［寄稿論文］

バングラデシュの農村電化と持続可能な発展

広島大学大学院国際協力研究科教授　金子　慎治
広島大学大学院国際協力研究科助教　小松　悟

1. 途上国における農村電化

1.1 電気のない生活

途上国の貧しい農村地域では電気のない生活はそれほど特別ではない。いわゆる貧困世帯における電気のない生活では，薪や藁，家畜の糞などのバイオマスを直接燃料として炊事や暖房のために利用したり，灯りには灯油ランプを利用したりする。こうしたエネルギー利用は室内汚染や悪臭をもたらし，特に女性や子供などに悪影響をおよぼす。女性が乳幼児を背負って屋外や離れの炊事場のもうもうとした煙の中で料理をしている光景を目にする。特にアジア地域では，家族の意思決定を行う場合の多い男性がこうした状況をよく理解しないことがあるといわれる。一方，灯油ランプの下で勉強する子供たちは，その悪臭によって集中力が維持できない。せいぜい1時間も勉強すると頭痛がしたり気分が悪くなったりするそうだ。

バイオマス燃料を集めるのもたいへんな場合が多い。多くの場合，農村では農業を営んでいるため，農業残渣や家畜の糞を乾燥させて利用する。しかし，それでは不十分な場合も多く，近くの林や森に出かけて行って薪拾いをする。こうした作業は通常，女性や子供の仕事である。ところで，厳密にいえば電気がない地域というのは，文字通り電気を全く使わない地域の他，送電線によって常時電気が使える状態にはないが，小型充電式バッテリーや自家発電機，太陽光発電のように小規模の分散型電源を使って限られた用途や限られた時間に電気を利用する地域もある(注1)。自家発電機や太陽光発電などは途上国の貧しい農民にとっては高価な設備であり，充電式バッテリーを使う場合が少なくない。こうしたバッテリーは送電線によって電化されている町や親戚・知人の家にもって行って充電しなければならない。そのため，わずかな電気を使うために多大な時間と労力をかけ，さらに貧しい農民にとってはそれなりに大きな金銭的負担をしなければならない。そして使える電力が限られているため，低ワット数の裸電球や白黒テレビやラジオ，最近では携帯電話の充電など限られた用途のために利用しているのみである。こうした電気のない生活を理解することは，逆に電化された場合のインパクトを理解するうえで重要である。

1.2 農村電化のインパクト

各家庭が送電網に接続されることによって電気が使えるようになるとどうなるか。上記のエネルギー消費形態や消費量がたちまち全て大きく変わるかといえば，そうではない。明らかに，電化されたとしてもただちに炊事や暖房のためのバイオマス燃料の利用がなくなるわけではないからだ。

一般に，無電化地域に送電網（グリッド）が整備され，各家庭が電化されることによって期待される正のインパクトは，大きく2つの効果にわけて考えることができる。ひとつは所得創出効果（income generation effects）であり，もうひとつは生活環境の改善（livelihood improvement effects）である。長期的には前者と後者の明確な境界を設定することは難しくなることもあるが，通常は短

期間に所得増加をもたらす直接の効果を所得創出効果と考えてよい。これに対して，後者は生活の利便性や生活環境の改善はもたらすものの，短期間に直接収入増加に繋がるわけではないものをいう。家庭内の支出あるいは農業費用の節約をもたらす効果も，所得創出効果とはいえないため後者に分類するほうが分かりやすい。

家庭内での所得創出効果の例として，電灯を使うことによって夜間に内職をすることができるようになり，あるいは内職時間を長くすることができるようになり，収入増加に繋がるようなことがある。あるいは小型バッテリーを充電するための時間が節約できるようになり，その分内職をすることができるようになる場合もあるだろう。

農家であれば，さまざまな農機具を導入することが可能になり，農業生産性の向上に繋がる。バングラデシュでは電動の灌漑用ポンプを導入することにより，年間3回の作付けが可能となり，生産性が3倍になったケースもある。また，町の小さな商店街で小売業やレストランを営む場合には，電化によって夜間の営業時間を延長したり，冷蔵庫やファンを導入して，売上が増加したりする場合がある。

地域全体の電化による新産業の創出や雇用の創出によって，地域住民に大きな所得創出効果として裨益する場合もある。新産業としては紡績工場など労働集約型の工場に加え，稚魚を孵化させる設備を備えた養殖場，農産物の出荷時期を管理するための倉庫などさまざまな業種の産業が創出される。そうした新しい産業によって周辺地域住民の新たな雇用機会が創出され，地域住民の所得向上に寄与する。

これに対して，かならずしも直接所得創出効果には結びつかないが，生活環境の改善など正のインパクトももたらされる。たとえば，灯油ランプから電灯に変更されることによって子供たちの家庭での学習環境が改善され，勉強時間が長くなり集中力が増す。電化後の子供たちの成績の向上は小学校や中学校などの教師からも聞くことができる。こうした効果は世代をまたぐ長期的な効果と解釈することができる。また，外灯を設置することによって住居周辺の安全性が高まったという話も聞くことがある。

テレビの視聴やラジオ放送などによって娯楽の時間が増えるだけではなく，必要な情報をタイムリーに得ることができる効果も大きい。長期的には教育効果を指摘する場合もある。ただし，小中学校に通う子供のいる家庭では，テレビの視聴は家庭での勉強の妨げになるという声も少なくない。

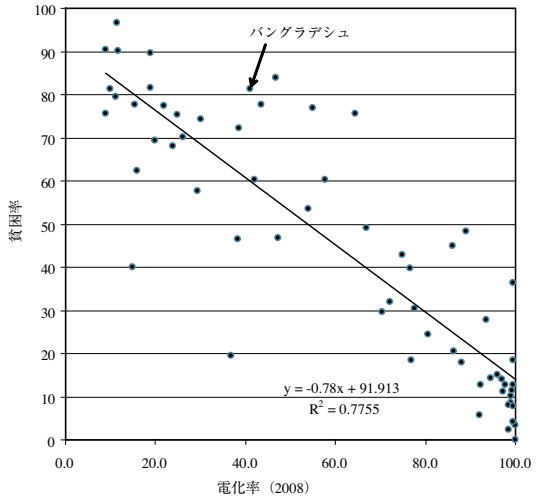
携帯電話の普及は無電化地域にも広がりをみせつつあり，充電のために小型バッテリーを持ち運んで充電していた家庭にとっては，大幅な時間と労力，金銭的負担の節約に繋がる。また，灯油や重油などの値段が高騰している中，こうした費用の節約も電化の便益だと感じる人も多い。

