

# 再生可能エネルギー発電所の立地リスク に関する地理情報システム分析の応用

羽尾一樹

博士（総合学術）

再生可能エネルギー発電所の立地リスク  
に関する地理情報システム分析の応用  
(Application of Geographic Information System Analysis to  
Location Risks of Renewable Energy Power Plants)

羽尾一樹

京都大学大学院 総合生存学館

2022年 3月

## 要旨

本論文では、急激な拡大が進む再生可能エネルギーについて、特に日本の太陽光発電所の立地が持つリスクを地理情報システム（GIS）によって分析する手法を考案した。また、その結果を開発途上国での再生可能エネルギー導入に向けて応用する検討を行った。

第1章では、本論文の問題意識と本研究が総合生存学との繋がりにおいて持つ意義を概説した。本研究は、大枠では気候変動という今日人類が直面している課題に付随する再生可能エネルギー導入の問題に焦点を当てた。具体的には、日本における太陽光発電所が立地するエリアの災害リスクについて、研究の背景と先行研究をまとめ、GISの手法を用いて分析した。さらに、それらの分析について、どのような対策がとりうるか提起し、また、開発途上国への応用について検討を行った。総合生存学は、人類が将来にわたって生存するための方策を、学問分野の枠を超えて研究し、実践することを通して模索する学問である。本研究はそのような総合生存学の一つの実践として意義を持つものと言える。

第2章では、気候変動問題の解決に向けて、再生可能エネルギー導入の拡大が進んでいる点を既存のデータや研究から説明する。2015年に行われた第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）でパリ協定が合意されて以降、その傾向は顕著である。実際、各国政府は脱炭素を実現する目標年限を決め、それを達成する方策の一つとして再生可能エネルギー導入の大幅増加を目指すようになった。また、先進国と開発途上国では導入の進展に違いがあることを例示している。例として、日本とベトナムの再生可能エネルギー導入の状況を論じた。

第3章では、再生可能エネルギー発電所の立地リスクについて先行研究を整理し、本論文の貢献の位置付けを行った。急激な再生可能エネルギーの拡大がもたらす影響については、経済性や出力変動の問題は多く議論されてきた。また、社会的受容性の観点から再生可能エネルギー導入に関する研究も行われている。しかし、再生可能エネルギーの立地点が持つリスクの観点からは、日本では近年自然災害への注目は高まってきているものの、定量的な分析はまだ少ない。そうした状況で、本論文では、太陽光発電所を中心とする再生可能エネルギーの立地には自然災害のリスクがないのかという点を課題として、GIS分析の応用を行い明らかにしている点で貢献を行なっている。

第4章では、前章で示した研究課題に基づいて、日本の太陽光発電所の立地とその災害リスクを分析した。日本は災害が多く発生する国である。一方で、固定価格買取制度が導入され、再生可能エネルギーが推進されるようになり、太陽光発電所の数が大きく増えている。災害リスクと太陽光発電所の相関を明らかにすることは急務となっている。そこで、太陽光発電所の立地と土砂災害及び洪水・浸水の危険が高いエリアが重なる部分をGIS解析によっ

て累計した。また、それらの地点について、地点ごとの日射量の情報などを組み込んで年間の発電量を推定することで、想定しうる損失を算出した。加えて、具体的な事例として、令和元年の台風の事例をもとに、本分析手法に基づいて実際の浸水域のデータから太陽光発電への影響を試算した。

第5章では、前章の分析に基づいて、どのように太陽光発電所の立地に関するリスクを緩和できるか考察した。再生可能エネルギーが全電源中で果たす役割が大きくなるにつれて、そこに生じるリスクの持つ潜在的な社会的コストが高まっていく。しかし、国際的な議論は気候変動に対処するため、再生可能エネルギー導入を急ぐ方向に進んでいる。こうした状況で大量に再生可能エネルギーを導入し続けるためには、そのリスクを軽減する保険などの補償構造が必要となると論じた。また、将来的に開発途上国に应用することを検討するため、ベトナムを例に、再生可能エネルギー導入と災害リスクの現状を論じ、それらを分析するために必要な点を整理した。地球規模で見れば、経済成長が著しい開発途上国での脱炭素化は気候変動問題解決に欠かせない。近年の国際協調枠組みに則って、今後開発途上国でも再生可能エネルギーの導入が拡大する見込みである。その際には当然、災害などのリスクを回避した導入政策が求められる。

第6章では、本論文の議論をまとめ、今後の研究課題を述べた。本論文は、太陽光発電所の立地点に関する地理情報データに基づいて、それらの立地点と土砂災害及び洪水を対象とする災害リスクとの地理的な比較分析をおこなった。その結果、先行研究では示されていない日本全国を対象とした太陽光発電所自体の持つ脆弱性について初めて知見が得られた。また、太陽光発電所の年間発電量の推計により災害が起こった場合の損失を推定し、復旧までの期間を短くすることで太陽光による発電量の低減を防ぎうることを示唆した。こうしたリスクの分析に基づいて、国土の限られた中で太陽光発電所の増設に必要な投資を促進するために、ある程度災害発生リスクの存在するエリアに建設する発電事業者のリスクを軽減する保険を推奨する仕組みが必要と提言した。加えて、開発途上国への応用に向けた論点整理した。その上で、今後の研究では、災害リスクをより多面的に捉えて分析を行うこと、および、太陽光発電以外の再生可能エネルギーへの応用を実装すること、さらには、開発途上国でのデータ整備を含む精緻化を行うことであると述べた。

## 目次

要旨 .....	2
目次 .....	4
図表 .....	6
1. はじめに .....	8
1.1 問題意識 .....	8
1.2 研究の目的と手法 .....	9
1.3 総合生存学の一つの実践として .....	10
1.4 研究の構成 .....	11
2. 気候変動と世界での再生可能エネルギー導入の拡大 .....	13
2.1 21世紀の人類課題としての気候変動 .....	13
2.2 気候変動対策と再生可能エネルギー導入の拡大 .....	15
2.3 日本での事例 .....	21
2.4 ベトナムでの事例 .....	22
3. 再生可能エネルギーの立地分析に関する先行研究 .....	31
3.1 気候変動による災害の増加 .....	31
3.2 再生可能エネルギーの立地 .....	33
3.3 再生可能エネルギーと災害リスクの分析 .....	34
4. 日本の太陽光発電所立地と災害リスク .....	37
4.1 データと手法 .....	37
4.2 結果 .....	42
4.3 考察：各地点の推定発電量の算出 .....	46
4.4 考察：令和元年台風19号の事例 .....	51
4.5 まとめ .....	53
5. 再生可能エネルギーのGIS分析手法の応用に向けた議論 .....	55

5.1	日本の再生可能エネルギーの災害リスク低減 .....	55
5.2	データに基づく保険システムの構築 .....	56
5.3	開発途上国での応用に向けて：ベトナムの例から .....	56
6.	おわりに：結論と今後の展望 .....	63
6.1	結論 .....	63
6.2	研究の課題 .....	63
	謝辞 .....	65
	参考文献 .....	66
	付録 .....	74

## 図表

図 2.1 産業革命以降の地表気温の変化とその要因 .....	14
図 2.2 人為由来の種類別温室効果ガスの変移 .....	14
図 2.3 日本における一人当たりの部門別温室効果ガス排出量（2016年） .....	16
図 2.4 世界の再生可能エネルギー発電の増加量 .....	17
図 2.5 地域別及び種類別の電気自動車数 .....	18
図 2.6 ドイツにおける資源別の発電量の変化 .....	19
図 2.7 日本における資源別の発電量の変化 .....	19
図 2.8 中国における資源別の発電量の変化 .....	20
図 2.9 ベトナムにおける資源別の発電量の変化 .....	20
図 2.10 2012年から2020年の日本の固定価格買取制度の下での太陽光発電と風力発電.....	21
図 2.11 日本のエネルギーミックスの目標（エネルギー基本計画） .....	22
図 2.12 東南アジアにおけるベトナムの位置 .....	23
図 2.13 ベトナムの発電設備容量 .....	24
図 2.14 石炭消費量・輸出入量の推移 .....	25
図 2.15 ベトナムの2020年までの電力需給見通し .....	25
図 2.16 再生可能エネルギー発電容量比率 .....	26
図 3.1 先進国、新興国、開発途上国における災害の数、被害者数、被害額の割合 .....	32
図 4.1 太陽光発電所の場所のデータ .....	38
図 4.2 土砂災害警戒区域のデータ .....	40
図 4.3 洪水浸水想定区域のデータ .....	41
図 4.4 太陽光発電エリアと災害が発生しやすい地域が重なっている例 .....	42
図 4.5 使用した関数の基本構造 .....	42
図 4.6 土砂災害警戒区域と重なる地点 .....	47
図 4.7 洪水浸水想定区域と重なる地点 .....	47

図 4.8 NEDO 日射量データとその補間 .....	48
図 4.9 2020 年度の太陽光による発電実績に対する割合（土砂災害警戒区域と重なる地点）	50
図 4.10 2020 年度の太陽光による発電実績に対する割合（洪水浸水想定区域と重なる地点） .....	50
図 4.11 令和元年台風 19 号による降水量.....	51
図 4.12 阿武隈川と吉田川の浸水推定図の例 .....	52
図 5.1 ベトナムの森林域にある送配電網と風速 .....	57
図 5.2 ベトナムの発電所の洪水リスク .....	58
図 5.3 GCM データ（過去実験）を用いた過去の最大降水量推計 .....	59
図 5.4 GCM データ（過去実験）を用いた過去の最大降水量推計 .....	59
図 5.5 GCM データ（将来 4 度昇温実験）を用いた将来の平均降水量推計.....	60
図 5.6 GCM データ（将来 4 度昇温実験）を用いた将来の最大降水量推計.....	61
表 2.1 ベトナムにおける再生可能エネルギーの賦存量 .....	27
表 4.1 2018 年に日本で起こった自然災害が原因の太陽光発電所での事故 .....	35
表 4.2 地すべりの危険性が高い地域と重複する太陽光発電所の場所の数 .....	43
表 4.3 洪水および浸水リスクの高い地域と重複する太陽光発電所の場所の数 .....	44
表 4.4 地すべりの危険性の高い地域と洪水および浸水の危険性の高い地域の両方と重複する 太陽光発電所の場所の数 .....	45



## 1. はじめに

### 1.1 問題意識

2015年12月にフランス・パリで行われた気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）で、気候変動問題について国際的な議論が行われた（United Nations, 2015）。その中で論点となったのは、大きく分けて2点ある。第1は、温室効果ガスを削減していくことで、産業革命前からの温度上昇を2度に抑えるだけでなく、1.5度上昇の目標を置き、それに向けて5年ごとの検証を行っていくというものである。第2は、先進国が途上国の気候変動対策費用として2020年まで年間1000億ドルを支援するというものである。2021年にイギリス・グラスゴーで行われたCOP26では、この2点目に関して、今後5年間のさらなる支援拡大が議論され、会議では先進国と途上国のせめぎあいが続いた。途上国にとって、気候変動対策をするということが発展へのコストとなるため、先進国からのさらなる支援が必要だという主張がなされた。

