

# ベトナムにおける低炭素型農村の実現可能性評価

2016年1月

泉 太郎

## 要約

### 1 背景

2015年11月末から12月にパリで開催された国連気候変動枠組み条約第21回締約国会議（COP21）において、途上国を含む全ての国が参加する温暖化防止のための新たな国際枠組みである「パリ協定」が採択された。この中で、全ての国が温室効果ガス（GHG）排出削減目標を作成し、国連へ提出、5年ごとに見直しすることが義務づけられた。途上国の農村地域は、途上国における主要なGHGの排出源であり、かつ、貧困などの開発課題を抱える地域でもある。そのため、途上国でGHGの排出削減を考える場合、生産性向上や生活改善を図りながら、GHGの排出削減を達成することが必要となる。また、途上国の農村地域は、単位あたりのGHG排出量が小さいため、排出削減事業を実施する場合、広域に小規模で分散している事業の対象に、いかに適切な排出削減技術を導入し、持続的に運用できる体制を整えるかが課題となる。

途上国での排出削減量を炭素クレジット（CER）へ収益化する京都議定書の仕組みとして、クリーン開発メカニズム（CDM）がある。CDMの目的は、途上国の持続的な発展に資すること、及び先進国の排出削減目標の達成を支援することとされている。しかし、これまで実施されたCDM事業では、低コストで大量のCER取得が可能な分野が選好されてきたこと、CDMの2つの目的を満足するプロジェクトはなく、この2つの目的の間には、トレード・オフの関係があること、などが指摘されてきた。

本研究では、ベトナムで実施した、家畜の排せつ物を原料とするバイオガス発生装置（BD）を農家に導入することにより、GHGの排出を削減するCDM事業から得られたデータを基に、ベトナムにおける低炭素型農村の実現可能性を評価した。これは、ベトナムの農村地域を対象に、CDMの2つの目的を同時に達成するための手法や条件を明らかにするためのものである。評価は、①適正技術、②技術の普及・維持管理体制、③BD導入による農家の便益、及び④BD導入による社会的便益について、それぞれ検証することにより、実施した。①と②をCDMの目的のうち排出削減、③と④を持続的な発展についての指標とした。

### 2 方法

#### (1) バイオガス CDM 事業の形成、実施及びモニタリング

ベトナムのメコンデルタに位置するカントー市において、約1,000戸の農家へBDを導入し、調理用燃料をバイオガスで代替することにより、排出削減と経費節減を図るCDM事業を形成、実施及びモニタリングした。GHG排出削減量は、バイオガスにより代替された調理用燃料の削減量に純熱量及び排出係数などを乗じることにより計算できる。また、薪の場合は、対象地域における再生可能ではない薪の割合を求める必要がある。そのため、農家における調理用燃料（薪及びLPガス）の使用量を調査し、さらに薪については、リモートセンシング解析と現地調査を通じ、再生可能ではない割合を推定した。BDの導入

にあたっては、優良農家に実務研修などを通じて BD 技術を移転、集落内の農家へ指導を行うキーファーマー（KF）として育成し、KF により BD の設置及びモニタリングを行う体制を整え、試行した。

#### (2) 農家のサンプリング調査と財務分析

農家における BD 導入による費用便益分析のため、66 戸の農家を対象に BD 導入前後における調理用燃料の変化について、サンプリング調査を実施した。また、サンプリング調査の結果得られたデータと CDM 事業の実績に基づき、純現在価値（NPV）を算定した。さらに、感度分析として、BD の耐用年数の減、費用増、初期費用への補助の有無について検討した。

#### (3) バイオガス CDM 事業の評価

CDM 事業の当初のプロジェクト設計書（PDD）に基づき、計画どおり、事業への参加農家全て（961 戸）に BD を導入し、CER を取得する場合の必要経費を算定した。CDM 事業の経済性の評価は、CER の市場単価と単位 CER あたり経費の比較により判断される。そのため、事業期間は、更新可能な場合の最長 7 年とし、事業期間内の排出削減量を算定した。事業期間内の全経費を排出削減量で除して、単位 CER あたりの経費を算定した。

また、CDM 事業のモニタリング結果を基に BD の稼働率を算定するとともに、BD 未使用の理由を特定した。さらに、BD を導入した農家を対象に、BD 導入による効果（経済面、環境面、その他）、BD の設置、維持管理を支援した KF のパフォーマンスなどを評価する目的でアンケート調査を実施した。

