

## 論文の内容の要旨

論文題目 タンザニアにおける地域別経済的電化方式と実行可能性に関する研究

氏 名 芝野 恭平

本研究の目的は、未電化地域における電化事業、特に LED ランタンのレンタル事業に着目して、サブサハラ・アフリカ地域の現状課題を元に以下の 2 点とした。

研究目的 1 時代とともに変化する電力需要を求め、経済的に最適な電力システムを地域別に求めること。さらにその中で LED ランタンレンタルモデルの位置づけを明らかにすること。

研究目的 2 LED ランタンレンタル事業を行う上で売上の要因となる項目を求めること、さらにその中で個人の性格や地域コミュニティのソーシャル・キャピタルの影響を明らかにすること。

東アフリカに位置するタンザニア連合共和国を対象に、公開情報を元にしたシミュレーション分析、並びに電化事業者を対象にアンケート調査を行い、調査結果に対して統計解析、機械学習による分析を行い、これらの点について検証した。

第 2 章では設定した研究目的 1 に即して、世帯あたりの所得の増加に合わせて増えていく電力需要量を算出するモデル（所得需要モデル）の開発と、地域ごとに経済効率性の高い電力システムを選択し求めることができるモデル（地域別の経済的電力システム評価モデル）の開発を行い、タンザニアにおけるケーススタディを通じたシミュレーション分析を行った。

まずは、世帯あたりの所得に合わせて増加していく電力需要量を算出するモデル（所得需要モデル）の開発を行った。各種家電製品それぞれの保有数について、世帯所得との関係を Gompertz 曲線による近似を行った。そして、家電製品の世帯における電力消費量の分布がガンマ分布に従うものと仮定し、全家電製品に対して所有数と電力消費量をかけたものを足し合わせて世帯あたりの電力需要量を推定した。

次に、地域別の経済的電力システム評価モデルの開発を行った。比較対象とする電力システムの選択を行い、ソーラーマイクログリッド (SMG)、ソーラーホームシステム (SHS)、ソーラーキオスクモデル (SKM)、ディーゼルマイクログリッド (DMG)、系統延長 (NGE) の 5 つを比較対象とした。次に、それ

ぞれの電力システムをモジュールに分け、そのモジュールごとに将来的な価格変化を仮定した。モデルでは、対象となる国土をメッシュ状に分割し、1つ1つのメッシュごとにコスト最適な電力システムが求められる。今後20年間でのそのメッシュにおける必要な電力需要量を入力値とし、それを満たすために必要な発電量を計算し、5つの電力システムそれぞれについて、その発電を行うために必要な各期のコストから LCOE を計算した。5つのうち LCOE が最も低い電力システムがコスト最適な電力システムとして採用される。

以上のシミュレーションモデルによるケーススタディをタンザニアメインランドにて行った。所得需要モデルより、所得に応じた世帯あたりの電力需要量を算出することができた。まずはケースの1つ目として、所得需要モデルより得られる電力需要で、地域別のコスト最適な電力システムをシミュレーションにより求めた。2016年に電化をしたときは、SHS、DMG、NGEの3つのシステムで国土が3分割された。系統から近いところはNGEが、そうでないところがDMGが、ディーゼル輸送のコストが高いところはSHSが採用された。しかしながら、このシミュレーションで得られた結果は、消費者側の所得水準と供給者側のコストを勘案すると事業の成立が不可能であることがわかった。次に、世帯あたりの電力需要量を、所得需要モデルを用いずに、顕在化している最低限の需要である照明と携帯電話に限定して、シミュレーション分析を行った。その結果全地域でSKMが採用される結果となった。このとき、所得水準と供給コストを勘案しても消費者側で支払い可能であり、事業の成立可能性がある結果となった。また、政府目標である2035年に電化率75%を達成するためにはREAの予算を仮定した場合は、世帯あたりの電力需要が40 [M], 5.0 [kWh/month] 以下である必要があることがわかった。

第3章では設定した研究目的2に即して、LEDランタンのレンタル事業における売上の要因を抽出するために、システム導入先を選別する項目・指標の開発を行った。項目は個人の性格と地域のソーシャル・キャピタルを計測できる項目が含まれている。タンザニアで事業を行っている企業のシステム導入先において調査を行い、その結果と売上データを元に統計解析手法および機械学習手法を用いて分析を行った。

