln_KES)	Unmatched	3.674	2.636	38.2		44.25	0.00	1.27*
大人一人当たり支出額 (ln_KES)	Matched	3.674	3.578	3.5	90.8	4.48	0.00	1.16*

* マッチング前 (U) およびマッチング後 (M) において、分散比が [0.98~1.02] の範囲外の場合に*を付している。

(筆者作成)

表 A2 に示すように、マッチング後の平均バイアスは 20.4%から 1.5%に、中央値バイアスは 15.4%から 1.2%に改善された。さらに、B 値は 72.4 から 4.2 へと大幅に減少し、分散比 (R 値) も 0.72 から 1.17 へと改善された。これらの結果は、マッチングが統計的に妥当であることを示している。

表 A2 一人当たり支出に関する傾向スコアマッチング前後のマッチングの質の比較

大人一人当たり支出額 (ln_KES)	類似決定係数 (PS R ²)	尤度比カイ二乗値 (LR χ^2)	p値 (カイ二乗検定)	平均バイアス (%)	中央バイアス (%)	標準化 バイアス (%)	分散比	分散変化率
Unmatched	0.089	6851.490	0.000	20.400	15.400	72.4*	0.720	100.000
Matched	0.000	28.830	0.000	1.500	1.200	4.200	1.170	100.000

*は、標準化バイアス (B) が25%を超える、または分散比 (R) が [0.5~2] の範囲外の場合を示す。

(筆者作成)

表 A3 は、一人当たり支出に対する電力アクセスの処置効果を示している。マッチング前の平均差は 0.629 (T 値=116.4) であったが、マッチング後の ATT は 0.435 (T 値=64.87) であり、統計的に有意な正の効果が確認された。これにより、電力アクセスが所得に対して有意な影響を与えていることが示された。

表 A3 一人当たり支出に対する電力アクセスの処置効果 (マッチング前後の比較)

変数名	標本区分	処置群の平均値	対照群の平均値	差	標準誤差	t値
大人一人当たり支出額 (ln_KES)	Unmatched	8.529	7.900	0.629	0.005	116.4
	ATT	8.529	8.095	0.435	0.007	64.87

注：標準誤差 (S.E.) は、傾向スコアが推定されている点を考慮していない。

(筆者作成)

A-2 傾向スコアマッチングの共変量バランス検定の結果(教育支出)

表 A4 は、大人一人当たり教育支出に関する主要共変量のバランスチェック結果を示している。たとえば、世帯人数の平均バイアスはマッチング前の-15.4%から-10.1%に減少し、バイアス削減率は 34.1%であった。薪使用の有無では、バイアスが-28.1%から-6.8%に縮小し、削減率は 75.8%であった。その他の変数でも同様にバイアスの縮小が確認され、マッチングの妥当性が統計的に支持された。

表 A4 傾向スコアマッチング前後における共変量のバランスチェック結果（教育投資）

変数名	マッチング 状況	処置群の 平均値	対照群の 平均値	バイアス (%)	バイアス 減少率 (%)	T値	P値	分散比
世帯人数（人）	Unmatched		4. 879	-15. 4		-18. 16	0. 00	0. 83*
世帯人数（人）	Matched	4. 486	4. 227	10. 1	34. 1	12. 98	0. 00	0. 80*
世帯主の性別	Unmatched	0. 674	0. 633	8. 2		9. 62	0. 00	.
世帯主の性別	Matched	0. 674	0. 663	1. 7	79. 1	2. 23	0. 03	.
世帯主の年齢（歳）	Unmatched	48. 578	48. 388	1. 2		1. 36	0. 17	0. 94*
世帯主の年齢（歳）	Matched	48. 578	48. 711	-0. 8	29. 9	-1. 06	0. 29	0. 95*
世帯主の年齢 ²	Unmatched	2619. 2	2617. 8	0. 1		0. 10	0. 92	0. 94*
世帯主の年齢 ²	Matched	2619. 2	2646. 9	-1. 6	-1810. 2	-2. 06	0. 04	0. 95*
薪使用の有無	Unmatched	0. 846	0. 934	-28. 1		-31. 94	0. 00	.
薪使用の有無	Matched	0. 846	0. 868	-6. 8	75. 8	-7. 81	0. 00	.
トイレの有無	Unmatched	0. 911	0. 715	51. 8		63. 15	0. 00	.
トイレの有無	Matched	0. 911	0. 9	2. 9	94. 3	4. 90	0. 00	.
大人一人当たり支出額 (ln_KES)	Unmatched	8. 529	7. 9	96. 7		116. 40	0. 00	0. 55*
大人一人当たり支出額 (ln_KES)	Matched	8. 529	8. 533	-0. 7	99. 3	-1. 01	0. 31	0. 89*