#### (4) バイオガス発生装置の導入による便益の検証

農家の便益を持続的なものとするため、家畜が不在となった際の対策として、ホテイアオイなどの未利用バイオマスを BD 原料とするための試験を実施するとともに、農家の受容性を確認する目的で、実証試験を行った。また、BD 消化液は栄養分を豊富に含むため、肥料として利用できれば農家はさらなる利益を得られる。これを検証するため、BD 消化液を使った作物（トウガラシ）栽培及び養魚（スネークスキングラミー）試験を行った。

さらに、BD 導入による社会的便益である GHG 排出削減を定量化する目的で、CDM で対象とした調理用燃料の削減以外の影響を検証するとともに、GHG 排出削減以外の地域環境改善効果として考えられた、BD 導入による水質の改善効果について調査を行った。

### 3 結果

#### (1) バイガス CDM 事業の形成、実施及びモニタリング結果

調査の結果、本 CDM 事業における排出削減量は、農家 1 戸あたり、 $1.46 \text{ tCO}_2 \cdot \text{year}^{-1}$  となり、これに基づき、PDD を作成し、審査機関による有効化審査を経て、2012 年 8 月に国連 CDM 理事会に登録した。KF の支援による BD の設置、維持管理は順調に行われ、2015 年 5 月までに 515 基の BD が設置された。2013 年 6 月 1 日～2014 年 5 月 31 日の 1 年間で

CDM 事業の第 1 回モニタリング期間として設定し、農家におけるバイオガスの使用状況をモニタリングした。モニタリング期間中の延べ 122,296 日のうち、バイオガスが使用された日数は 117,062 日 (95.7%) であった。この結果に基づき、GHG 排出削減量を計算し、審査機関の検証を受け、2015 年 6 月 19 日に、第 1 回目の CER として 446 tCO<sub>2</sub> が国連 CDM 理事会より発行された。

### (2) 農家のサンプリング調査と財務分析結果

サンプリング調査の結果、BD を導入した農家では、年間平均で約 95 USD の調理用燃料経費の節減が見込まれた。この結果と CDM 事業の実績に基づく、農家が BD を導入し、7 年間使用した場合の費用便益キャッシュフローから NPV を算定すると 214 USD となり、農家は BD の導入・利用から利益が得られることが明らかとなった。次に感度分析として、BD の耐用年数を減じるとともに、費用を増加させた場合の NPV を算定すると、現在の費用のままで BD の使用を 4 年以上継続すれば、NPV が黒字となった。また、費用が 10%、20% 増加した場合でも 4 年目から、30% 増加した場合は BD の使用を 5 年以上継続すれば、農家にとって利益がでた。さらに初期費用に対して補助を与えた場合の感度分析を行った。初期費用に対する補助がない場合 (Case 1)、KF の人件費・交通費の 100% を補助する場合 (Case 2)、KF の人件費・交通費の 100% 及び材料費と農家の労務費の 50% に対して補助した場合 (Case 3) で比較した。Case 1 は前述のとおり 4 年目から、Case 2 については 3 年目から、Case 3 では 2 年目から利益が得られた。今回の CDM 事業の実施にあたっては、Case 3 の補助を参加農家に与えていることから、農家は BD の導入により、早い段階から利益を得たと考えられる。

### (3) バイオガス CDM 事業の評価結果

CDM 事業において CER 取得に必要な経費は、排出削減の価値化に必要な経費、すなわち取引費用と呼ばれる基礎調査費、PDD 作成費、モニタリング経費及び国連 CDM 理事会に登録された審査機関による有効化審査及び検証に係る経費である。BD の直接的な便益は参加農家に帰属するため、ここでは CER を取得する事業者の立場から CDM 事業の経済性を検討した。本事業のため事業者が負担する直接費の補助及び取引費用を試算したところ、単位 CER あたりの費用は、39.7 USD・tCO<sub>2</sub><sup>-1</sup> となった。BD の材料費の 50% 及び BD 設置に必要な労務費は受益農家が負担するので、事業者の直接費は 105,700 USD だが、取引費用は 228,300 USD と直接費の倍以上であった。GHG の排出削減を行う先進国の民間企業が 30 USD・tCO<sub>2</sub><sup>-1</sup> の単価で CER を購入する場合、事業は 81,000 USD の赤字となった。しかし、民間企業がさらに有効化審査及び検証の経費を負担すれば、10,000 USD の黒字となった。感度分析として、CER 単価は変更せず、排出削減量を 1.46 から 2.0、2.5、3.0 tCO<sub>2</sub>・year<sup>-1</sup>/戸へ増加させ、事業費を 10、20、30% 増加させた場合の事業収支の NPV を算定した。この結果、排出削減量が 2.5 tCO<sub>2</sub>・year<sup>-1</sup>/戸以上あれば、事業費が 20% 増加しても NPV は正となった。また現状で NPV をゼロとする排出削減量は 2.02 tCO<sub>2</sub>・year<sup>-1</sup>/戸であった。さらに同じく感度分析として、CER 単価を変化 (10~50 USD・tCO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) させ、排出削減量を 2.0、2.5、3.0 tCO<sub>2</sub>・year<sup>-1</sup>/戸へ増加させた場合の事業収支の NPV を算定した。現在の排出削減量 1.46 tCO<sub>2</sub>・year<sup>-1</sup> だと CER 単価が 50 USD・tCO<sub>2</sub><sup>-1</sup> でようやく利益がでた。NPV をゼロとする