経済成長と環境保全が両立しうるかは、長く議論されてきた。20世紀後半に公害や環境破壊が問題となると、この点について、専門的な研究が行われ始めた。また、1992年のリオ地球サミット等で地球温暖化などの気候変動問題が取り上げられ、持続可能な発展の概念が敷衍すると、開発と環境の議論は世界的に行われるようになった。しかし、ここで振り返ってみると、これらの問題は途上国においても同様に重要であると考えられるにもかかわらず、議論はある程度経済成長が進展した国によって行われるのが主である。発展の初期段階の国では、環境が経済政策の中心命題として扱われることは限られてきた。なぜなら、地球規模での環境問題を考える前に、豊かに暮らすための経済水準の達成が必要だと考えられているからだ。しかしながら、近年、新興国が急激な経済成長を達成し、それらの国による地球環境への負荷が甚大であることを見れば、これらの国々が今後も引き続き、これまで先進国が発展したような経路で経済成長を行うと、地球規模での環境破壊的な種々の問題を生ずるということは避けて通れない。具体的には、気候変動への影響にとどまらず、国内的および越境的な大気汚染などの問題、さらには地域格差や自然災害の発生といった問題まで、多岐にわたる。さらに別の観点から言えば、地球規模で見れば地球環境への影響は微細であると考えられている途上国の中にも、気候変動に対して脆弱性を持つ国々が多くある。例えば太平洋の島嶼国は、気候変動に付随すると考えられる海水面の上下に影響されることから、この顕著な例であろう。これらを念頭におくならば、途上国においても、発展の初期段階から環境保全的な発展計画を立てられる必要がある。

これらの環境的・社会的に持続可能な発展を議論する文脈において、近年、先進諸国で、実践の伴う議論が遂行されてきたのが再生可能エネルギーの分野である。固定価格買取法

(FIT)などの制度が拡張され、持続可能な発展に重要な役割を担うようになってきた。再生可能エネルギーは、持続可能なエネルギーと同義ではない。再生可能エネルギーの導入は環境面での持続可能性に貢献する部分はあるだろう。しかし、それだけでは社会面での貢献は少ないと言える。その運用方法を改良することで社会的な問題の解決にも貢献することができる、という議論が活発に行われている。

しかしながら、今後気候変動が進展するにつれて、自然災害のリスクも高まることになる。そうした際に、再生可能エネルギーを基盤とする電力構成に移行する場合には、それらのインフラが直面する災害リスクに関する研究がなされることは重要になってくる。これまでは、再生可能エネルギーを基盤とする電力構成はレジリエンスを高めるという点に焦点を当てた研究が多くなされているが、災害が再生可能エネルギーの設備そのものに与えるリスクに関する研究が必要となる。また、開発途上国においても再生可能エネルギーの導入が徐々に進むことが予想されるが、その際には先進国における場合以上に災害リスクの観点を考慮した電力開発が必要となる。

こうした問題意識の元、本論文では、再生可能エネルギーの導入について、災害リスクという側面から地理情報システム（GIS）技術を用いて分析する。また、それを開発途上国に将来的に応用することを検討するために、ベトナムを例に検討する。

## 1.2 研究の目的と手法

再生可能エネルギーの拡大がもたらす影響について、その立地が持つリスクの観点からは定量的な分析はまだ少ない。そこで本論文では、日本全国を対象とした太陽光発電所自体の持つ脆弱性を明らかにすることを目的として、太陽光発電所の立地点に関する地理情報データに基づいて、それらの立地点と土砂災害及び洪水を対象とする災害リスクとの地理的な比較分析をおこなう。また、太陽光発電所の年間発電量の推計により災害が起こった場合の損失を推定する。日本を対象にして分析を行う理由は、再生可能エネルギーの導入が進む先進諸国の中でもとりわけ日本は災害のリスクが大きいからである。また、太陽光発電所を対象としているのは、太陽光発電所の持つ分散型の特質から、日本全国の様々な地点に立地しており、災害への脆弱性を有するからである。日本では、太陽光発電の割合を増加させようとすると、限られた国土面積という制約から、どうしても災害リスクのあるエリアへの導入が行われることになる。

また、この成果をもとに、今後再生可能エネルギーの大幅な導入が見込まれる開発途上国でも、導入プロセスでの災害リスクの検討は再生可能エネルギーが安全に導入されるために不可欠になる。そこで、再生可能エネルギーの立地点がもつ自然災害のリスクの分析を開発途上国、特にベトナムへの応用することについて検討することも目的とする。

この点について特にベトナムを対象にして分析を行う理由は、まずベトナムが風水害を中心とする自然災害の多い国だからである。ベトナムは南北に長く、その東側は海に面している。そのため、夏季には多くの台風が上陸し、被害をもたらす。加えて、ベトナムは近年の経済成長に伴って電力需要を増加させているからである。近年の電力需要の増加は石炭火力で賄ってきたが、国際的な脱炭素に向けた潮流の中で、政府は再生可能エネルギーを推進する政策へと舵を切っている。今後もこの方向性が続くとすれば、ベトナム国内ではさらに太陽光発電所をはじめとする再生可能エネルギー設備が導入されていくことになる。そうした際に、災害リスクが考えられているかどうかは、その設備が導入される近隣の住民や社会に大きな影響を与えることになる。

これらの目的を達成するために、本論文ではまず先行研究のレビューを行う。再生可能エネルギーの立地に関する研究は多くなされている。それらをまとめた上で、これまであまり定量的に分析されてこなかった再生可能エネルギーの立地に関する災害リスクについて、特に災害が多く発生して社会的にも注目度が高まっている日本の文献を中心にレビューする。次に、日本の太陽光発電所の立地を対象にして、地理情報システム（GIS）分析を行う。日本の太陽光発電所が立地する地点の位置情報データと土砂災害と洪水のリスクが存在するエリアの位置情報データを用いる。それらのデータを使って GIS でオーバーレイ分析を行い、どれくらいの割合の太陽光発電所の立地点がリスクを有しているか明らかにする。また、それらの地点について、地点ごとの日射量の情報などを組み込んで年間の発電量を推定し、想定しうる損失を算出することを行う。加えて、具体的な事例分析として、令和元年の東日本台風の事例をもとに、本分析手法に基づいて実際の浸水域のデータから太陽光発電への影響を試算する。最後に、開発途上国、特にベトナムで同様の分析を行うことを想定し、必要な論点を整理する。

### 1.3 総合生存学の一つの実践として

『総合生存学』（川井 ほか、2015）の序論には、「総合生存学は、地球や生物の歴史、人類史や文明史に学び、教訓を得て、人類と地球社会が生き延びる方策を模索する学術である」と書かれている。すなわち、複合的かつ国際的な問題を一つの学問分野に依ることなく克服するための思想や方策を研究する学問のことを総合生存学と呼んでいる。その模索は、「実践」を通して行われている。その体系として、その学問の構成要素が3つの階層に構造化されることをあげている。すなわち、上から、「生存知」の概念に関わるもの、方法論に関わるもの、そして社会実装などの実践論に関わるものである。また、その方法として、課題分析・抽出に基づいて研究し、その定式化・構造化をへて社会実装へと繋げることが示されている。その実践という目的については、前出書の続編である『実践する総合生存学』

(池田・京都大学総合生存学研究会、2021)において、各個人の実践の過程がプロセスとして描かれている。

本研究は、人類の生存に関わる気候変動と言う大きな問題を切り口に、脱炭素社会を目指すにあたって再生可能エネルギーがいかに導入されるのかについて、災害リスクの観点に着目しながら論じる。さらに、日本でのデータ分析を途上国、特にベトナムに応用するにはどうすればよいかという点についても検討を行っている。再生可能エネルギーを途上国で導入することは世界全体の持続可能な発展という課題に直結する。また、気候変動という国際問題の解決に資すると同時に、災害リスクへの脆弱性の低減という人間の生活そのものに貢献する。そのことは、しいては、社会のいわば「生存可能性」を高めることに繋がると考える。

さらに、本研究の手法は、地理情報システム (GIS) 分析を応用したものとなっている。社会的な課題に学問の枠を超えて分析するという学際的なアプローチは、実践を志向する総合生存学への一つの貢献として意義があると考えられる。それ以外にも、補論としてベトナムでのミクロレベルの調査をおこなっており、そこでは実際にコミュニティでどのようなエネルギー転換の実践が行われているかに関してフィールドワークの手法も用いて分析しており、複数分野の学問体系の知を結びつけている。

また、著者は、本大学院カリキュラムとして組み込まれている海外武者修行及びプロジェクトベースドリサーチ (PBR) では本研究に関連する分野で実践の活動を行った。具体的には、海外武者修行として、2017年4月から半年間、国際エネルギー機関 (IEA) でインターンシップを行った。そこでは、IEAに関係する協力国とのリエゾンのほか、**South East Asia Energy Outlook 2017**の報告書の執筆に貢献した。また、2017年10月から半年間、経済協力開発機構 (OECD) の開発センターに勤務し、タイの **Multi-dimensional Country Reviews** のレポートの環境分野について貢献した。PBRでは、2018年4月から9ヶ月間、ベトナム国家大学ハノイ校の土地分析 (FIMO) センターに滞在し、北部のハノイ市とタイビン省の農村域の稲藁残渣の推定を行った。また、南部のカントー省でのバイオガスをコミュニティで共有するプロジェクトにも参加して活動を行った。

これらを踏まえれば、人類課題である気候変動に対処するための方策を研究するという根源的な目的の達成に向けて、学問分野の枠を超えて、実践を伴いながら行われた本研究は、総合生存学に関連しており、そこに一定の貢献をするものと言える。

#### 1.4 研究の構成

本論文の構成は以下の通りである。まず、次の第2章では、気候変動という人類課題に関する議論を辿る。また、気候変動を抑制するための方策として世界の多くの国々で導入が進む再生可能エネルギーについて概観する。第3章では、再生可能エネルギーの立地点のリスク

分析に関する先行研究を行う。再生可能エネルギーをベースとした電源構造は災害時にも有効であることが研究されている一方で、再生可能エネルギーの立地と災害リスクについてはこれまで多く研究されて来なかったことを述べる。次に、第4章では、日本の太陽光発電所の立地点がもつ災害リスクについて、土砂災害や洪水を対象として分析する。地理情報システム（GIS）を用いて、日本の太陽光発電所が公的に定められた土砂災害警戒区域や洪水浸水想定区域の各エリアと重なっている箇所を計測し、それらの地点における発電量を推計する。また、実際の災害による浸水域のデータを用いて分析を行う。第5章では、再生可能エネルギー立地点の災害リスクに関する分析の応用について論じる。まず、日本での再生可能エネルギーの災害リスクを低減させるために、データ基盤や保険システムの構築が重要であることを説く。さらに、そうした再生可能エネルギーの災害リスク低減に関する議論を、今後再生可能エネルギーが大幅に導入されると予想される開発途上国に应用するために、ベトナムでの分析を行う際の事例を検討する。最後に、第6章では、本論文の結論を述べ、今後の展望を述べる。

## 2. 気候変動と世界での再生可能エネルギー導入の拡大

本章では、気候変動という現在人類が直面している課題について議論を辿り、それに対処するための有望な方策とみられている再生可能エネルギーの導入に関する現状を説明する。

### 2.1 21世紀の人類課題としての気候変動

長期的に見れば、地球の気候は大きく変遷してきた。例えば先カンブリア紀には全球凍結の期間が数回あったと推測されている（Kirschvink ほか、2000）。地球環境は地質学的あるいは生物学的要因によって寒冷な氷期と温暖な間氷期変遷してきた。より短期的には、1万年ほど前に終わった最終氷期に関する研究がグリーンランドの氷河の分析する手法を用いて行われている（Meese ほか、1997；Svensson、2005）。その後、世界各地で文明が興り、有史時代が現在まで続いている。