さらに，こうした効果の間接的な影響として，家計の余剰によって改良カマド（improved cooking stove）を導入した結果，燃料を効率的に消費するとともに有害な煙が屋外へ排気され，炊事の際の大気汚染が改善されるというケースがある。バイオマス燃料の消費にも変化が生じ，さらなる間接効果が期待される。

1.3　電化と貧困

電化率（国民のうち電気を使うことができる人の割合）は貧困率（国民のうち1日2ドル以下で生活する人の割合）と負の相関がある。図1にデータが得られた途上国の電化率と貧困率の関係を示した。国全体のマクロな関係のため，非電化世帯と貧困世帯が完全に一致しているかどうかは明確ではないが，おおむね多くの貧困世帯は電気のない生活をしているとみなしてよいだろう。経済的

図1　電化率と貧困率の関係（単位：%）



（注）貧困率は1日2ドル以下で生活する人口割合，2000～07年の間で利用可能なデータの中での最新。
（出所）IEA（2009），World Bankより筆者作成

な豊かさと電化には一定の関係があり，両者の因果関係としては双方向が考えられる。即ち，経済的に発展しなければ電化率を高めることができない一方で，先にみたように電化することによって経済的に豊かになる。こうした関係は，1人当たり電力消費量と貧困の関係をみても同様である（Kagawa and Nakata，2008）。さらに，電力消費量の増加は，生活の質や発展の度合いをあらわす開発指標である人間開発指標（HDI：Human Development Index）の改善にも繋がる。

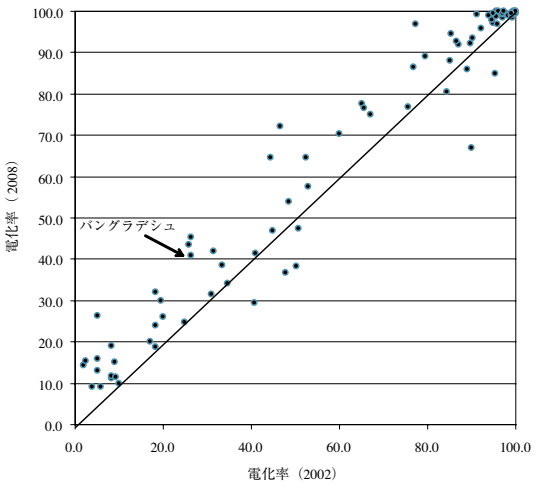
本稿で対象とするバングラデシュは他の途上国と比較しても電化率の割に貧困率が高い国である（図1）。ただし，2002年の電化率が26.3%であったことを考えるとここ数年で急速に電化率が改善したことが分かる。バングラデシュにおける電化率の改善は他の途上国に比べても大きいといえる（図2，各プロットから45度線までの垂直方向の長さが改善を意味する）。ただし，いくつかの国では内戦などの理由で電化率が低下した国もある。

さて，無電化地域が電化されることによって多くの便益がもたらされることは前述の通りであるが，現在，世界にはどのくらいの人が無電化地域で暮らしているだろうか。国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）の最新の推計によれば，2008年時点で世界全体の無電化人口は14億5,600万人である。そのうち40.5%はアフリカに，55.6%がアジアの途上国に住んでいる。アジアで最も多いのがインドで27.8%，次いでバングラデシュの6.5%，インドネシアの5.6%，パキスタンの4.8%と続く。この4ヵ国の無電化人口は世界全体無電化人口の約45%を占め，6億5,000万人を超える。

表1にバングラデシュの主要な経済指標をアジア途上国と比較した。これらの国はいずれも近年，比較的高い経済成長率を保っているが，バングラデシュは著しく貧困率が高いことが特徴である。また，1人当たりGDPも1,334ドル（購買力平価ベース，2008年）と近隣諸国と比較して低水準である。

また，これらの国々の電力消費関連の指標をまとめた表2からは，バングラデシュの電化率，とりわけ農村での電化率が低いことが分かる。電力

図2　電化率の改善（2002～08年，単位：%）



（出所）IEA（2004，2009）より筆者作成

表1　主要経済指標の比較

	GDP 成長率（%）	1 人当たり GDP（ppp, ドル）	人口増加率（%）	人口数（万人）	貧困人口比率（%）	失業率（%）	都市人口比率（%）	1 人当たり CO_2 排出量（t）
バングラデシュ	6.2	1,334.4	1.4	16,000	81.3（2005）	4.3（2005）	27.1	0.26
インド	7.1	2,972.4	1.3	113,996	75.6（2005）	5.0（2004）	29.5	1.28
パキスタン	6.0	2,644.2	2.2	16,604	60.3（2005）	5.3（2007）	36.2	0.86
スリランカ	6.0	4,560.4	0.7	2,016	39.7（2002）	6.0（2007）	15.1	0.56
カンボジア	5.2	1,904.6	1.7	1,470	68.2（2004）	1.7（2001）	21.6	0.04
インドネシア	6.1	3,974.9	1.2	22,825	50.0（2006）	9.1（2007）	51.5	1.90
ベトナム	6.1	2,784.9	1.2	8,621	48.4（2006）	2.1（2004）	27.8	1.23
ラオス	7.5	2,134.1	1.8	621	76.8（2002）	1.4（2005）	30.9	0.24
ミャンマー	12.7	882.2	0.8	4,919	N/A	4.0（2007）	32.6	0.24

（注a）貧困人口比率は，1日2ドル以下で生活する人口比率（%）を示す。
（注b）カッコ内は年次を示す。年次を示していない場合は，2008年のデータを示す（1人当たり CO_2 排出量を除く）。1人当たり CO_2 排出量は，全て2005年のデータ。ミャンマーのGDP成長率は2006年，1人当たりGDPは2004年のデータを示す。N/Aはデータが利用不可能なことを示す。
（出所）World Bank，インドネシアの貧困人口比率はWorld Bank（2007），ミャンマーの失業率はADB（2009）

表2　電力消費関連指標

	電力消費量（kWh，1 人当たり）[a]	電力輸送に係るロス率（%）[a]	電化率（%）[b]			
			合計（%）	都市部（%）	農村部（%）	電力の非利用人口数（100 万人）
バングラデシュ	146.4	6.4	41.0	76.0	28.0	94.9
インド	502.8	25.4	64.5	93.1	52.5	404.5
パキスタン	480.1	22.4	57.6	78.0	46.0	70.4
スリランカ	400.1	15.3	76.6	85.8	75.0	4.7
カンボジア	88.0	7.7	24.0	66.0	12.5	11.2
インドネシア	529.7	11.2	64.5	94.0	32.0	81.1
ベトナム	597.7	11.0	89.0	99.6	85.0	9.5
ラオス	N/A	N/A	55.0	84.0	42.0	2.7
ミャンマー	92.8	27.1	13.0	19.0	10.0	42.8