CER 単価は、 $41.5 \text{ USD} \cdot \text{tCO}_2^{-1}$ であった。

CDM 事業参加農家からの聞き取り調査結果から、ほとんどの農家が BD の導入を満足しており、燃料経費節減、薪の採集や調理に係る労働時間の短縮、健康改善及び環境改善（悪臭の軽減、水質の改善）などの効果を認識していた。一方で、BD 消化液の肥料としての効果を認識している農家は 30%と少なかった。KF のパフォーマンスに関しては、ほとんどの農家が「良い」と回答した。

#### (4) バイオガス発生装置の導入による便益の検証結果

ホテイアオイなどの未利用バイオマスの BD 原料としての利用可能性を確認する試験の結果、未利用バイオマスからも調理に十分な量、成分のバイオガスが発生し、農家における実証からもこの技術が農家に受け入れられることが確認された。BD 消化液を作物栽培と養魚に利用する試験の結果、BD 消化液は作物栽培における化学肥料、養魚における人工飼料を代替できる可能性があることが示唆された。

BD 導入による従来の調理用燃料の削減以外の GHG 排出への影響を検証したところ、家畜排せつ物の処理方法の改善（水域への排出から BD 原料へ）による削減が見込まれた。一方で、BD から余剰バイオガスが漏出し、排出削減に負の影響を及ぼすことも指摘された。これらを考慮すると BD 導入による排出削減量は、農家 1 戸あたり、 $2.95 \text{ tCO}_2 \cdot \text{year}^{-1}$ と推定された。また、BD 導入は、養魚池の水質改善に効果があることも示唆された。

## 4 考察

### (1) 適正技術

BD 導入による CDM 事業について、国連 CDM 理事会から CER が発行された。CER の獲得により、技術の妥当性、すなわち、BD 導入による排出削減は、追加的で、測定・報告・検証（MRV）可能な技術であることが証明された。農家はバイオガスの利用を継続しており、その効果に満足していることから BD は農家レベルの排出削減技術として適正であると判断できる。

### (2) 技術の普及・維持管理体制

KF の支援により、2015 年 8 月時点で、515 基の BD が農家に設置され、うち 88%に相当する 453 基が稼働している。また、CDM 事業への参加農家は、KF の役割やパフォーマンスを高く評価しており、KF によりバイオガス利用についてのモニタリングも行われ、審査機関による検証も受けていることから、KF による BD 技術の普及・維持管理は実効性があり、効果的であることが確認された。農家は BD の導入から利益を得られることから、補助なしで BD は普及する可能性が指摘される一方で、CDM 事業からは取引費用を上回る利益は発生しないことから、現状では CDM を通じた技術の普及は困難である。

### (3) 農家の便益

調理用燃料がバイオガスで代替されることにより、農家は年間平均で約 95 USD の調理

用燃料経費の節減が見込まれ、BD の利用を 4 年以上継続すれば、仮にコストが 20%増加した場合でも NPV は黒字となる。BD 導入からの利益を確実にするためには、BD の耐用年数を増加させる必要があり、そのためには KF による技術支援が有効である。また、家畜の頭数が減少した際に未利用バイオマスを BD の補完的な原料として利用することで、BD の利用を持続的に行える可能性がある。さらに、BD 消化液を利用した作物栽培や養魚からも農家は利益を期待できるなど、BD 導入による農家の便益が示された。