今日地球環境に関する議論の中心的テーマとなっているのは、人類の活動によって引き起こされる温室効果ガスを原因とする気候変動である。前章で述べた通り、2015年にパリで行われた COP21 での議論以降、その流れはますます強まっている。1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで行われた「環境と開発に関する国際連合会議」において採択された気候変動に関する国際連合枠組条約は 197 の国と組織が締結している（執筆現在、UNFCCC のウェブサイトによる）。つまり、その条約の締約国会議（COP）は、世界中のほとんど全ての国が参加する環境問題を扱う会議体であるといえる。その議論の趨勢は、1997年に採択された京都議定書の時代を経て、2015年のパリ協定の締結によって新しい段階に入った。

パリ協定は、世界の平均気温を、産業革命前の水準と比べて2度以上低く保ち、1.5度以下に抑える努力をすることが目標として掲げられている（United Nations, 2015）。そのために、できる限り早く温室効果ガスの排出量を低減させ始め、今世紀後半には温室効果ガスの排出と、植林などによる温室効果ガスの吸収の合計をゼロにすることが目指されている。温室効果ガスの排出と吸収の合計をゼロ以下にすることが脱炭素（カーボンニュートラル）である。つまり、今世紀後半までに脱炭素を実現することが謳われた。

その後、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、1.5度目標に関する特別報告書を公表し、1.5度に気温上昇を抑えるためには更なる排出量削減の努力が必要であると指摘した。さらに、IPCCの自然科学的根拠を対象とした分析を行う第1作業部会（WG1）が公表した最新の評価報告書では、現在進んでいる地球温暖化は人間の活動によるものと断定されている（IPCC、2021）。産業革命以降の化石燃料を使った経済活動によって二酸化炭素が多く排出されていることが原因となっている。図 2.1 が示す通り、1850年以降の気温上昇はそれまでの2000年と比べて著しい。また、図 2.1 内右側に示されたシミュレーションでは、人間活動の影響を除いた場合には1850年以降も気温上昇が見られなかった一方で、人間活動

の影響も考慮すると実際に観察された気温上昇幅に近くなっていることから、人間の活動が原因となり気温が上昇していることがわかる。

### Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

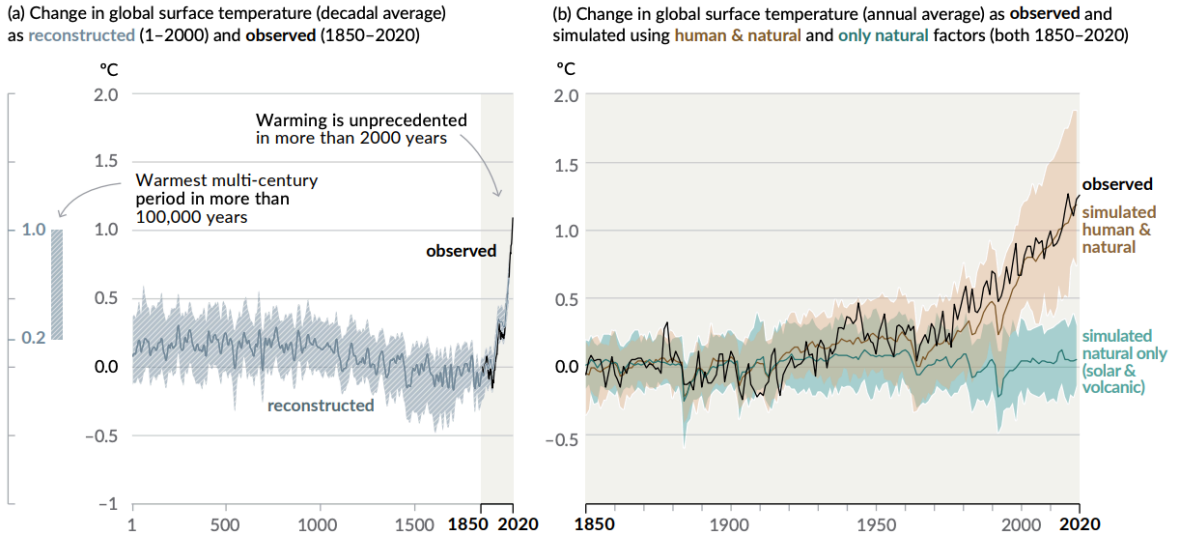


図 2.1 産業革命以降の地表気温の変化とその要因  
(出典：IPCC, 2021)

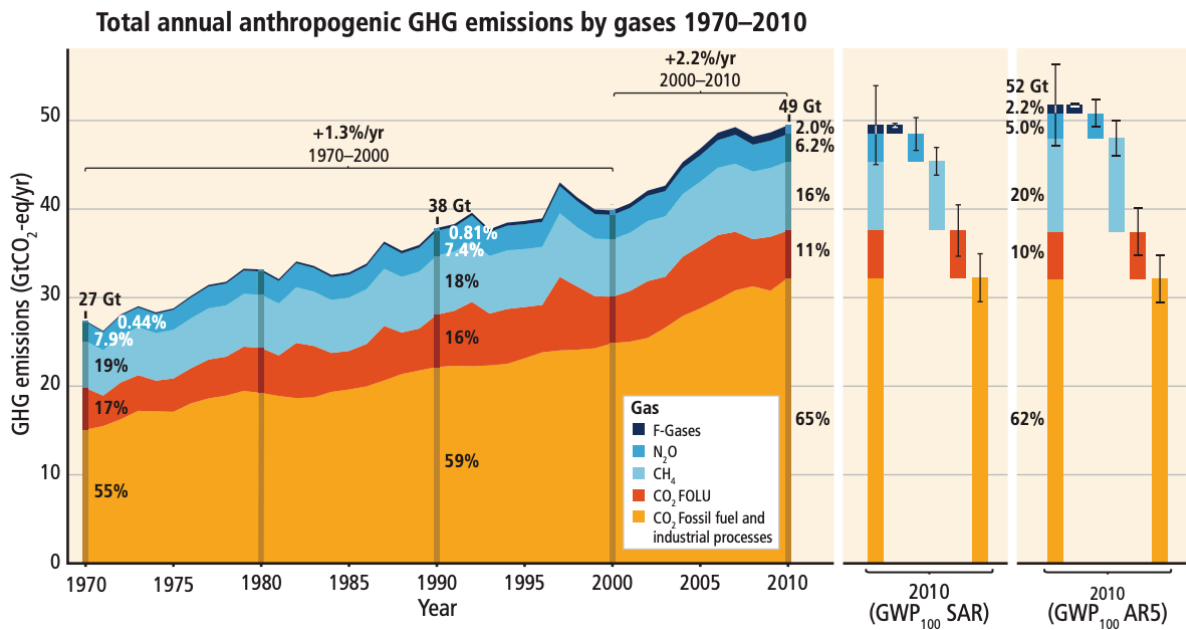


図 2.2 人為由来の種類別温室効果ガスの変移  
(出典：IPCC, 2014)

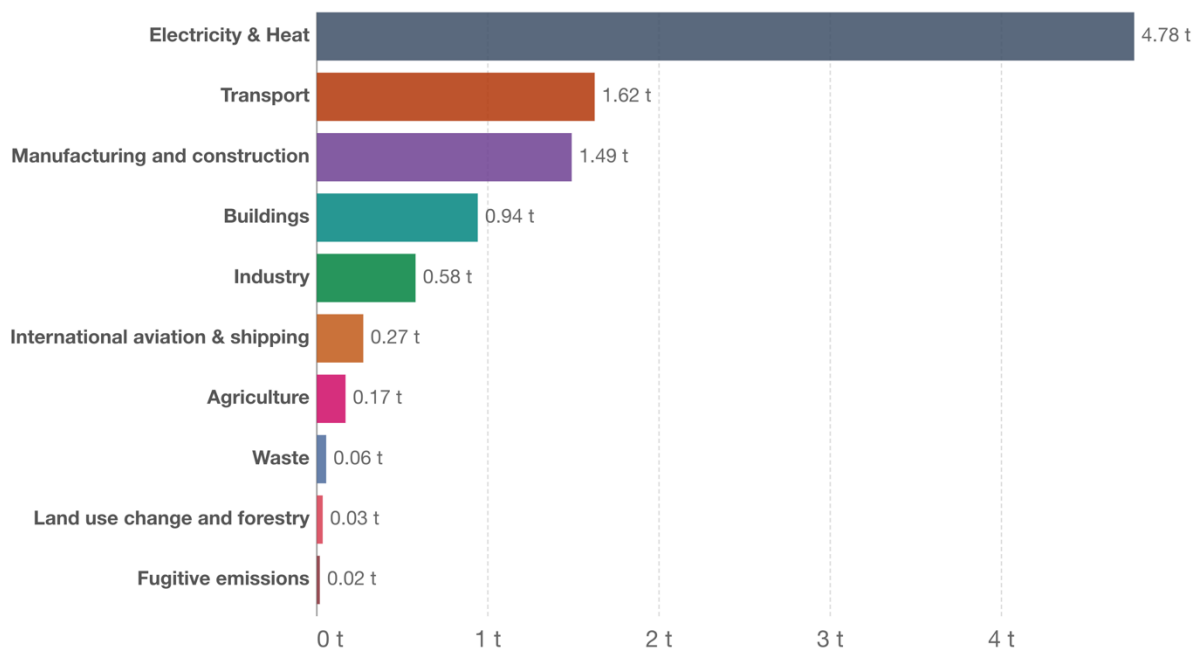
温室効果ガスは、熱量を大気中に留める温室効果を有する気体の総称で、メタンなどを含む呼称だが、その中でも二酸化炭素がもっとも大きい割合を占めている。図 2.2 では、二酸化炭素は 2010 年の温室効果ガス排出量の中で、76%を占めている。二酸化炭素排出量のうち、11%は、森林の減少やその他の土地利用の変化に起因する排出量のことである。また、メタンの排出量は 16%を占めている。そのほかに、一酸化窒素やフロン類が挙げられている。

今日の人類が直面している気候変動問題とは、人類の活動が原因である温室効果ガスの排出をいかに抑えるか、あるいは、いかにして削減していくかという点が課題となっているのである。もちろん、冒頭見たように、人類の活動によらない、地質学的な次元の時間単位での環境変化にいかに対応するのかという点も、確かに根本から人類の生存を考えるなら対処すべき課題となる。しかし、まずは直近で発生し直面している課題に取り組み、乗り越えることが重要である。

## 2.2 気候変動対策と再生可能エネルギー導入の拡大

前節では、人類の活動に由来する温室効果ガスをいかに抑えていくかがまず対処すべき気候変動問題であると述べた。その温室効果ガスの排出量について、部門別では、電力や熱を生成する際に発生するものが大きな部分を占めている。2019 年には、電力と熱の生成による CO<sub>2</sub> 排出量は 14.0Gt で最も多かった。それ以外は、運輸由来が 8.2Gt、産業由来が 6.3Gt、建築由来が 2.8Gt、その他は 0.6Gt であった。これは、電力や熱が他の部門でも使用されるものだからである。電力と熱に由来する CO<sub>2</sub> の排出量を、それらが使用される部門に組み替えて見ると、その数値は、産業由来が 12.3Gt と最も多くなり、建築由来、運輸由来がそれぞれ 8.7Gt、8.5Gt となる (IEA, 2021b)。図 2.3 は日本における一人当たりの 2016 年の部門別温室効果ガス排出量である。やはり、電力と熱が一番多く、運輸部門と製造・建設部門が続いている。