（注）「電力消費量」，「電力輸送に係るロス率」は2006年，電化率は2007年のデータを示す。
（出所）a）World Bank，b）IEA（2009）

消費量も，他国と比較して低い。農村部での電力供給の必要性が高い国であるといえる。他方で，送電ロス率は他の国と比較して低く，このことは整備された電力インフラが小規模で不十分であるものの，比較的新しく質の高いものであることが分かる。

電源別発電電力量の構成比を図3に示した。各国の資源賦存量の違いなどにより，国により原油，

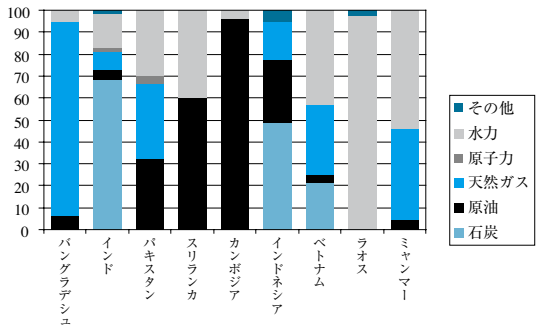
石炭，水力，天然ガス等，構成比が大きく異なる。バングラデシュの特徴は天然ガス発電による発電電力比率が圧倒的に高いことである。これは，バングラデシュ南部のベンガル湾のガス田からの天然ガスを利用できることに起因している。しかし近年，利用できる天然ガス資源の枯渇も指摘されており，他のエネルギー源の確保が不可欠となっている。

2. バングラデシュの農村電化

2.1 農村電化庁と汚職対策

1971年12月に独立したバングラデシュであるが，独立当時の電化率は約3%程度であった。1972年に制定されたバングラデシュ憲法の第16条は農村開発と農業大改革に関する条項であるが（People's Republic of Bangladesh参照）[注2]，そこには，農村電化を促進することが謳われている。1977年までのバングラデシュの電力供給はバングラデシュ電力開発庁（BPDB：Bangladesh Power Development Board）が唯一の政府機関として，発電，送電，配電の全ての業務を行っていた。ただし，当時BPDBの活動はもっぱら都市部を中心としていた。最近でこそ少しずつ改善の兆しがみられるバングラデシュの汚職や官僚腐敗であるが[注3]，当時独占的に電力事業を行っていたBPDBの汚職や官僚腐敗がかなりひどい状況であったことは想像に難くない。

図3　各国の電源別発電電力量の構成比（2007年，単位：%）



（出所）IEAのHPより筆者作成（ラオスはMinistry of Industry and Commerce, Lao PDRのHPから作成）

こうした状況のなか農村地域の電化をいかに進めるべきか，米国国際開発援助庁（USAID：United States Agency for International Development）の調査が始まった。実際に調査を行ったのは米国の全米農村電力協同組合（NRECA：National Rural Electric Cooperative Association）である。NRECAは米国国内において1930年代から農村電化を実施してきた組織だが，1962年以降USAIDの委託を受けてこれまでに70ヵ国以降において農村電化にかかる国際援助事業をも積極的に実施している。1970年代前半にNRECAの技術者に同行して調査に参加した現地専門家によれば，道路も整備されていない中，全国を調査してまわるのにはたいへんな苦労があったという。

こうした経緯からバングラデシュにおいても米国の経験に基づく農村電化組合（PBS：Palli Bidyut Samity）を中心とした農村電化事業が計画されたが，この事業は腐敗のひどいBPDBからは基本的に独立した事業として，配電事業のみを農村で行うこととされた。さらに，バングラデシュに先駆けて実施されたフィリピンでの援助事業で，全国組織をもたなかったことが事業の効率的実施において失敗だったという反省から，バングラデシュでは農村電化庁（REB：Rural Electrification Board）がまず，1977年に設置された。REBは各地のPBSを監督指導する機関であり，政府機関や国際機関などからの資金調達，各PBSの計画やパフォーマンスの管理，技術的な標準化やマニュアルの作成，人材育成のための資格認定やトレーニングの実施などを行う。また，もっとも重要な役割は，BPDBから電力を購入して各PBSに販売することである。

各地のPBSでは，計画や事業に関する意思決定

機関として理事会(Board of Directors)が設置され，理事は任期3年でユーザー（受益者）の代表として選挙で選ばれることになっている。意思決定への政治介入を排除するため，政治家や特定の政党の関係者は理事にはなれない。また，ユーザーの代表が意思決定を行うことで透明性や参加意識，オーナーシップが確保されるように設計されている。そして，REBから派遣された専門家（General Manager）が日常の事業実施を担当する。

一方，各地のPBSの職員はREBでのトレーニングを受けた後，それぞれの専門職として会計や機器や設備の設置，管理などを行う。また，新規ユーザーの開拓やユーザーの要望を受けるため，各村にアドバイザーが配置された。ここでPBSの職員の雇用に際して，女性の雇用を促進することが図られた。そのため，経理やアドバイザーには女性が多くみられる。最初に設立されたPBSのGeneral Manager経験者に聞いたところ，当時は農民の間でそもそも電気というものがあまり知られていなかったため，毎晩，各農家を回って長時間かけて説明して説得したという。独立したばかりの国のために貢献しようという気概が職員全体にあったそうだ。現在でも各PBSは毎年，業績目標協定（PTA：Performance Target Agreement）としてシステムロスや新規顧客数など20の事業パフォーマンスに関するパラメーターをREBとの間で合意し，事業実施の拡大や効率改善に努めている。そして，達成率に応じてボーナスやペナルティが課せられることになっている[注4]。これは全職員に一律に実施されるため，職務遂行において大きなインセンティブになっている。

このように，REBが長期的に高いパフォーマンスを維持してきたのは数々の汚職防止策がシステムとして効果的に機能したからとされる。USAID(2006)によると，以下のようにまとめられる。

(1) メーター検針と料金回収

電力利用者の使用量は全てメーターによって計測されている。メーターの検針員は1年契約の雇用であり，2年以上同じ組合内で雇用を継続できない。またメーターの不正･不具合を防ぐために，彼らはメーターを3ヵ月おきに取り替えている。検針員はこれらの業務を実施するために十分な訓練を受けると同時に，他の検針員による監視も実施されている。