*マッチング前 (U) およびマッチング後 (M) において、分散比が [0. 98～1. 02] の範囲外の場合に*を付している。

(筆者作成)

次に、表 A5 に示すように、マッチング後の平均バイアスは 28. 8% から 3. 5% に、中央値バイアスは 15. 4% から 1. 7% に改善された。さらに、B 値は 104. 0 から 13. 8 へと大幅に減少し、分散比 (R 値) も 0. 57 から 0. 92 へと改善された。これらの結果は、マッチングが統計的に妥当であることを示している。

表 A5 傾向スコアマッチング前後におけるマッチングの質の比較

大人一人当たり教育支出額 (ln_KES)	類似決定係数 (PS R ²)	尤度比カイ二乗値 (LR χ^2)	p値 (カイ二乗検定)	平均バイアス (%)	中央バイアス (%)	標準化 バイアス (%)	分散比	分散変化率
Unmatched	0.181	13887.40	0.00	28.8	15.4	104.0*	0.57	100
Matched	0.003	319.68	0.00	3.5	1.7	13.8	0.92	100

*は、標準化バイアス (B) が25%を超える、または分散比 (R) が [0.5~2] の範囲外の場合を示す。

(筆者作成)

表 A6 は、大人一人当たり教育支出に対する電力アクセスの処置効果を示している。マッチング前の平均差は 1.037 (T 値=44.25) であったが、マッチング後の ATT は 0.741 (T 値=25.49) であり、統計的に有意な正の効果が確認された。これにより、電力アクセスが教育投資に対して有意な影響を与えていることが示された。

表 A6 教育支出に対する電力アクセスの処置効果 (マッチング前後の比較)

変数名	標本区分	処置群の平均値	対照群の平均値	差	標準誤差	t値
大人一人当たり教育支出額 (ln_KES)	Unmatched	3.674	2.636	1.037	0.023	44.25
	ATT	3.674	2.933	0.741	0.029	25.49

注：標準誤差 (S.E.) は、傾向スコアが推定されている点を考慮していない。

(筆者作成)

A-3 第5章分析Ⅱの PS 回帰によるロバストチェック

第5章分析Ⅱの PSMDID 分析に加えて PS 回帰を行った。分析結果は以下の表 20 の通りである。

表 A7 電力アクセスと一人あたり支出に関する PS 回帰結果

	大人一人当たり支出額 (ln)
ATET (平均処置効果)	0.284
標準誤差	0.021
p値	p<0.01

(筆者作成)

表 A7 より、ATET は 0.284 (標準誤差=0.021、p<0.01) であり、PSM-DID の結果と整合的であった。これにより、分析結果の頑健性が確認された。

表 A8 電力アクセスと教育支出に関する PS 回帰結果

	大人一人当たり教育支出額 (ln)
ATET (平均処置効果)	0.471
標準誤差	0.087
p値	p<0.01

(筆者作成)

表 A8 より、ATET は 0.471 (標準誤差=0.087、 $p<0.01$) であり、PSM-DID の結果と整合的であった。これにより、分析結果の頑健性が確認された。

A-4 RIF-DID 推定の手法詳細

第 5 章第 4 節で用いた RIF に基づく分位点回帰の構築手順および推定式を以下に示す。

(1) RIF 変数の構築

家計支出の分布全体に対する電化の影響を把握するため、被説明変数である大人一人当たり家計支出の自然対数から、各分位点 $q \in \{0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90\}$ における分位値 Q_q を算出した。

次に、家計支出の分布全体に対する電化の影響を把握するため、被説明変数である大人一人当たり家計支出の自然対数から、各分位点 $q \in \{0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90\}$ における分位値 Q_q を算出した。

さらに、当該分位点での確率密度 $f_Y(Q_q)$ をカーネル密度推定によって求め、以下の式に基づいて RIF (再中心化影響関数) 変数 を生成した。

$$RIF_{q,h} = Q_q + \frac{q - 1(Y_h \leq Q_q)}{f_Y(Q_q)}$$

ここで、 $1(Y_i \leq Q_q)$ は、観測値 Y_i が分位点 Q_q 以下である場合に 1、そうでない場合に 0 を取る指示関数である。この式により、分位点ごとの「分布上の影響度」が算出され、従来の平均値分析では把握できない所得分布全体への効果を推定する。

(2) 推定手法

得られた各分位点の RIF を被説明変数として、Doubly Robust Inverse Probability Weighting (DRIPW) 法による推定を行った。

本手法は、処置割当モデル (電化導入の確率) とアウトカムモデル (RIF 値) を同時に推定することで、いずれかのモデルが正しく指定されていれば一致推定量を得られる二重頑健性を有する。