Source: CAIT Climate Data Explorer via. Climate Watch

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

図 2.3 日本における一人当たりの部門別温室効果ガス排出量（2016 年）  
（出典：Ritchie and Roser, 2020a）

そうした背景から、気候変動対策の文脈では、発電の際の排出量を抑えることに力点が置かれている。脱炭素の実現に向けた有効な手段の一つは、発電に化石燃料ではなく再生可能エネルギーを用いることである。再生可能エネルギーは、石炭や石油、天然ガスなどの採掘に限りのある化石燃料資源ではなく、太陽光や風力、バイオマスなどの非化石燃料資源を用いて無制限に利用できるエネルギーである。原子力発電については、世界では例えばフランスのように主要な電源として導入し、それが脱炭素の実現のための方策として活用されている。IAEA のレポートによると、2019 年時点で、フランスの発電量の 70.6% が原子力に由来する。一方で、日本では 2011 年の東日本大震災以降、住民の原子力発電所導入への反発がさらに強くなった（岩井・宍戸、2013）。つまり、原子力発電を単に脱炭素電源であるとして推進していくことが困難な状況となった。

再生可能エネルギーは日本を含む多くの国によって積極的な導入が進められている。2015 年にパリ協定が合意されて以降、その流れは顕著になっている。図 2.4 に示されているとおり、再生可能エネルギーによる発電量の増加幅は、2009 年から 2014 年の伸びに比べて、2015 年から 2020 年間の伸びは 2 倍弱程度同化している。中でも太陽光発電の増加割合が特に大きいことが見て取れ、IEA の予測によると、今後も大きな増加幅が見込まれる（IEA, 2021c）。

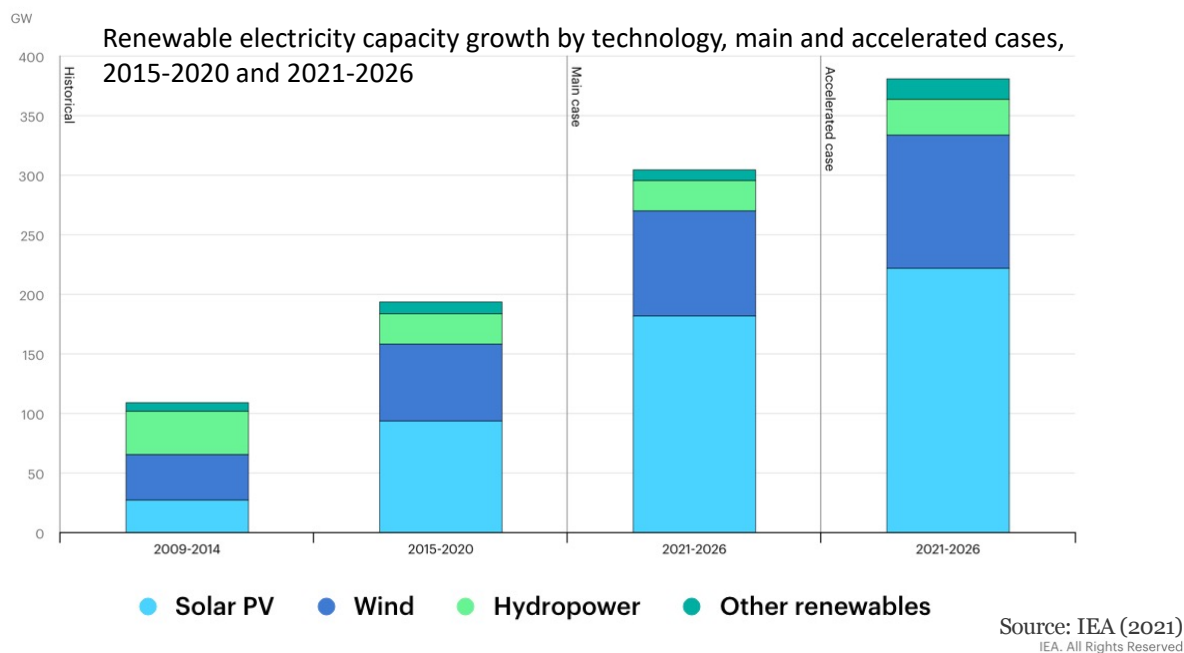
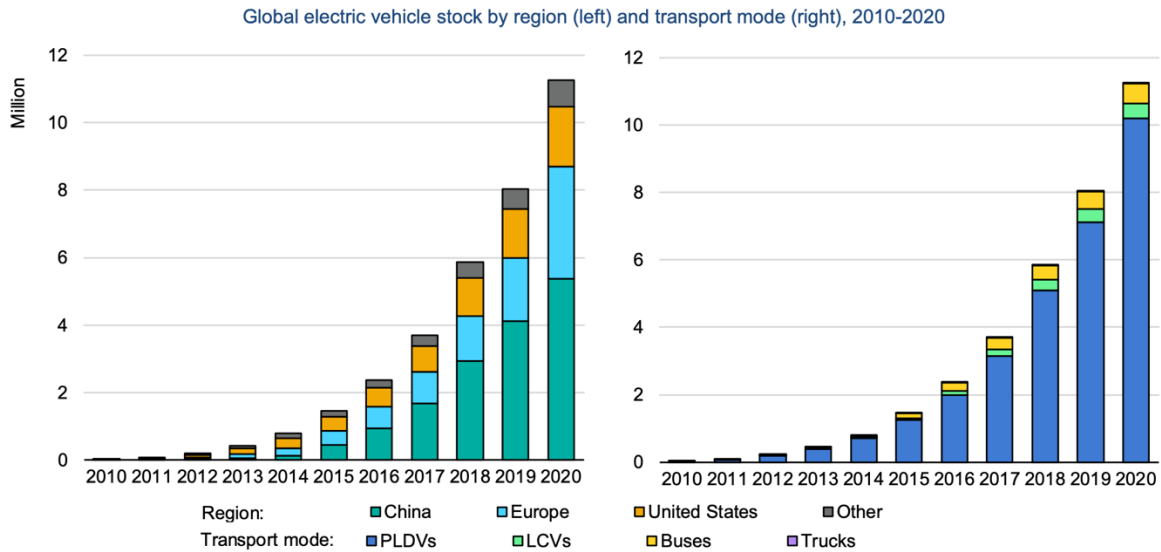


図 2.4 世界の再生可能エネルギー発電の増加量  
(出典：IEA, 2021c)

もちろん、電力を全て再生可能エネルギーにしても脱炭素を実現できるわけではない。電力以外にも、交通や製造業、建物での活動などから排出される温室効果ガスが残っている。それらについても、電気自動車の普及や温室効果ガスを実質的に排出しないビルの建設などが進展している。運輸部門、すなわち交通手段における温室効果ガスの削減については、例えばガソリン車を電気自動車に置き換えるということが政策として推進されている。2020年には、前年度と比べて電気自動車の販売が41%増加した(IEA, 2021a)。図2.5で示されている通り、特に中国での増加が著しい。また、建築由来、すなわち住宅やビルなどの建物から排出されるCO<sub>2</sub>は、全体の1/3ほどを占めている。電気自動車への置き換えについても言えることだが、建物は一度建設されるとそれが長期にわたって使用されることになる。製品や技術が市場での優位性を獲得すると、長期にわたって使用され続けることをロックイン効果と呼ぶ(西尾・大藤、2018)。早い段階で政策が整えられて、市場や技術開発がそれに続ける環境を整えることが重要になる。

## Electric vehicles across all transport modes had steady growth over the last decade



IEA. All rights reserved.

Notes: PLDVs = passenger light-duty vehicles, LCVs = light-commercial vehicles. Electric vehicles include battery electric and plug-in hybrid electric vehicles. Europe includes EU27, Norway, Iceland, Switzerland and United Kingdom. Other includes Australia, Brazil, Canada, Chile, India, Japan, Korea, Malaysia, Mexico, New Zealand, South Africa and Thailand.

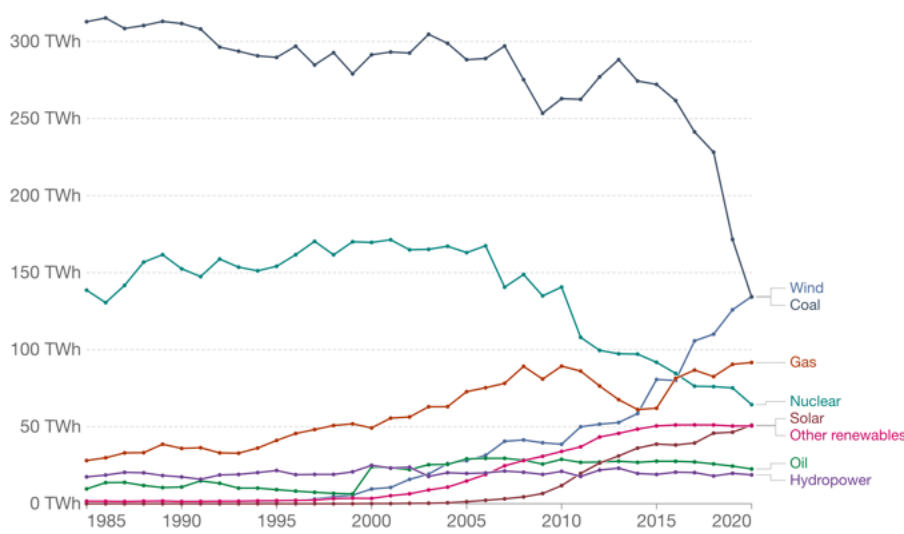
Sources: IEA analysis based on country submissions, complemented by [ACEA \(2021\)](#); [CAAM \(2021\)](#); [EAFO \(2021\)](#); [EV Volumes \(2021\)](#) and [Marklines \(2021\)](#).

図 2.5 地域別及び種類別の電気自動車数

(出典：IEA, 2021a)

また、世界全体で見ると、電力需給の大きな先進諸国の動向が反映されやすい。国際的な世論の流れを受けて、下図に示されているように、欧米などの先進国では近年の石炭による発電の割合が急速に低減している。日本では前述のように原子力発電による電力が東日本大震災以降急減し、それを埋め合わせるために石炭による発電の割合は一旦上昇したが、その後減少傾向にある。再生可能エネルギーは時を同じくして上昇傾向にある。例えばドイツでは風力、日本では太陽光などによる発電も増加傾向にある。

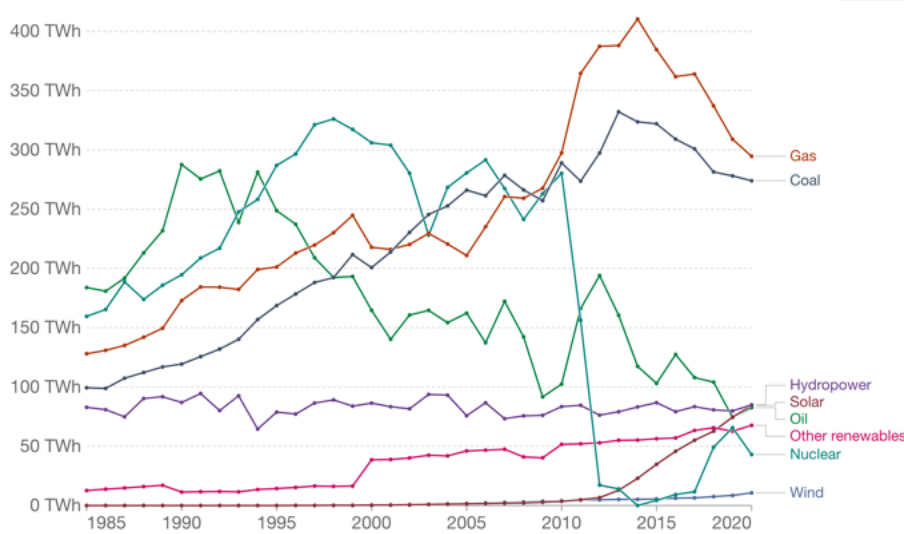
Electricity production by source, Germany