料金支払いは銀行での支払いか，組合事務室で行われる。料金回収担当者は1年おきに変更される。料金回収担当者の活動は管理責任者によって監視されている。

(2) 未払い者への電力切断

支払日から2ヵ月以内に料金を支払わなければ，電力供給は停止される。電力供給を回復する場合，未収金に10%の加算金を支払う必要がある。調査によると，REB以外の電力供給者では電力切断は実施していない模様。

(3) 盗電（無断で電線をつなげること）の防止

盗電するための電線の発見，またメーターで検針されていない接続を発見するために，定期的にパトロールを実施している。また盗電防止のために，住民への広報活動も行う。盗電をやめ，通常の電力供給を受けるためには50タカの罰金を支払う必要がある。

(4) 配電機器の盗難防止

特に変圧器が盗難される頻度が高い。変圧器が盗難される，また壊された場合，利用者が取替費用の50%を負担する義務がある（1回目の取替の場合)。その為利用者は注意深く，変圧器の損傷を防ぐように努力をしている。

(5) 政党の排除

前述の内容とも一部重複するが，政治介入を排除するため，政治家や特定の政党を支持する人は理事にはなれない。また新規に電力供給網を拡充

する場合は，政治的介入に依らず，経済的・技術的基準を満たした場所を選択するようにしている。

(6) 労働組合の禁止

REBでは労働組合を禁止している（福利厚生組織は存在）。労働組合ができると，汚職を行った他の従業員を守る，事業の実施が妨害される，といった弊害がでるためである。

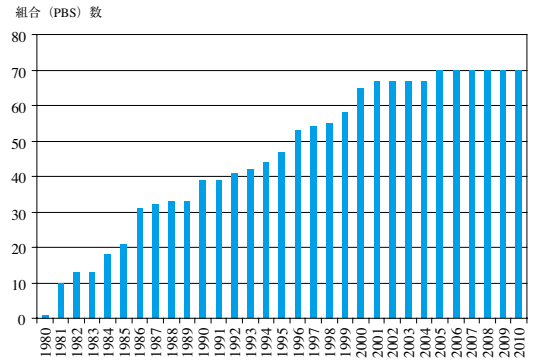
その他，国際援助機関（ドナー）による監視，従業員への規範意識の浸透等により，REBでは高い事業パフォーマンスが維持されていると結論付けてられている（USAID，2006）。

こうして腐敗した社会の中に清廉なシステムが構築されるにいたった結果，多くのドナーがREBおよび新たなPBSの設置に融資や援助をするようになった。その結果，組合（PBS）の設置数は順調に増加し，現在70を数えるPBSはほぼ全国をカバーするまでとなった(図4参照)。そして，このバングラデシュのモデルは援助事業の成功例として知られるようになる。アフリカ諸国やインドなど他の国へのモデルとされている。

2.2 農村電化の光と影

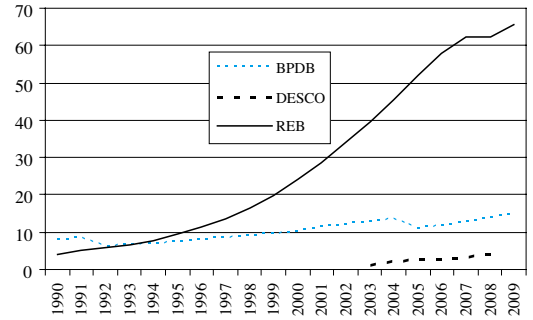
現在電力事業者は，バングラデシュ全土での発電・送電に加え，ダッカ市とその周辺を除く都市域で配電を行うBPDB，ダッカ市とその周辺地域で配電を行うダッカ電力供給会社（DESCO：Dhaka Electric Supply Company Limited），ダッカ電力供給局（DESA：Dhaka Electric Supply Authority），および農村地域で供給を行うREBである。

図4 農村電化組合（PBS）数の推移



(出所)REB(2010) より筆者作成

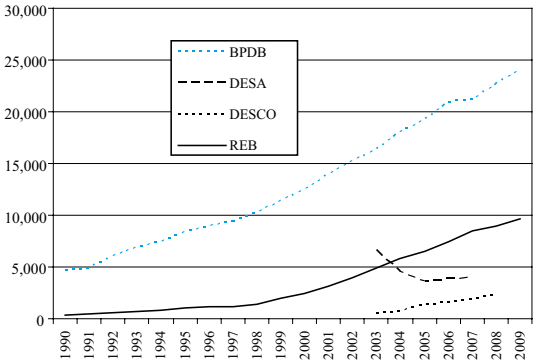
図5 家庭用電力の契約世帯数の推移（単位：10万世帯）



(注)DESAの契約者数は不明だが，USAID(2006) によると，2003年時点でBDPBの約29%の契約者数をもつ。また，DESCOは世帯の契約者数は明示されていないものの，世帯契約の全契約に占める割合が約88%ということから算出した。

(出所)BPDB(2010)，DESCO(2009)，REB(2007, 2008, 2009) より筆者作成

図6 電力販売量の推移（単位：GWh）



(出所)BPDB(2010)，DESCO(2009)，ADB(2008)，REB(2007, 2008, 2009) より筆者作成

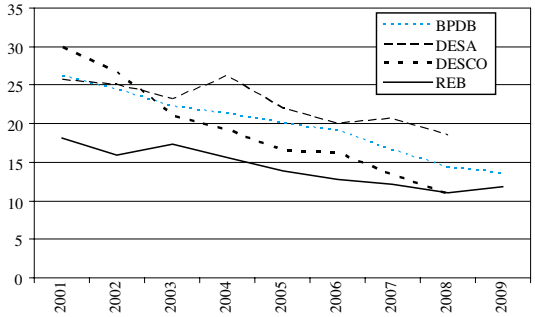
契約者のうち，家庭用電力の契約世帯数を図5に，全体の電力販売量を図6に示す。家庭用契約世帯数では，REBが圧倒的に多くのシェアを示す。これは農村地域に多くの家庭用契約者を抱えるREBの性格を示すものである。他方，電力販売量では，BPDBが最も多くの販売量を示す(注5)。これは，BPDBの顧客が，都市部を中心としてお

り，製造業企業などの大規模契約者が多いためである。家庭用契約世帯数，電力販売量ともに，おおむね順調に増加を続けてきたことが分かる。

システムロス率および料金回収率は事業の効率性や腐敗の程度を示す指標である。システムロス率とは，電力送電時の電力量から実際に販売された電力量を示す割合を示す値で，送電線の老朽化，盗電，電力消費量が適切に検針できない（しない），などの場合に高くなる。料金回収率とは，当初の回収見込みのうち，実際に回収できた料金を示す(注6)。当然料金回収率が高い方が，高いパフォーマンスを示すこととなる。