まずは、調査項目の作成と調査実施の方法についての検討を行った。売上の要因を、Agentに由来する項目、地域住民に由来する項目、担当スタッフに由来する項目、環境の項目の4つに分けて項目作成を行った。地域のソーシャル・キャピタルを計測するための項目として、信頼・互酬性の規範・ネットワークの3分類をそれぞれ10点満点で表現する項目を作成した。

調査はタンザニアでシステムを導入しているキオスクを対象に行い、2017年1月9日から1月22日までの14日間で、147のAgentにて分析が可能な集計データを得た。

調査結果と売上との関連については、検定と、機械学習アルゴリズムを用いて分析を行った。機械学習では、売上に影響している項目のランキングの抽出と、Agent個人の性格とソーシャル・キャピタルの売上への影響を調べるために、それらの項目の有無による予測誤差の変化の分析を実施した。売上データと調査結果に対し、統計解析手法や機械学習アルゴリズムを適用したところ、最も売上に影響がある項目は、地域住民の所得源であることがわかった。特に農業中心のコミュニティでは売上が低い傾向があり、多くの未電化地域で農業が主体であるタンザニアにおける事業の難しさが改めて浮き彫りになった。また、ソーシャル・キャピタルが極めて高いコミュニティにおいては売上が下がる、ということが発見できた。

まとめると、2つの研究の目的に対する結果として以下を得た。

【研究目的1】時代とともに変化する電力需要を求め、経済的に最適な電力システムを地域別に求めること。さらにその中でLEDランタンレンタルモデルの位置づけを明らかにすること

世帯の所得額から電力需要量を推定するモデル：所得需要モデルの開発を行うことができた。これを用いて、変化する世帯所得を元に、時系列で変化する電力需要量を算出することができた。ただし、このモデルをもとに導出されるタンザニアメインランド全土の電力需要量は、TANESCOで算出されている結果とのずれがある。説明可能だと考えられる差異であり改善の余地は残されている。

また、地域別に経済的に最適な電力システムを求めるシミュレーションモデルの開発も行うことができた。これは、サブサハラ・アフリカ地域において現実的な電化のオプションである5つの電力システムのうち最も経済的なシステムを選択してくれるものである。中でもSKMは、LEDランタンレンタルモデルを抽象化した電力システムである。これを用いて、タンザニアメインランドにおいてシミュレーション分析を行った。所得需要モデルで得られた電力需要を元に2016年に電化をする際にはSHSとDMG、NGEで凡そ全土が3分割されることがわかった。つまり、人々の需要を満たすための電力供給を行っていくにはSHS、DMG、NGEが経済的に優位であることがわかった。しかしながら、この求められた経済最適な電力システムを持ってしても、住民の所得水準に対してコストが高いために、多くの地域で所得需要モデルで算出された電力需要量をすべて購入することはできない。すなわち、この場合事業として成立しない。一方で、経済的に実現可能であるのは、上述の所得需要モデルで得られた電力需

要を供給するための設備投資を行っていくことではなく、最小限の電力需要を満たすための電力システムを構築していくことであることがわかった。REA の予算で電化することを考えると、2035 年 75%電化率の目標達成の電力需要の限界は 1 世帯あたり 40 [M], 5.0 [kWh/month] であり、目標達成のためにはこれ以下の電力需要である必要であることがわかった。さらに、その際のコスト最適な電力システムは全土において SKM であった。

[研究目的 2] LED ランタンレンタル事業を行う上で売上の要因となる項目を求めること、さらにその中で個人の性格や地域コミュニティのソーシャル・キャピタルの影響を明らかにすること。

売上に影響があると考えられる調査項目を、Agent, 地域住民, 担当スタッフ, 環境の 4 分類をもとに作成した。その中で、ソーシャル・キャピタルについて信頼・互酬性の規範・ネットワークの 3 分類 10 点満点ずつで構築される質問項目を作成した。これらをタンザニアでランタンレンタル事業を行っている企業のシステム導入先の Agent にて調査を実施し、その調査結果と売上金額との分析を統計解析、機械学習手法を用いて実施した。調査結果が得られた 147 の Agent のデータの分析を行ったところ、統計的に有意差がある項目を抽出することができた。売上に最も影響が高い項目は、地域住民の主となる所得源であった。中でも、農業中心であるかが重要で、農業中心のコミュニティは売上が低い傾向があるということがわかった。個人の性格については、事業パートナーの性格の違いにより売上に差が現れることが確認できた。さらに、ソーシャル・キャピタルについても有意差が見られた。ソーシャル・キャピタルが極めて高いコミュニティについては、売上が低くなるという事実が確認できた。