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember (2021)  
 Note: 'Other renewables' includes biomass, waste, geothermal and wave and tidal energy.  
 OurWorldInData.org/energy • CC BY

図 2.6 ドイツにおける資源別の発電量の変化  
 (出典 : Ritchie and Roser, 2020b)

Electricity production by source, Japan



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember (2021)  
 Note: 'Other renewables' includes biomass, waste, geothermal and wave and tidal energy.  
 OurWorldInData.org/energy • CC BY

図 2.7 日本における資源別の発電量の変化  
 (出典 : Ritchie and Roser, 2020b)

一方で、開発途上国では今後経済が成長することが見込まれる。温室効果ガスの排出量はそれらの国々で多くなっていく。先進国でいくら排出量をゼロに近づけても、開発途上国で排出される温室効果ガスについて検討しないのでは意味がなくなる。例えば、近年の経済成長が著しい中国やベトナムを見てみると、その電源構成に占める石炭火力の割合が急上昇していることがわかる。また、近年では、全体に占める割合はあまり高くないが、中国では原子力発電、風力発電や太陽光発電、そしてベトナムでは太陽光発電による発電量が増加傾向にあるのがわかる。次節以降では、日本とベトナムの状況について簡単に概説する。

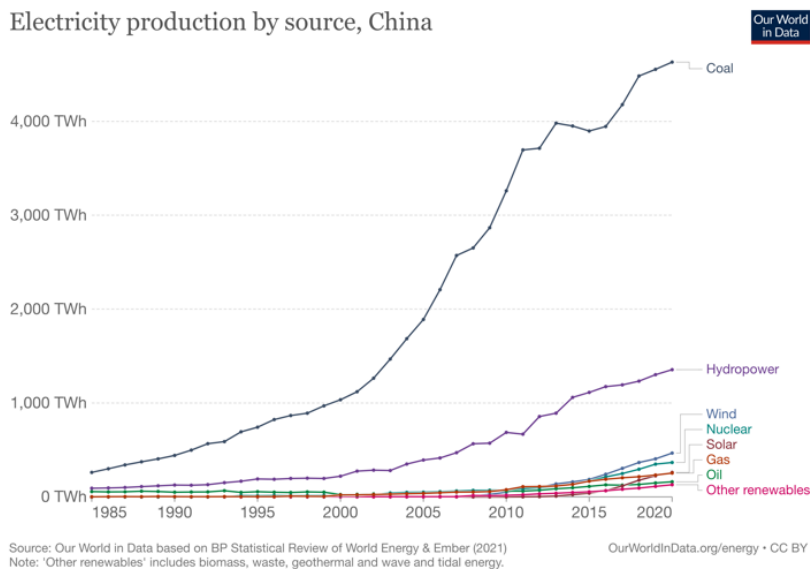


図 2.8 中国における資源別の発電量の変化  
 (出典：Ritchie and Roser, 2020b)

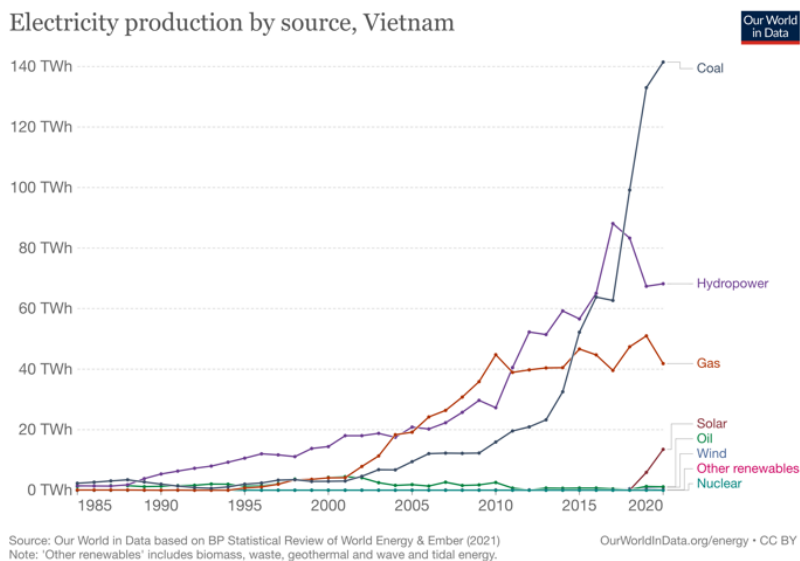


図 2.9 ベトナムにおける資源別の発電量の変化  
 (出典：Ritchie and Roser, 2020b)

### 2.3 日本での事例

近年、日本の太陽光発電所の数は増加している。再生可能エネルギーを促進するために2012年に固定価格買取制度が導入されて以来、特に設置プロセスが比較的短い太陽光発電が中心的な役割を果たしてきた（図 2.10）。

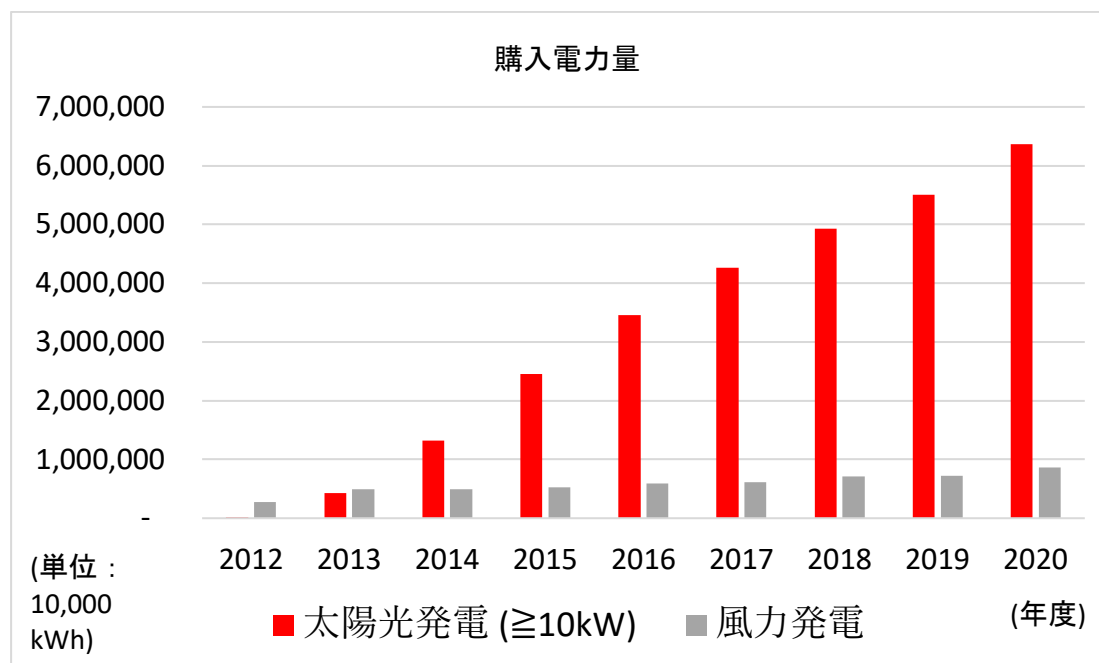


図 2.10 2012 年から 2020 年の日本の固定価格買取制度の下での太陽光発電と風力発電  
出典：資源エネルギー庁(2021b)のデータから著者作成

日本政府は 2050 年までにカーボンニュートラルを達成するという目標に向けて、2030 年までに太陽光発電を含む再生可能エネルギーを大幅に増加させることを計画している。2021 年 10 月 22 日に日本政府によって承認された第 6 次エネルギー基本計画には、2019 年から 2030 年にかけて国のエネルギーミックスに占める再生可能エネルギーの割合を倍増させるという目標が盛り込まれた。その計画によると、総発電量に占める再生可能エネルギーの割合は 2019 年の 18% から 2030 年には 36-38% に増加する。太陽光発電は 2019 年の 6.7% から 2030 年には 14-16% に増加し、風力発電は 2019 年の 0.7% から 2030 年には 5% に増加する（資源エネルギー庁、2021a）。

		(2019年度 ⇒ 旧ミックス)	2030年度ミックス (野心的な見通し)	
<b>省エネ</b>		(1,655万kl ⇒ 5,030万kl)	<b>6,200万kl</b>	
最終エネルギー消費 (省エネ前)		(35,000万kl ⇒ 37,700万kl)	35,000万kl	
<b>電源構成</b>	<b>再エネ</b>	(18% ⇒ 22~24%)	太陽光 6.7% ⇒ 7.0% 風力 0.7% ⇒ 1.7% 地熱 0.3% ⇒ 1.0~1.1% 水力 7.8% ⇒ 8.8~9.2% バイオマス 2.6% ⇒ 3.7~4.6%	<b>36~38%*</b> ※現在取り組んでいる再生可能エネルギーの研究開発の 成果の活用・実装が進んだ場合には、38%以上の高み を目指す。
発電電力量: 10,650億kWh ⇒ 約9,340 億kWh程度	<b>水素・アンモニア</b>	(0% ⇒ 0%)		1% (再エネの内訳)
	<b>原子力</b>	(6% ⇒ 20~22%)		20~22% (太陽光 14~16%)
	<b>LNG</b>	(37% ⇒ 27%)		5% (風力)
	<b>石炭</b>	(32% ⇒ 26%)		1% (地熱)
	<b>石油等</b>	(7% ⇒ 3%)		2% (水力 11%)
				5% (バイオマス)
<b>( + 非エネルギー起源ガス・吸収源 )</b>				
<b>温室効果ガス削減割合</b>		(14% ⇒ 26%)	<b>46%</b> 更に50%の高みを目指す	

図 2.11 日本のエネルギーミックスの目標 (エネルギー基本計画)

(出典：資源エネルギー庁、2021a)

2012年の固定価格買い取り制度開始以降導入された再生可能エネルギーのうち、太陽光発電は大きな割合を占めているが、風力発電はそれほど多くない。これは、洋上風力発電所を含む風力発電所の環境影響評価に必要なリードタイムが、比較的長いためだと考えられている (Li and Xu, 2019 ; Li *et al.*, 2019 ; Obane *et al.*, 2020)。現在の傾向が続けば、近い将来の再生可能エネルギーの拡大は、引き続き太陽光発電を中心としたものとなることが予想される。

## 2.4 ベトナムでの事例<sup>1</sup>

ベトナムでは近年、再生可能エネルギーを導入促進していくことが政府によって提唱されている (ベトナム電力法、2014)。

政府は、社会福祉の観点から、また、企業の国際競争力を高める観点から、電力価格を低く抑えている。加えて、農村人口を多く抱える国であるため、彼らの社会福祉向上のために電力網を広く拡張し、電力普及率はすでに 100%近くなっている<sup>2</sup> (IEA, 2015)。そのため、他の途上国で見られるように、農村においてオフグリッド、あるいはミニグリッドで再生可能エネルギーを導入することは、比較的難しくなっている。すでに電力網が引かれていると

<sup>1</sup> 本節は、プログラム3年次 (2016年度) の審査 (QE2) 時に提出した草稿から抜粋したものである。そのため、数値などは当時のものである。

<sup>2</sup> ベトナムの電化率は98%とされている。農村電化率 (rural electrification rate) も97%である。無電化人口は200万人程度ということになる。この国の電化率は、近隣の東南アジアの国と比較すると、比較的高い数字であると言える。一人当たりGDPに近いASEANの国の電化率は、インドネシア84%、フィリピン89%、ラオス87%、ミャンマー32%である。