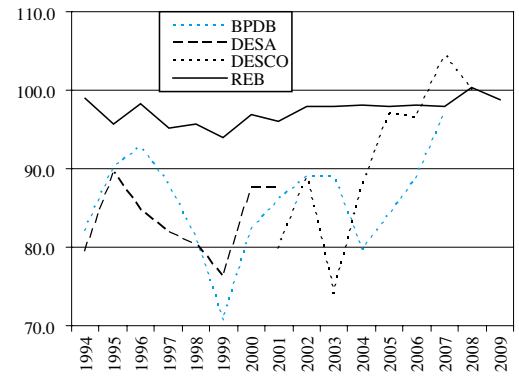
図7にシステムロス率を示した。システムロス率は一貫して下がる傾向にあるが，先に述べたような理由から事業者別ではREBが常に低い。図8の料金回収率でもREBが一貫して高い値を保っており，REBの事業パフォーマンスが高い水準にあることを示唆する(注6)。

図7　システムロス率（単位：%）



（出所）BPDB（2010），DESCO（2009），ADB（2008），REB（2007，2008，2009）より筆者作成

図8　料金回収率（単位：%）



（出所）BPDB（2010），DESCO（2009），ADB（2008），REB（2007，2008，2009）より筆者作成

農村電化組合（PBS）が汚職を排除したシステムによって順調に契約戸数を増やしてきた中，皮肉なことに新たに開拓した急速な需要があだとなる。即ち，REBの事業はバングラデシュ電力開発庁（BPBD）による電力供給の不足から慢性的な停電に直面することになる。そして農繁期に不満をもった契約農家と地元PBSとの間で2006年2月に衝突が起き，17名の犠牲者が出た（Bai et. al, 2009）。これは5年ごとの選挙によって毎回政権が交代するたびに長期の電力開発計画が凍結されたり変更されたりしたことによる電力開発の遅れが主な原因であった。とりわけ，2001～05年の5年間は，発電所が1基，80MWの発電能力が新たに追加されただけであった。

さらに，既存の送電線や都市に近く，人口の集中している比較的裕福な農村から電化を始めてきたが，地理的な条件が悪い地域への普及を進めていかなければならない構造的な問題により投資効率は上がらない。またREBの事業はそれまで政治介入とは一定の距離を置いて事業を進めてきたが，一定規模に拡大したため，独立性を保てなくなってきた。そのため，事業計画の策定や実施において政治介入が各地域で散見されるようになってきており，全体としての事業効率にも影を落としている（Taniguchi and Kaneko，2009）。

3. 太陽電池パネルの普及

3.1　急速な普及

バングラデシュ政府は2000年の“Vision Statement and Policy Statement on Power Sector Reforms”　で，

2020年までに全ての世帯を電化する目標を採択した。しかし，1970年代後期から約30年近く実施してきた農村電化事業そのものの評価は高いものの，その成果は農村電化率28%というものである。この目標を達成するには，根本的な発想の転換が求められる。なぜなら，グリッドによる電力供給については，依然としてBPDBへの政治介入や汚職・腐敗を受けやすい状況が続くとの見通しであること，天然ガス資源の枯渇問題への対応が求められること，残された採算性の悪い地域の発電設備・送電設備への多額の投資の必要なこと，など長期的な問題が山積しているからである。そのため，バングラデシュでは電化目標を達成するための現実的かつ迅速なセカンドベストな対応として，太陽光発電による分散型電源への期待が高まっている。国土に照射される光量が太陽光発電に適しているとされる一方で，水力発電や風力発電の利用可能な地域が非常に限られているためである（Islam et al，2008）。

こうした状況を受けて，1990年代後半から太陽光発電による分散型農村電化事業が主に非営利団体によって進められてきた。これは，数10Wの太陽光パネル，充電用バッテリー，電灯，その他付属品で構成される，ソーラーホームシステム（SHS：Solar Home System）と呼ばれる家庭用電化パッケージを住民世帯に導入する事業である。住民はSHSを一括払い，ないしは割賦で購入する。プロジェクトの多くが，ドナーから支援を受けた政府系の投資会社のインフラ開発社（IDCOL：Infrastructure Development Company Limited）から，融資を受けて実施したものである。その結果，2005年8月までに5万台，2007年3月までに10万9,456台を設置した（IDCOLのHPより）。そして2009年12月までに20万台（7,329KW）の設置を目標としていたが，計画を超えて2009年3月までに28万4,102台を設置した。

筆者らはこのうち，バングラデシュで最も多くのSHS導入実績のあるグラミン・シャクティ（Grameen Shakti）の事業実施地域で，SHS利用世帯と非利用世帯に対する調査を2009年夏に実施した。調査対象地域は農村部に位置し，首都ダッカから北西数10㎞に位置するSingair郡，ダッカから80㎞程度北東部にあるKishoreganj郡，ダッカから80㎞程度離れ更に地方都市からのアクセスも悪いComilla郡の3地域を対象とした。各地域で利用世帯，非利用世帯それぞれ100世帯程度にアンケート調査を実施し，合計614世帯から回答を得た。グラミン・シャクティは，マイクロクレジットで有名なグラミン銀行（Grameen Bank）グループの1組織であり，主に農村部でSHS普及活動，その他バイオガス発電事業や料理用かまど改善事業を実施している。グラミン・シャクティはSHSを2005年までに5万1,638台，2009年までには31

表3　SHSのパッケージ内容と価格

発電能力	パッケージの構成	価格
40Wp	-6Wの電灯（3点） -40Wpの太陽光パネル -55Ahの充電用バッテリー	22,500タカ （約30,068円）
50Wp	-6Wの電灯（4点） -50Wpの太陽光パネル -80Ahの充電用バッテリー	28,000タカ （約37,418円）
65Wp	-6Wの電灯（6点） -65Wpの太陽光パネル -100Ahの充電用バッテリー	34,000タカ （約45,436円）
85Wp	-6Wの電灯（7点） -85Wpの太陽光パネル -130Ahの充電用バッテリー	42,500タカ （約56,795円）
120Wp	-6Wの電灯（10点） -120Wpの太陽光パネル -100Ahの充電用バッテリー（2点）	65,000タカ （約86,864円）
130Wp	-6Wの電灯（11点） -130Wpの太陽光パネル -100Ahの充電用バッテリー（2点）	68,000タカ （約90,873円）

（注）2009年1月時点の，農村地域での価格。全てのパッケージで，チャージコントローラーやその他付属品を含む。点数が書いていないものは，全て1点。10Wp，20Wpのパッケージも価格表には入っているが，これらのパッケージを利用している世帯がいなかったため省略した。