具体的には、次の形で推定を行った。

$$RIF_{q,ht} = \alpha_q + \beta_q D_{ht} + \gamma' X_{ht} + \mu_h + \lambda_t + \varepsilon_{ht}$$

ここで、 $RIF_{q,it}$ は世帯 h の時点 t における分位点 q の RIF 値、 D_{ht} は電化導入ダミー（処置変数）、 X_{ht} は統制変数ベクトル（世帯属性・居住環境）を示す。 μ_h はクラスター固定効果、 λ_t 年固定効果、 ε_{ht} は誤差項であり、 β_q が分位点 q における平均処置効果（ATT）を表す。

A-5 フィールドワークで使ったアンケート用紙(聞き取り調査)

Village name:

Household name:

<Questionnaire>

1. How many members of your family? Asking the head of the family
(e.g. Me, my wife, and two children)

2. What is your current occupation? Asking the head of the family

3. What is the approximate income level of your household per month? Asking the head of the family

4. What is main source of electricity? Asking the head of the family

1.Electricity connection from Mains 2.Generator 3.Solar Energy 4.Paraffin Lantern
5. Paraffin Tin lamp 6. Paraffin Pressure Lamp 7. Fuel wood 8. Gas lamp 9. Battery
Lamp/ Torch 10. Candles 11. Biogas 12.Other

5. When was your home electrified? Asking the head of the family in an electrified area.

6. How has your child's performance changed over the last five years due to electrification?
Asking the head of the family (What are your reasons for thinking so?)
(e.g. study time)

Village name:

Household name:

7. Did the expenditure change compared to five years ago due to electrification? *Asking the head of the family* (If changed, what do you think is the reason for that?)

8-A. Have you ever felt inconvenience by a lack of electricity? *Asking the head of the family in a non-electrification area.*

8-B. What are some other changes brought about by electrification? *Asking the head of the family in an electrified area.*

9-A. How much money do you pay for electricity per month? *Asking the head of the family in a non-electrification area.*

9-B. How would you be willing to pay for your monthly electricity bill? *Asking the head of the family in an electrified area.*

A-6 合成コントロール法の分析手法

合成コントロール法（Synthetic Control Method: SCM）は、単一の処置対象に対する反実仮想を構築するための手法であり、Abadie & Gardeazabal（2003）によって初めて提案された。彼らは、バスク地方におけるテロ活動の経済的影響を評価するために、処置を受けていない複数の地域を加重平均することで「合成的なコントロール群」を構築し、因果効果を推定した。

その後、Abadie et al.（2010）によって SCM は理論的に発展・整理され、前処置期間のアウトカムと共変量を精密にマッチングすることで、より信頼性の高い反事実推定が可能となった。SCM は、従来の Difference-in-Differences（DID）モデルとは異なり、並行トレンド仮定を必要とせず、未観測要因の時間変化を許容する点で、政策評価において特に有効な手法である。

SCM の基本的な考え方は、処置群（単一ユニット）と類似した特徴を持つ複数のコントロール群を重み付き平均して「合成コントロール」を構築し、介入後のアウトカムとの差を因果効果として推定することである。重みは、介入前の特徴量を最も近似するように選ばれる。

本分析で用いる回帰式は、介入がなかった場合のアウトカムを表す因子モデルであり、次のように記述される。

$$Y_{rt}^N = \delta_t + \theta_t Z_r + \lambda_t \mu_r + \varepsilon_{rt}$$

このモデルにおいて、 Y_{rt}^N は地域 r における時点 t の反事実的なアウトカムを示す。式の構成要素は、 δ_t が全地域に共通する時間変動要因、 $\theta_t Z_j$ が観測可能な共変量の影響、 $\lambda_t \mu_r$ が未観測因子の時間変化と地域固有の負荷量を表し、 ε_{rt} はランダムな誤差項である。このモデルは、従来の Difference-in-Differences（DID）と異なり、未観測要因の時間変化を許容するため、並行トレンド仮定を必要としない。

合成コントロールは、ドナープールから選ばれた重み $W=(W_2, \dots, W_{j+1})$ によって構築される。重みは $\sum_{r=2}^{R+1} W_j=1$ かつ $W_r \geq 0$ という制約を満たし、介入前の特徴量を最も近似するように選ばれる。最適化問題は次のように表される。

$$\min_w \|X_1 - X_0 W\|_V$$

ここで、 X_1 は処置群の特徴量、 X_0 はコントロール群の特徴量行列、 V は変数の重要度を反映する重み行列である。介入後の効果は、処置群の実際のアウトカムと合成コントロールのアウトカムとの差として推定される。

$$\hat{a}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{r=2}^{R+1} W_r Y_{rt}$$

この差が、政策や制度導入による因果効果を示す。