ころに再生可能エネルギーを導入しようとしても、直接的な利益が少ないために導入は進まないからである。他方、ベトナムには地方自治がほとんど存在せず、自由な結社権が満足されない。そうした状況で地域の人民委員会<sup>3</sup>が主体性を持って地域の活性化に再生可能エネルギーを使用するという方策も現実味を帯びていない。

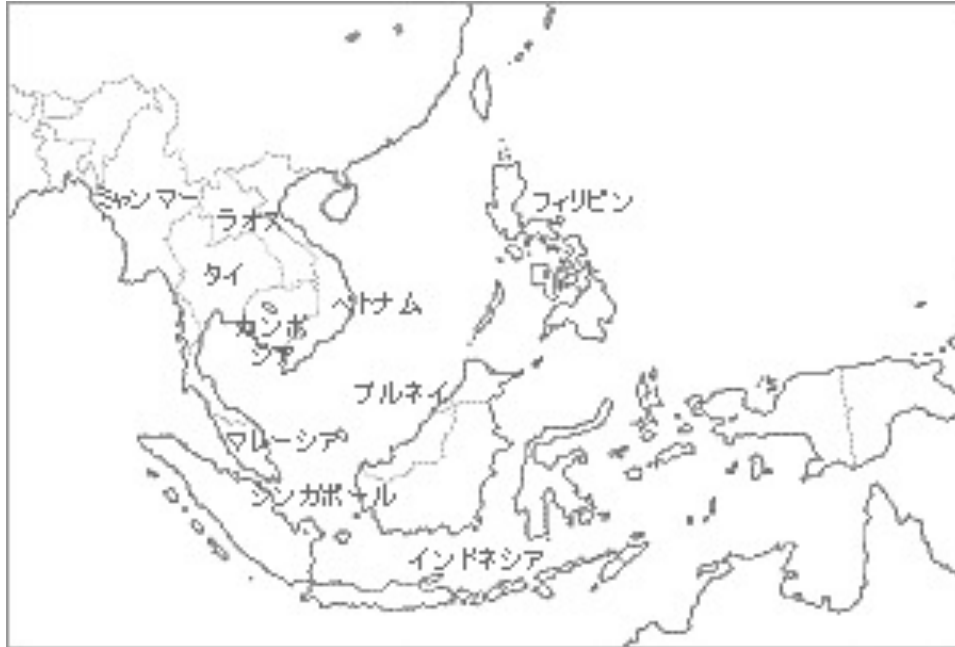


図 2.12 東南アジアにおけるベトナムの位置  
(出典：外務省<sup>4</sup>)

#### 2.4.1 ベトナムのエネルギー状況

ベトナムは水が豊かな国である。国土の西側の高地から東側の海岸沿いに向かって多数の川が流れている。そのため、ベトナムの発電容量に占める水力の割合は 40%を超えている。それ以降は、ガス火力、石炭火力が続く。

---

<sup>3</sup>人民委員会は地方行政を執行する国家機関であり、上位レベルの中央政府と同レベルの人民評議会の指導管理下にあるとされている（池田, 2004, p.12）。

<sup>4</sup>外務省 HP, <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/asean/>



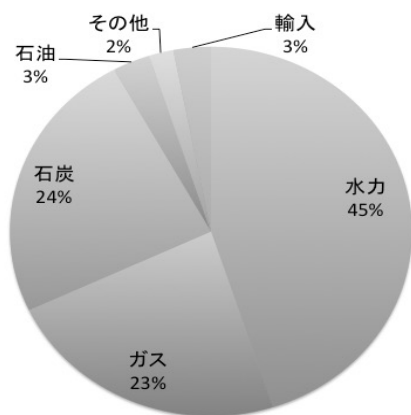


図 2.13 ベトナムの発電設備容量  
 (出典：JETRO Hanoi (2014), 2014 年時点)

近年のベトナムのエネルギー需要は経済成長に伴って大きく伸びている。電力市場を見ると、その需要は毎年 10% ずつ以上伸びている (図 2.14)。電力需給は逼迫していたが、ここ数年は発電容量が安定して需要を上回るようになっている。しかし引き続き増加する電力需要に対応するため、2011 年以降、石炭発電所が多く設置されている (PDP7)。

国内の主要な水力発電は開発がすでに行われており、今後大きく伸びる見込みはない。また、水力発電は発電量が降水量に左右されることから、加えて、上流の中国からの地政学的リスクが存在することから、政府は安定的な供給のために石炭火力を今後導入していく方針をとっている。事実、近年の石炭の輸出量は激減しており、輸入量は増加している。天然ガスによる発電も多くの部分を占める。国内のガス田開発だけではなく、日本との LNG 基地建設提携等に見られるように、今後 LNG の輸入を進めていくと考えられる。

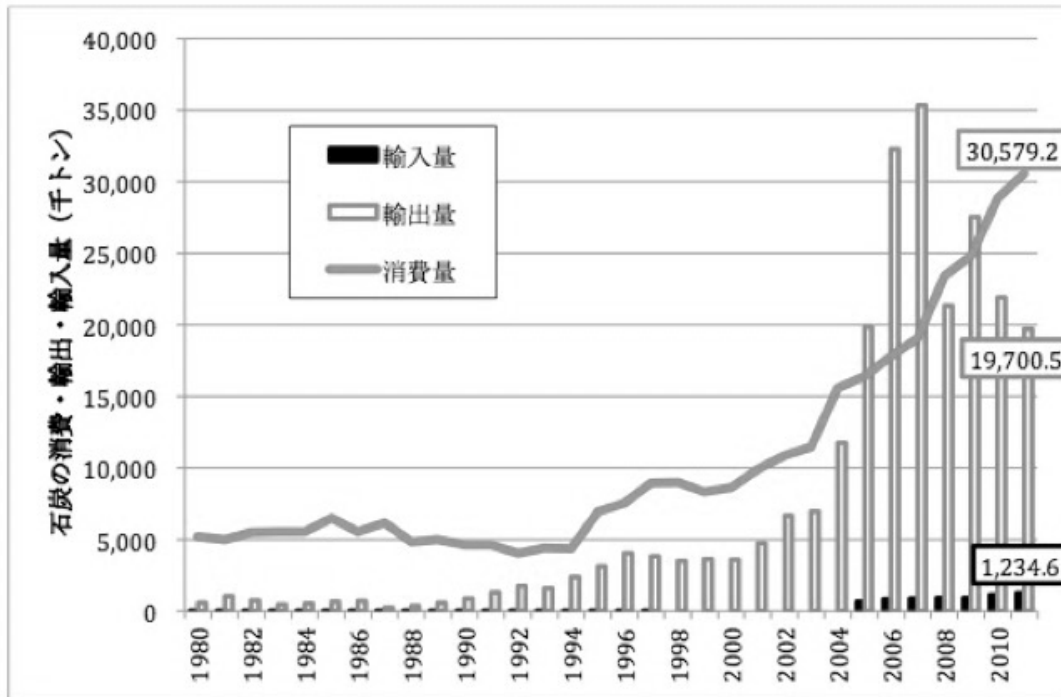


図 2.14 石炭消費量・輸出入量の推移  
 (出典：USEIA データベース (2016) を用いて著者作成。)

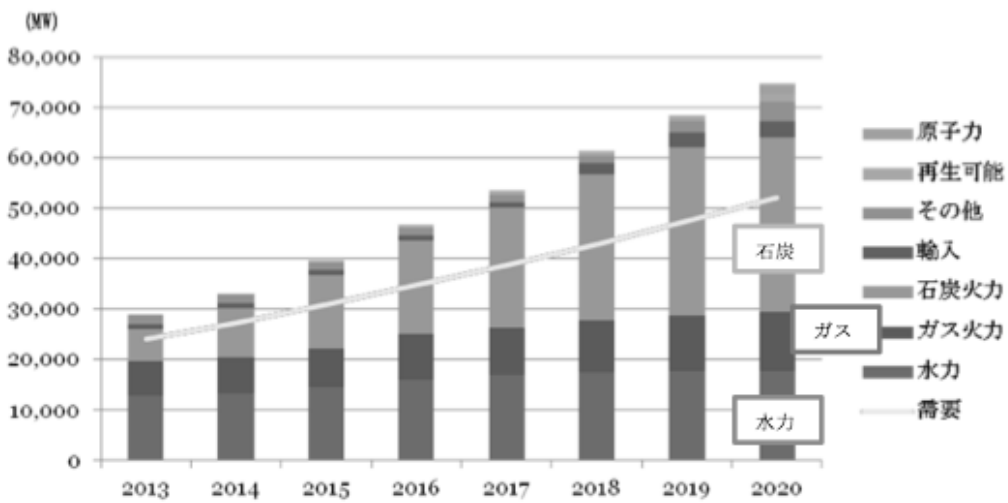


図 2.15 ベトナムの 2020 年までの電力需給見通し  
 (出典：JETRO Hanoi (2013) に一部加筆)

## 2.4.2 電化率

再生可能エネルギーを途上国で活用する際によく議論されるのが、電化率が低い地域における導入の可能性である。貧困の削減と関連づけられた導入が効果的であるという議論である。しかし、ベトナムのケースはこれに当たらない。社会主義の国策から、電化率がすでに97%に達しているからである。PDP7では、まだ電力が供給されていない山岳や島嶼地域に対して新しいエネルギー等を用いて100%の電化を2020年までに達成することが記載されている。この電化率がすでに高いという点は、農村地域においてオフグリッドで再生可能エネルギーの促進を阻む要因の一つであると言える。

## 2.4.3 再生可能エネルギー導入の現状

ベトナム政府は、再生可能エネルギーを発電容量30MW以下の電力と定義している(PDP7)。ベトナムにおける再生可能エネルギーの導入状況は、小規模水力が大部分を占めている。ベトナム電力公社の年次報告書(EVN, 2013)に基づく2013年の小規模水力の発電容量は1,589MW、バイオマスによる発電容量が81MW、風量発電容量が52MWであった。小規模水力発電は主に山間部の地域において、また、バイオマスエネルギーは農村域において主にさとうきびの搾りかすを使って小規模に発電される。一方で、風力発電は海岸部で大規模に行われている。现阶段では南東部の海岸に2か所の発電所があるのみである。

政府の再生可能エネルギーの定義には含まれないが、バイオガスはベトナムにおいて広く利用されているエネルギーである。発電用ではなく、調理用として直接使用されている。

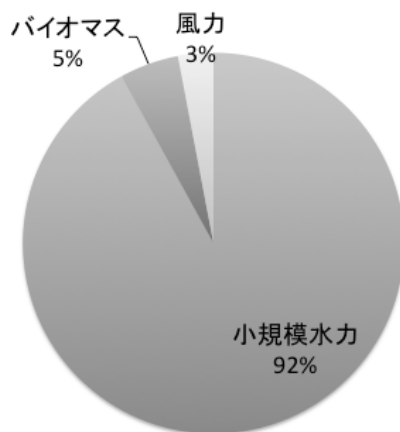


図 2.16 再生可能エネルギー発電容量比率  
(出典：EVN (2013)、2013年時点。)

ベトナムの再生可能エネルギーのポテンシャルは高いと考えられている。Nguyen and Ha-Duong (2009)によると、現時点で経済的に開発可能なポテンシャル（発電容量）は、小規模水力発電で2~4GW、風力発電で20GW、太陽光発電、地熱発電、バイオマス発電でそれぞれ1GW程度以上あるされている。これは、2013年の電力量に匹敵する規模の大きさである。技術が向上し、コストが下がれば、さらにポテンシャル量は増えていくと考えられる。また、別の論点として、再生可能エネルギーのポテンシャルを世界銀行やスペイン政府などが調査しているが、ベトナム政府による調査は行われておらず、今後、さらなる研究が必要である点は指摘できる。