（出所）Grameen Shakti（2009）為替はBloomberg合資会社のHP参照（2010年3月30日時点で，1円＝0.7483タカ）

万7,591台導入した（数値は累計，Grameen Snaktiの HPより）。

表3にグラミン・シャクティが住民に提示する契約パッケージを示す。値段の高いパッケージほど，発電能力が高く（太陽光パネルが大きく，大容量の充電も可能），多くの電灯がついている。住民は一括払いでパッケージを購入することができるが，高価なため多くの住民は，月々の割賦（期間は2年ないし3年間）で支払うのが通常である。表3中のパッケージでは，通常，電灯，白黒テレビ・ラジオの視聴，携帯電話の充電といった目的に使われ，より多くの電力量を要求するカラーテレビや扇風機（天井のファン）を利用することはできない。

3.2　導入世帯と非導入世帯

ここでは筆者らが実施した調査の単純集計結果をもとに，太陽光発電を導入した世帯としなかった世帯の特徴を比較してまとめる。まず表4からは，多くの世帯が2005年以降に導入していることが分かる。その後も毎年導入数が増加している。また表5には住民が導入したパッケージの内容を

表4　SHSの導入数（単位：世帯数）

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	計
Singair	0	1	1	14	10	36	40	102
Kishoreganj	0	0	2	0	24	30	45	101
Comilla	6	7	7	12	10	23	38	103

（出所）筆者調査

表5　SHSの契約パッケージ数（単位：世帯数）

	40Wp	50Wp	60Wp	65Wp	85Wp
Singair	16	39	3	32	9
Kishoreganj	32	53	0	13	3
Comilla	29	53	5	13	2

（注）Singairにて，30Wp，75Wp，80Wpを導入した世帯がそれぞれ1世帯ずつ，Comillaにて130Wpの導入世帯が1世帯みられた。
（出所）筆者調査

示す。100Wpを超える世帯はほとんどおらず，どの地域においても，発電能力が低いパッケージを選択していることが分かる。

では，なぜ住民はSHSを導入したのだろうか。表6にはSHSの導入理由のうち，上位4位までを示した。その結果，地域ごとに順位は異なるものの，「子供の勉強時間を延ばせるため」，「テレビを視聴したかったため」，「自宅で携帯電話を充電したかったため」が主な導入理由としてあげられていた。バングラデシュ農村部では自宅に充電器をもたない場合は市場や友人宅で携帯電話を充電している。よって，携帯電話充電による需要は，都市部から離れたComilla郡で特に高いものと思われる。

1990年代後半から導入を始めているSHSがなぜ近年急速に普及をはじめたのか，の理由としてわれわれは携帯電話に着目している。そこで，携帯電話の所有状況とSHS導入との関係を知るため，携帯電話の所有状況を尋ねた。表7には，地域別の携帯電話所有台数と，1世帯当たりの平均所持台数を示す。SHS所有世帯では，SHS導入前は多くの世帯で0台ないし1台しか携帯電話をもっていないが，SHS導入後，携帯電話を全くもっていない人がほとんどいなくなったことが分かる。平均所有台数も導入前の0.74～1.12台から，1.45～1.82台にまで増加した。その反面，SHSをもたない世帯では，携帯電話も所持していない世帯が多く，平均所有台数も1台未満にとどまる。SHS後に携帯電話の所有状況が大きく変わったことからこれが理由として重要であることが確認できた。

それでは，SHSを導入したことで住民の生活にどのようなインパクトがみられたのだろうか。表8にSHSの導入による生活環境の変化を示した。SHS導入者に複数回答でアンケートを行い，表8中に回答の多い順に4つを示した。大多数の住民が，子供の勉強時間の延び（夜遅くまで勉強でき

表6　SHSの導入理由

	1位	2位	3位	4位
Singair	子供の勉強時間を延ばせるため（27世帯）	テレビを視聴したかったため（23世帯）	自宅で携帯電話を充電したかったため（19世帯）	電灯を利用したかったため（19世帯）
Kishoreganj	子供の勉強時間を延ばせるため（41世帯）	電灯を利用したかったため（22世帯）	テレビを視聴したかったため（20世帯）	自宅で携帯電話を充電したかったため（16世帯）
Comilla	自宅で携帯電話を充電したかったため（47世帯）	子供の勉強時間を延ばせるため（35世帯）	テレビを視聴したかったため（15世帯）	夜間も仕事をできるようになるため（4世帯）

（注）回答者には複数回答で尋ねた。括弧内にはそれぞれの理由を示した世帯数を示す。
（出所）筆者調査

表7　携帯電話の所有状況（単位：世帯数）

		台数	0	1	2	3	4	5	平均台数
SHS利用世帯	導入前	Singair	26	63	9	2	2	0	0.93
		Kishoreganj	22	54	21	5	1	0	1.12
		Comilla	37	58	7	0	1	0	0.74
	現在	Singair	1	63	30	3	2	3	1.52
		Kishoreganj	8	35	37	15	5	3	1.82
		Comilla	0	69	27	3	3	1	1.45
SHS非利用世帯	現在	Singair	47	50	3	2	0	0	0.61
		Kishoreganj	56	37	7	2	1	0	0.59
		Comilla	25	70	6	2	0	0	0.86

（出所）筆者調査

るようになったこと）をあげた。先にみたように灯油ランプが電灯にとって代わることで，悪影響を防ぎ，子供の学習に正のインパクトがあることが確認できた。子供の勉強時間の延長は，SHSの主な導入理由にもあげられていたため，住民の期待に応える結果となっている。また仕事時間の延長を効果としてあげる人も半数程度みられる。

次に，SHSの導入後，実際に灯油消費量が減少したのか確認してみよう。表9にSHS利用世帯・非利用世帯別に，灯油ランプ利用世帯数と灯油利用量を示した。SHS利用世帯ではSHS導入前，ほとんどの世帯で灯油を利用していたが，現在は半数以上の世帯で利用をやめている。特にSingairでは9割以上の世帯が灯油の利用をやめている。Comillaでは8割以上の世帯が灯油を未だ利用しているが，平均消費量が8割以上減少しており，SHS導入により灯油への依存が大幅に低下したことがわかる。これに対して，SHS非利用世帯では全ての世帯で灯油を利用しており，SHS利用世帯との間に灯油利用に関して大きな違いがみられた。

バングラデシュ農村部にはまだまだ多くのSHS非利用世帯が暮らしている。今後SHSを農村部に広めていくには，SHSパッケージの価格低下が望まれる。また，すでに導入している世帯にとっても追加的な導入，大型化による実質的な価格低下によって買い替えを希望する世帯は多く，その場合のマーケット拡大ポテンシャルは大きい。それではSHSの価格が低下する場合，どの程度の追加需要が見込まれるのであろうか。ここでは，現在SHSを導入していない世帯に対し，価格が10%下がった場合，また30%下がった場合に，40～85Wpのどのパッケージを新規に購入するのか，あるいは依然として購入はしないのか，購入