#### (4) 社会的便益

GHG 排出削減については、CDM 事業の対象とした従来の調理用燃料の削減以外に、家畜排せつ物の処理方法の改善からも GHG の削減が見込まれる一方で、BD からのバイオガスの物理的な漏出も指摘された。これらを考慮した BD 一基あたりの排出削減量は、 $2.95 \text{ tCO}_2 \cdot \text{year}^{-1}$  と推定された。この削減量であれば、CDM 事業から利益を得ることも期待できたが、2013 年以降の京都議定書の第二約束期間において、CER 需要が低下し、取引価格が低迷していることから、試算で用いた  $30 \text{ USD} \cdot \text{tCO}_2^{-1}$  の単価で CER が購入される可能性は低く、本 CDM 事業は経済的に成り立たないことが明らかとなった。

また、その他に農家は BD 導入による水質の改善効果や悪臭の軽減などの地域環境改善効果を認識しており、調査の結果からも水質改善効果が示された。しかし、現状では、これら BD 導入による社会的便益である環境改善効果を経済価値化する手段はない。

## 5 結論及び提言

### (1) 結論

本研究により、①BD は GHG の排出削減が確実な技術であること、②KF による技術の普及は可能かつ効果的であること、③BD 導入から農家は利益を得られること、及び④BD の導入により GHG 排出削減をはじめとする環境改善効果が見込めるものの、その外部性を経済価値化することは困難であること、が明らかとなった。これにより、外部性の価値化を除き、BD の導入による CDM 事業は、排出削減及び持続的発展に貢献できるものであること、すなわち、ベトナムにおける低炭素型農村は実現可能であることが証明された。

本研究は、ベトナムにおいて実際の CDM 事業から得られた成果を基に、適正技術、技術の普及・維持管理体制、農家の便益及び社会的便益について論じ、低炭素型農村の実現可能性を評価したものである。BD 導入による排出削減事業の形成、実施及びモニタリングの過程で明らかにされた BD 導入方法や排出削減量の評価手法などは、今後、ベトナム政府が「パリ協定」において義務化された排出削減目標を作成、具体化する際に活用されることが期待される。また、本研究の成果は、今後、ベトナムと似た条件（営農、気候、調理用燃料など）の途上国が GHG 排出削減に取り組むためのひとつの政策の方向性を示すものである。

### (2) 提言

排出削減などの外部性の経済価値化は、CER 取引価格の低迷などから、現状では困難で

ある。そのため、農家は **BD** 導入から利益を得られるものの、過大な社会的費用を負担している可能性が指摘される。これを解消する目的で、ベトナム政府が **GHG** 排出削減などの環境改善効果を適切に評価し、補助を与えること、あるいは **GHG** を排出している企業が企業の社会的責任 (**CSR**) の一環として、**CER** を高値で購入することにより、**BD** 導入による外部効果を価値化することが考えられる。例えば、**BD** 導入による利益を確実にするためには、**BD** の耐用年数を増加させることが必要なため、**KF** の関与は重要となる。この観点から、ベトナム政府が **KF** を普及員の補助的な人材として位置付け、**BD** 導入時の技術的な支援に対する経費を補助する制度を導入することは効果が期待できる。

本研究では、**BD** の導入による **GHG** 排出削減効果について評価し、調理用燃料をバイオガスで代替することによる排出削減について定量化するとともに、家畜排せつ物の処理方法の改善による排出削減量及び **BD** からのバイオガスの物理的な漏出量についても評価した。しかし、バイオガスによる調理用燃料の代替を除く **GHG** 排出への影響は、文献からのデータを用いた試算や簡易な測定結果に基づいたものである。そのため、**BD** 導入による排出削減効果をより精緻化するためには、**LCA** (**Life Cycle Assessment**) を用いた評価が必要である。

本研究で示されたとおり、**BD** 消化液は作物栽培における化学肥料、あるいは養魚における人工飼料を代替できる可能性がある。しかし、現状ではその利用は進んでいない。そのため、消化液は水域へ排出されており、水質への悪影響が考えられるほか、栄養分の循環利用の観点からも損失となっている。これは、土地の制約により養魚池や果樹園・菜園を保有していない農家もいるといった理由のほか、消化液を利用するためには運搬や散布のための労働力や時間が必要になることが原因と考えられる。そのため、消化液の運搬などを省力化できるシステムの検討が必要となる。例えば、既に一部の農家で実践されている家畜飼養、養魚、果樹・野菜栽培、**BD** を組み合わせた営農システムの検証と普及も今後の課題である。