表 2.1 ベトナムにおける再生可能エネルギーの賦存量

Energy Source	Estimated Economical Potential	Current Capacity (2012)
Small Hydro	2-4 GW	1,589MW
Wind	20GW	52MW
Biomass	1-1.6GW	81MW
Solar	1GW	0MW

（出典：Nguyen and Ha-Duong, (2009)より抜粋、Current CapacityはEVN (2013)より加筆。）

#### 2.4.4 ベトナムの再エネ政策

##### 政策にかかわる主要アクター

エネルギーの政策、特に再生可能エネルギーに関わる国内アクターとして、以下の機関・組織の名前を挙げる事ができる。すなわち、産業貿易省（MOIT）・財務省（MOF）・天然資源環境省（MONRE）・農業農村開発省（MARD）の政府省庁と、MOIT傘下のベトナムエネルギー研究所（Institute of Energy Vietnam、以下IoE）及び電力規制局（Electricity Regulatory Authority of Vietnam、以下ERAV）などが公的な機関として関わっている。IoEは電力関連の調査分析を行い、MOITに対して政策等の提言を行う。電力規制局は電力価格の調整を行っている機関である。また主な企業は、ベトナム電力公社（EVN）を中心とする国有企業である。国有企業は他に、石炭鉱物産業（Vinacomin）、ベトナム石油（PetroVietnam）などがあげられる。

ベトナムの電力市場は概して中央集権的であると言える。政府によって大枠の電力5ヶ年計画である国家電力開発マスタープランが定められる。最新のものは2011年に政府に承認された第7次のマスタープラン（PDP7）である。この計画には、5年間の電源開発が記載されている。IoEの主導のもと、MOITやEVNなどと調整を行いながら最終案が練られて、首相に提出

される。承認されたら、これを各省政府が同地域における計画としてその省 PDP7 を策定し、実行していく。電源開発の方法として、EVN による直接的な開発だけでなく、BOP (Build, Operation & Transfer、民間業者が建設、運営を行い、一定期間の事業終了後に施設所有権を国に戻すという方法である)、IPP (Independent Power Producer)、JV (Joint Venture) などの方法がある (長山、2010)。

また、国際機関も多く関わっている。世界銀行・アジア開発銀行・国連開発計画・JICA (日本)・GIZ (ドイツ)・SNV (オランダ)・USAID (アメリカ) などの機関が関係している。その中でも、JICA はツーステップローンの枠組みでベトナム開発銀行を通して借款を行っている。このプロジェクトでは主に小規模水力発電に対する投資がなされた。また IoE によると風力に関しては GIZ が大きく関係している。再生可能エネルギーの分類には含まれないが、農村域でのバイオガスの利用促進に関して SNV が大きく貢献をしている。

それ以外にも、NGO の関与も認められる。Green Innovation and Development (GreenID) を始めとする NGO 群は再生可能エネルギー等の分野に対して Vietnam Sustainable Energy Alliance というグループを形成している。

#### 政府の再エネ導入目標

2011 年の政府によって承認された第 7 次電力開発マスタープラン (PDP7) では、再生可能エネルギーの重視が明記された。再生可能エネルギーの電力総生産量に対する比率は 2010 年には 3.5%であった。それを 2020 年に 4.5%、2030 年に 6.0%にするという目標である。加えて、PDP7 では、再生可能エネルギー導入の具体的な数値目標も盛り込まれた。それは風力発電を 2020 年までに 1,000MW、2030 年までに 6,200MW 導入する。バイオマスについては、2020 年までに 500MW、2030 年までには 2,000MW を導入するという目標である。また、IoE への聞き取りによると<sup>5</sup>、Revised PDP7 と呼ばれるものが 2014 年 10 月末現在作成中であり、年度内に政府に承認される予定である。この Revised PDP7 には、太陽光エネルギーの促進が明記される見込みだという。太陽光による発電は現在まだ行われていないが、2030 年までに 4,000MW を導入すると記載される予定である。

---

<sup>5</sup> 2015年10月30日時点の聞き取り調査による。

## 政府の再エネ推進政策

政府は、すでに述べたように、再生可能エネルギーの促進を掲げて、それを後押しする制度も若干用意している。その制度は、主に3種類に分けられる。1つ目は、**Avoided cost tariff**<sup>6</sup>（回避可能費用、以下ACT）と呼ばれるものである。ベトナムの電力はすべてEVNに売電されることはすでに述べた。その価格に決定方法は2種類に分けられる。第一は30MW以上の発電所からの売電の場合である。それらは、EVNとの間で交わされる**Power Purchase Agreement**（以下PPA）に基づいて決定される。一方で、30MW以下の電力は、ACTが適応される。この価格はベトナム電力規制局（以下ERAV）が毎年改定している。再生可能エネルギーは政府の定義からして、すべてACTが適応される。この価格は、PPAと比較して事業者にとって有利なようになっている。

2つ目は、固定価格買取制度である。政府が一定の期間、一定価格で買い取ることを定めている。例えば、風力発電を始めとする再生可能エネルギーに対して、固定価格買取制度を導入している<sup>7</sup>。風力発電のケースでは、1kWhあたり20年間、7.8米セントの固定価格で買い取られる<sup>8</sup>。それ以外に、バガス（サトウキビの残渣）を使用するバイオマスに対して5.8米セント/kWhの固定価格が定められている<sup>9</sup>。なお、現状では、これらを用いて、風力発電が52MW、バイオマスが81MW導入されている。バイオマス発電所（Bourbon発電所、Tay Ninh省）の24MWを除く全てが国内企業による投資開発である。

3つ目は、再生可能エネルギーで発電をする企業に優遇税制が適応されることである。発電開始後、最初の4年間は法人税が免除になる。その後の9年間は法人税が半免される。ベトナムの法人税は、22%であるので、最初の4年は0%、その後の9年は11%ということになる。これらの制度が再生可能エネルギーを扱う企業を後押ししている。

しかし、例えば固定価格買取制度が適応される風力発電にしても、新制度が導入されてから建設された発電所は2か所に留まっている。このように、これらの制度はうまく再生可能エネルギーの促進に結びついていないように見える。その原因を次に述べる。

---

<sup>6</sup> Decision No. 12/2014/QD-BCT, No. 12/2014/QD-BCTによって、毎年MOITによって価格が決定されることが定められた。

<sup>7</sup> Decision No. 37/2011/QD-TTg. これは、Decision on the mechanism supporting the development of wind power projectである。

<sup>8</sup> Ibid. なお、この中では、買取価格はベトナムの通貨で1,614VND/kWh、20年間、と記載されている。

<sup>9</sup> Revised

PDP7には、太陽光に対するFITも記述される見込みである。第三段階の草稿によると、その価格は11.2米セント/kWhであるとされている。

## 再エネ導入を妨げる要因

上述したように、再生可能エネルギーを後押しする3つの制度があるにもかかわらず、再生可能エネルギーの導入は進展していない。その理由は、次のようにまとめることができる。第1の問題点は、すでに多く指摘されているように、電力価格一般が低いことにより、電力事業自体への投資が進んでいないことである。その状況でたとえ再生可能エネルギーへの支援が行われたとしても、投資が進まないのは当然であると言える。

第2の問題点は、海外からの支援や制度策定による再生可能エネルギーの推進と国内の状況の不一致である。IoEによると、風力に対するFITに対して、GIZからの政策提言が強くあったということである。しかしながら、FITの価格は風力発電事業が採算を取り得るレベルではなかった。GIZは10.5セント/kWhという有効な水準を提言したが、実際には7.8セント/kWhが採用された。これは、海外からの支援が国内の状況に完全にはそぐわなかったがために起きたことである。

第3の問題点は、新しい再生可能エネルギー事業が成立するかは政府とEVNとの交渉次第であるということである。確かに価格はACTによって定まるとはいえ、EVNに対して売電するための契約が必須となっている。そうすると、EVNが契約しないという潜在的な制限を持つことになる。もし事業を開始しても、EVNが買電しなければその事業主は倒産する他なくなる。そういう意味で、国有企業と他の電力事業者との間にある構造が再生可能エネルギー促進を妨げる一要因であると言える。

第4の問題点は、再生可能エネルギーが導入されて、それが利益を生むとしても、その利益が発電所の立地する地域に還元されないことである。地方税制がないことや結社の自由が実質的に制限されていることから、地元裨益しにくい構造になっているのである。そうすると、地元の理解は深まらない。地域分散型の特徴を持つ再生可能エネルギーは、地域の主体性がないと効果を発揮しない。

### 3. 再生可能エネルギーの立地分析に関する先行研究

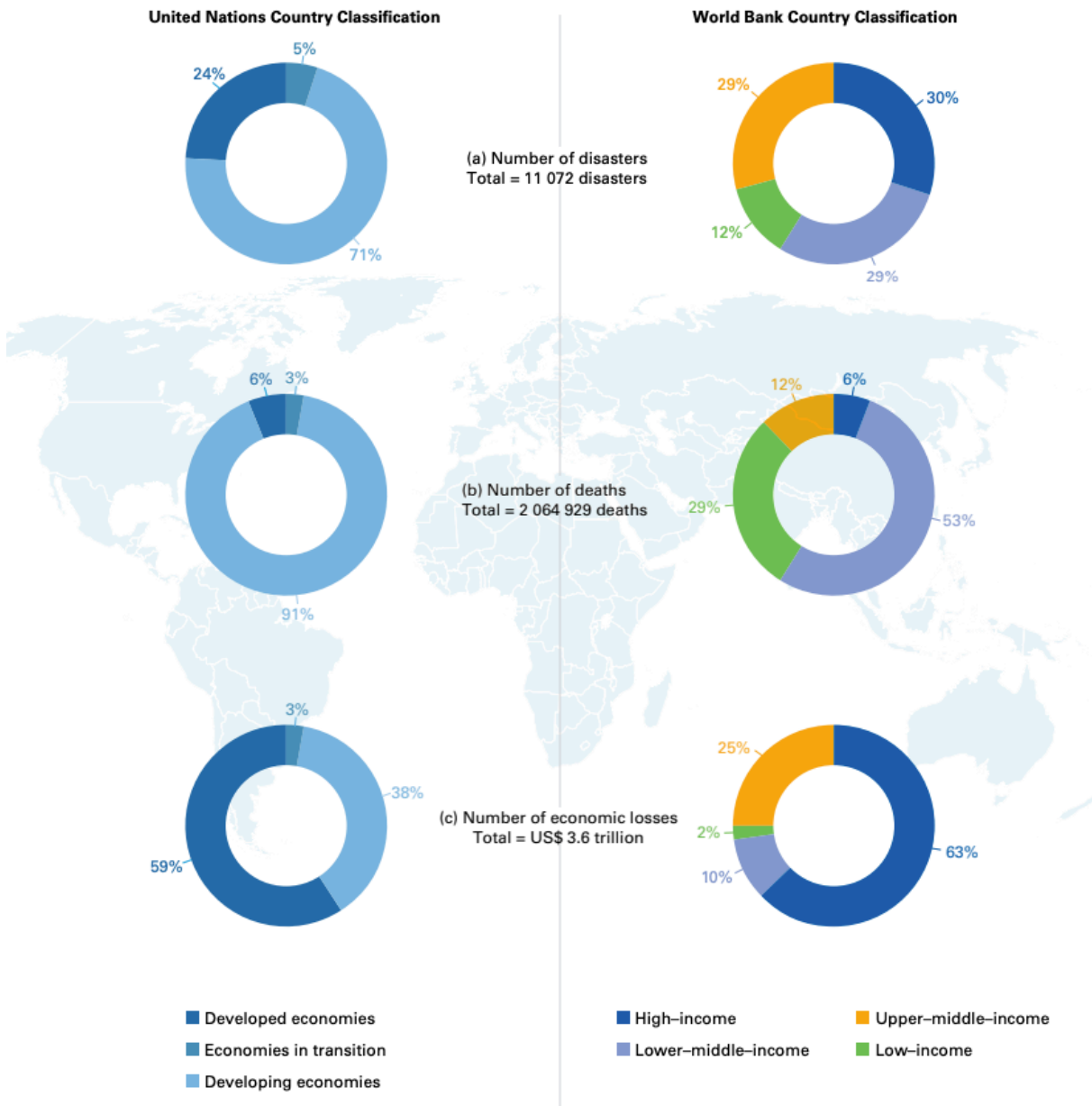
前章では、気候変動と再生可能エネルギーの関連について、大局的な議論の流れを説明し、さらに、日本とベトナムの事例を中心に世界での導入の状況を概説した。本章では、本論文で扱う再生可能エネルギーの立地分析に関する先行研究をレビューする。特に、災害リスクの観点からどのような研究がなされているのかを中心に概観する。