表8　SHS利用による生活へのインパクト

	1位	2位	3位	4位
Singair	子供が夜遅くまで勉強できるようになった（75世帯）	子供の勉強時間が延びた（74世帯）	仕事時間を延ばすことができた（40世帯）	夜遅くまで仕事ができるようになった（37世帯）
Kishoreganj	子供の勉強時間が延びた（98世帯）	子供が夜遅くまで勉強できるようになった（81世帯）	夜遅くまで仕事ができるようになった（62世帯）	子供の学業成績が向上した（48世帯）
Comilla	子供が夜遅くまで勉強できるようになった（92世帯）	子供の勉強時間が延びた（89世帯）	夜遅くまで仕事ができるようになった（86世帯）	仕事時間を延ばすことができた（74世帯）

（出所）筆者調査

するかどうか分からないのかを尋ねた結果を示す。

表10からは，10%価格が下がった場合に61%の住民が購入意志を示すことが分かった。特に最も小さなパッケージである40Wpを選択する傾向が強い。さらに，30%価格が下がった場合には68%の住民が購入意志を示すと同時に，大きめのパッケージを購入する傾向が示された。これらの結果からは，価格が少し低下した場合でも，SHSの需要が大きく喚起される可能性があることを示している。他方で，30%以上の大幅な価格低下，即ち価格ブレークスルーが必要であることも同時に示されたと理解することもできる。

3.3　供給側の課題

太陽光発電の技術には複数の種類があり，シリコン系，化合物系，有機系に分かれる。太陽光発電の技術開発にとって重要となるのは，太陽電池の変換効率（またはスペース），劣化・耐久性（寿命），資源量と資源価格，製造コスト，などである。現在わが国で広く普及しているのはシリコン系半導体を使った太陽電池である。近年，急速なコストダウンに成功してきたものの，補助金の廃止と再開が普及に大きな影響を与えている昨今の情勢をみても，わが国においてさえも，さらなる大幅なコストダウンが必要である。

こうした状況に対していくつかの新しい技術が開発されており，長期的には大幅なコストダウンが期待されるものがある。しかし，これには開発のための資金や時間が必要となる。2004年に策定された太陽光発電ロードマップ（PV2030）および2009年の改訂版（PV2030＋）は，2050年までの政府の技術開発・普及戦略として，特に経済性の改善を主軸に据え，技術開発のあり方をシーズ先行型から市場対応型へと転換することに主眼を置いている。

わが国の一般家庭に普及している太陽電池パネルは，数KW規模である。他方，バングラデシュの農村で必要とされるパネルの発電容量は，約50分の1程度の規模であり，スペースの問題も少ない。用途に応じて求められる技術的要求水準が異なるため，わが国において変換効率や耐久性の点で開発の途上である技術であっても途上国におけ

表9　灯油利用世帯数と使用量

		SHS利用世帯		SHS非利用世帯（現在）
		導入前	現在	
灯油ランプを利用している世帯数	Singair	102	7	102
	Kishoreganj	101	57	103
	Comilla	100	82	103
灯油利用世帯の灯油使用量（リットル/月）	Singair	3.6	3.4	3.21
	Kishoreganj	4.0	0.8	3.14
	Comilla	4.2	0.8	3.73

（注）灯油使用量は，灯油を利用している人の間での平均利用量を示す。灯油は主に灯油ランプと料理で利用される。Comillaの2世帯では灯油はランプではなく料理のためだけに利用すると回答したが，その他の世帯は灯油を灯油ランプにも利用していた。
（出所）筆者調査

表10　価格低下時の購入意志（単位：世帯数）

		40Wp	50Wp	65Wp	85Wp	どれも購入しない	分からない
10%割引	Singair	67	6	1	2	12	14
	Kishoreganj	64	12	3	1	12	11
	Comilla	31	2	0	0	37	33
30%割引	Singair	49	22	3	3	12	13
	Kishoreganj	51	23	5	1	12	11
	Comilla	43	8	2	0	23	27

（出所）筆者調査

る市場では実用化の可能性はある。こうした技術を選んで，国際協力の視点から援助を行いながら，途上国に新たな市場を戦略的に開拓し，早期の普及を実現することは市場対応型の技術開発ではないか。わが国における技術開発と途上国における実用化を同時に進めるような政策が，先進国，途上国双方にウィン・ウィンの関係を作り出す。

こうした取り組みによって，無電化地域では高い限界効用が期待され，持続可能な発展に資すると同時に，他方で途上国での実用化を通して，先進国における公的な技術開発支援のための費用を節約しながら，さらなる技術開発を加速させることが可能となるのではないか。そうなれば将来的にはひるがえって先進国での技術要求水準をも満たす新しい技術が，大幅なコストダウンをともなって早期に実用化される可能性も高まるのではないかと考えている。

4. まとめ

持続可能な発展という概念は，さまざまな視点から論じられ，定義されている。そのひとつが，世代間の衡平と世代内の衡平を同時に達成するというものである。この同時達成のためにしばしば論じられるのが，資源，とりわけ再生不可能エネルギーの配分の問題である。限られた再生不可能エネルギーを現代世代の不衡平，即ち貧困の削減のために使うべきか，将来世代のために保全すべきか，という議論である。この背景には再生可能エネルギーを大規模に利用するには高いコストや技術が求められるという制約がある。その意味で，太陽光発電技術を貧困削減に利用するということは持続可能な発展にとって有益である。そして，再生可能エネルギーによって貧困の連鎖を断ち切ることによって，将来世代の世代内格差をも小さくすることが期待できる。

従来の開発援助で移転する技術は，完成された技術（proven technology），もしくは先端的ではないために高い品質を求める先進国では必要とされないが，途上国では需要が存在する適応技術（appropriate technology）が対象とされてきた。早急な対応を求められる気候変動対策を開発援助で推進するために，あえて開発中の先端技術を開発途上国に移転し，技術開発を進めるという発想が必要ではないかと思われる。また携帯電話は最貧国といえども非常に根強い需要があり，これと組み合わせることによって太陽光発電が急速に普及することが期待できる。途上国一般に，島嶼部や都市部から離れた農村部では，行政サービスが十分に得られない地域が多い。携帯電話サービスの中に，行政サービスや災害対策などの付加価値をつけていくことで，政府の貧困対策能力を飛躍的に高めることができる。

人口の多い途上国のひとつの強みは，マイクロ

な需要が多数集まることによって大きな市場が生み出され，ダイナミックな変化が起こる可能性があることである。少し荒唐無稽ではあるが，簡単な推計をしてみよう。たとえば，グラミン・シャクティは2015年までに750万台の太陽電池パネル設置することを目標としており，これは仮にパネルの価格を200ドル／wとすれば，パネルだけで約15億ドルと見積もられる。2008年時点で，世界全体で無電化人口は約14.5億人と推計されており，世帯規模を5人／世帯として約2.9億世帯となる。単純に見積もると概算で約580億ドルとなる。こうした数値は市場規模とみることもできるし，必要となる資金規模とみることもできる。

現在，太陽光発電によってバングラデシュの農村において生み出されるインパクトは主に生活環境の改善が中心である。さらに大きな市場を持続的に拡大させていくためには，太陽光発電によって所得創出効果を生み出す規模の電化を実現することが重要である。そのためには，さらなる価格低下（同じ価格で規模を拡大）が求められる。こうしたダイナミクスをうまく創り出し，上手に利用しつつ，持続可能な発展へと導くような発想と取り組みが強く求められる。

注

（注1）IEA（2006）では，電力アクセスを有する住民を「家庭で電力を利用している人であり，送電網に接続されている場合だけではなく，自家発電も含む。不正に電力を利用している場合は含まない。」と定義している。

（注2）憲法第16条「農村発展と農業振興」：政府は農業，農村電化，家内・その他工業，教育，通信，公衆衛生の改善・発展を通じて，急速に農村地域の発展と農業振興を達成するための効果的政策を実行する。これらの対策により都市と農村の生活水準の格差をなくすことを目標とする（People's Republic of Bangladesh, Constitution of the People's Republic of Bangladeshにより，筆者らが和訳したもの）。

（注3）Transparency Internationalによれば，バングラデシュのCorruption Perceptions Indexは2008年 に180ヵ 国中147位であったものが，2009年には139位へと改善した。ただし，2001～05年までの5年間は連続して世界最低。

（注4）100～110％達成で10％，115％達成で15％の給料アップ。一方，未達成の場合は減給処分が科せられる（USAID，2006）。

（注5）BPDBの販売量が多いのは，工業用など大規模需要者の割合が大きいためである。

（注6）過去の未収金を回収することがあるため，100％を超えることがある。

参考文献

ADB (Asian Development Bank) (2008), *Bangladesh: Corporatisation of the Dhaka Electric Supply Authority,* (Financed by the ADB's Technical Assistance Special Fund).

ADB (2009), *Key Indicators for Asia and the Pacific 2009* (http://www.adb.org/Documents/Books/Key_Indicators/2009/pdf/mya.pdf, accessed on April 4, 2010).

Bai, X. M., Wieczorek, A. J., Kaneko, S., Lisson, S., Contreras, A. (2009), "Enabling Sustainability Transitions in Asia: The Importance of Vertical and Horizontal Linkages," *Technological Forecasting and Social Change,* 76(2), pp. 255-266.

Bloomberg合資会社，為替レート計算(http://www.bloomberg.co.jp/tools/calculators/currency.html, accessed on March 30, 2010).

BPDB (Bangladesh Power Development Board) (2010), *Annual Report 2008-2009.*

DESCO (Dhaka Electric Supply Company Limited) (2009),

Annual Report 2008.

Grameen Shakti (2009), *Price List of Solar Home System, as of January 2009.*

Grameen Shakti (http://www.gshakti.org/, accessed on April 21, 2010).

IDCOL (Infrastructure Development Company Limited), (http://www.idcol.org/, accessed on April 21, 2010).

IEA (International Energy Agency) (2004), *World Energy Outlook 2004.*

IEA (2006), *World Energy Outlook 2006.*

IEA (2009), *WEO-2009 New Electricity Access Database* (http://www.worldenergyoutlook.org/database_electricity/electricity_access_database.htm, accessed on April 1, 2010).

IEA, *Countries beyond the OECD* (http://www.iea.org/country/index_nmc.asp, accessed on April 4, 2010).

Islam, M. R., Islam, M. R., Beg, M. R. A. (2008), "Renewable energy resources and technologies practice in Bangladesh," *Renewable & Sustainable Energy Reviews,* 12(2), pp.299-343.

Kanagawa, M. and Nakata, T. (2008), "Assessment of access to electricity and the socio-economic impacts in rural areas of developing countries," *Energy Policy,* 36(6), pp. 2016-2029.

Ministry of Industry and Commerce, Lao PDR (http://www.laotrade.org.la/content/view/28/62/, accessed on April 1, 2010).

People's Republic of Bangladesh, *Constitution of the People's Republic of Bangladesh* (http://www.pmo.gov.bd/constitution/contents.htm, accessed on April 4, 2010).

REB (Rural Electrification Board) (2007), *Annual Report REB 2006-2007.*

REB (2008), *Management Information System (MIS)* (internal report).

REB (2009), *Management Information System (MIS)* (internal report).

REB (2010), *Management Information System (MIS) Statement for the Month of January, 2010.*

Taniguchi, M. and Kaneko, S. (2009), "Operational Performance of the Bangladesh Rural Electrification Program and its Determinants with a Focus on Political Interference," *Energy Policy*, 37, pp. 2433-2439.

Transparency International, *Corruption Perceptions Index (CPI)* (http://www.transparency.org/policy_research/surveys_indices/cpi/, accessed on April 4, 2010).

USAID (United States Agency for International Development) (2006), *Integrity in Bangladesh's Rural Electrification*

World Bank (2007), *Indonesia at a Glance* (http://siteresources.worldbank.org/INTINDONESIA/Resources/226271-1155529517151/2845732-1184904482577/idn_aag2007.pdf, accessed on April 4, 2010).

World Bank, *World Development Indicators Online Database* (http://www.worldbank.org/data/onlinedatabases/onlinedatabases.html, accessed on April 1, 2010).

謝　辞

Partha Pratim Ghosh 氏（Arc Bangladesh）に本稿を作成するためにデータ収集などの協力を得た。本稿は環境省「地球環境研究総合推進費」の研究課題「アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究（H21～H25）」（研究代表者：甲斐沼美紀子），および日本証券奨学財団「経済学」における「バングラデシュにおける太陽光発電を利用した農村電化事業の評価」（研究代表者：金子慎治）の研究成果の一部である。ここに謝意を表したい。また，本稿は化学工学会第41回秋季大会（2009年 9 月16～18日，広島大学）における講演要旨を大幅に加筆・修正したものである。