#### 3.1 気候変動による災害の増加

気候変動によって地表面の気温が数度上昇することの何が問題なのか。気候変動は、気温上昇が氷河を溶かすことにより海水面の上昇を引き起こし、また、それが引き金となり、洪水や干ばつといった副次的な自然災害を引き起こす。IPCCの第2作業部会(WG2)は気候変動の影響、適応、および脆弱性を分析するグループである。WG2による第5次評価報告書は、非常に高い確信度で、最近の気候変動に関連する熱波、干ばつ、洪水、台風や山火事は一部の人間や生物が脆弱性に晒されていることを明らかにしていると記述している(IPCC, 2014)。

そうした自然災害に対しては、開発途上国の方が先進国よりも脆弱であると考えられる。世界気象機関(WMO)によると、図3.1の通り、国連の分類による国の区分では、1970年から2019年までの災害による死者の数は、新興国と開発途上国で91%を占めている(WMO, 2021)。一方で、災害による被害額については死者数とは対照的に、59%を先進国が占めている。このことから、開発途上国や新興国では、災害から人命を守るためのインフラ整備が十分でないことが言える。





**Figure 6. Distribution of (a) number of disasters, (b) number of deaths and (c) economic losses by United Nations country classification globally (1970–2019)**

**Figure 7. Distribution of (a) number of disasters, (b) number of deaths and (c) economic losses by World Bank country classification globally (1970–2019)**

図 3.1 先進国、新興国、開発途上国における災害の数、被害者数、被害額の割合 (出典：WMO, 2021)

### 3.2 再生可能エネルギーの立地

自然エネルギーを転換するため、どこに再生可能エネルギーを設置するかはその発電量を決めるにあたって重要である。再生可能エネルギーの立地を決定する方法としてよく使われているのは、多基準意思決定 (Multi-criteria Decision Making, MCDM) と GIS 分析である (Rediske *et al.*, 2021 ; Lak Kamari *et al.*, 2020 ; Shao *et al.*, 2020)。

MCDM の手法は、政策決定や最適解を導くためには信頼性が高く効率的である。この手法は、複数の候補について優先順位を付ける際の影響要因とその相対的な重要性を検討している (Lak Kamari *et al.*, 2020)。Shao *et al.* (2020) が MCDM による再生可能エネルギーの立地に関連する 2001 年から 2018 年までの 85 本の文献をまとめた結果、MCDM の過程は 5 つの段階に分けられる。それは、基準選択、データ正規化、基準の重み付け、代替評価、そして結果の検証の段階である。MCDM はこれらの各段階において評価を行い、最適な再生可能エネルギーの立地を決定する。

GIS 分析は、どのエネルギーを対象にして分析を行うのかで使い方が変わってくる。先行研究は風力発電、太陽光発電、バイオマス発電の立地や資源分布を分析しているものが多い。風速や日射量、バイオマス資源の賦存状況などの再生可能エネルギー資源のポテンシャルに関する分析が目標となっている。その分析に際して、自然環境的状况のデータから割り出したポテンシャルの高いエリアから自然保護区や住宅地などの立地ができないエリアを除く分析が行われている。多くの研究では、複数のデータを重ね合わせて (オーバーレイ)、エネルギー資源の賦存量や経済性、技術的可能性などを検討する方法論が研究されている (Díaz and Guedes Soares, 2020 ; Zambrano-Asanza *et al.*, 2021 ; Choi *et al.*, 2019 ; Bharti *et al.*, 2021 ; 亀田ほか、2003 ; 高島ほか、2014 ; Voivontas *et al.*, 2001)。GIS 分析の応用では、エネルギー源としての木材を供給する森林の分布とバイオマス発電所の位置からそれぞれの発電所が用いる資源量を推定した研究もある (Viana *et al.*, 2010)。また、バイオマス資源の潜在量を推測する研究はポルトガル (Fernandes and Costa, 2010)、ポーランド (Zyadin *et al.*, 2018)、メキシコ (Lozano-García *et al.*, 2020) を初め、多くの国々で行われている。MCDM と GIS 分析は組み合わせて用いている研究も多いことが先行研究の分析から示されている (Rediske *et al.*, 2021 ; Shao *et al.*, 2020)。

### 3.3 再生可能エネルギーと災害リスクの分析

再生可能エネルギーと災害の関係について考えるとき、2つの側面がある。一つ目は、再生可能エネルギーが災害時の非常電源として活用できるという点である。二つ目は、再生可能エネルギー自体が災害リスクとなる可能性があるという点である。

前者の再生可能エネルギーを災害時に利用するという点についてこれまで活発に研究が進められている。特に災害の多く発生する日本においては、2011年3月11日の東日本大震災以降、研究が多くなされている。再生可能エネルギーをベースとした分散型の電力構成であることは災害からのレジリエンス向上に役立つ (Esteban and Portugal-Pereira, 2014)。また、再生可能エネルギーと蓄電池を用いたスマートグリッドは、電力需給を調整することで電気代節減と環境負荷低減ができるだけでなく、非常時の電源として使用できるようになることで、電力システムの強靱化に繋がる (Taguchi and Tanaka, 2013)。つまり、再生可能エネルギーを土台にした電力システムは災害への備えとして有意である。

一方で、再生可能エネルギー設備の立地への災害リスクの影響について分析した研究はあまり多くない。まず、現在再生可能エネルギーの導入が進んでいる欧米を中心とする多くの国では、災害リスクの考慮が立地選定の際に含まれることは少ない。災害が多い日本では災害による再生可能エネルギーへの影響や被害が報告されている。例えば、大神 (2019) は、太陽光発電所が災害にあった事例をまとめている。それによると、2018年7月の西日本豪雨により、8ヶ所の太陽光発電所が洪水で被害を受け、11ヶ所の太陽光発電所が地滑りで被害を受けたとしている。これらは、被害が経済産業省に報告されたものに基づいて示されている。また、こうした被害を防ぐための研究として、福岡県直方市の氾濫や土砂災害の危険性のある地域に設置された太陽光発電所を特定するために、GIS分析が行われ、危険箇所を特定している (Kwonほか, 2020)。しかし、災害が再生可能エネルギーに与える影響について、例えば日本全土で分析した例は見当たらない。

太陽光発電の普及をめぐることは、太陽光パネルをどこに設置するかが大きな課題となっている。これまでに太陽光発電所が作られてきたのは、土地の取得や太陽光パネルの設置が比較的容易な場所だが、日本において太陽光発電に利用できる可能性のある土地は限られている (Sahu *et al.*, 2016 ; Esteban *et al.*, 2012)。

そのため、今後、太陽光パネルの設置場所を検討する際には、農地や湖などの水面、山間部などがすべて候補地となる可能性がある。山間部については、森林伐採及び土地の埋め立ての後に太陽光発電が設置されている (環境省, 2019 ; Itaka, 2021)。その場合、大雨や土砂崩れによる災害リスクを慎重に検討する必要がある。

しかし、これまでに、太陽光発電の設置場所と災害危険地域のオーバーラップについて検証した研究はごくわずかである。50kW以上の太陽光発電所は、電気事業法に基づく事故報告義務があり、経済産業省によると、2018年の太陽光発電所での事故は合計57件であった（表4.1）。大神（2019）は、電気事業法に基づいて報告された事故について紹介している。それによると、たとえば2018年7月に西日本の広大な地域を襲った豪雨により、太陽光発電所で浸水被害が8件、土砂崩れは11件発生した。さらに、同年の強風や高潮による被害も報告されている。また、太陽光発電容量規模別の被害内訳も報告されている。前述の大雨の結果、水没した太陽光発電所8基のうち7基が500kW未満であった。土砂崩れの影響を受けた太陽光発電設備11基のうち、10基が500kW以上であった。

表 3.1 2018年に日本で起こった自然災害が原因の太陽光発電所での事故

		2018年7月 の豪雨	台風21号	北海道胆振 東部地震	台風24号
	発電所の数	19	23	3	12
原因*	水没	8	-	-	-
	土砂崩れ	11	-	-	-
	強風	-	20	-	12
	高潮	-	3	-	-
被害箇所*	パネル	10	21	2	12
	パソコン	9	5	1	4
	変圧器	4	1	-	-
	その他	9	7	2	9

\*一部重複あり

（出典：大神、2019；経済産業省、2019）

田畑（2019）は、オンラインで入手可能な情報から自然災害による太陽光発電への被害を特定し、その場合の太陽光発電所への被害額を試算した。田畑の論文は、自然災害によって相当量の太陽光パネルが破損する可能性があることを太陽光発電所の事業者に注意を促した。Kwonほか（2020）は、福岡県直方市において、地理情報システム（GIS）を用いて、浸水や土砂災害のリスクがある地域に設置された太陽光発電所を特定した。

環境面では、太陽光発電所の設置により、自然生息地や半自然生息地が大きく失われている (Kim *et al.*, 2021)。また、Kim *et al.* (2021) の研究では、シミュレーションの手法を用いて、太陽光発電所を都市の近くに設置すれば、失われる生息地が少なくなることを明らかにした。上記の先行研究はいずれも太陽光発電に関する災害リスクについて触れているが、事例分析が中心であり、焦点は地域や自然生息地に対する影響に限定されている。

今後、自然災害が気候変動に伴って増えていくことを考慮すれば、再生可能エネルギーが電力源の主流となっていく場合、基幹的なインフラである再生可能エネルギー発電設備が災害に脆弱性を持つことは詳しく研究される必要がある課題である。さらに、自然災害が再生可能エネルギー発電所の立地点に及ぼす影響について開発途上国を対象にした例は見当たらない。開発途上国では、パリ協定に基づき、先進国からの資金協力によるものも含めて再生可能エネルギーの導入が進められる。そうした際に災害が及ぼす影響について考察することは重要である。

#### 4. 日本の太陽光発電所立地と災害リスク

本章では、前章の先行研究の分析を踏まえ、災害が多く発生する日本において、太陽光発電所が立地する地点の災害リスクについて分析を行う。

##### 4.1 データと手法

本論文では、日本における太陽光発電所の立地に対する2種類の災害リスクの影響を推計した。特に、土砂災害のリスクと洪水のリスクについて検討する。この2種類の災害リスクに焦点を当てるのは、大神（2019）で報告されているように、洪水と土砂災害が太陽光発電所の被害の主な原因となっているからである。太陽光発電所は台風による強風でも被害を受けるが、台風の進路は広く推定が困難なため、過去の平均風速に基づくリスク値は算出していない。

データセットは3種類を使用した。1つ目は、Kim *et al.*（2021）の研究で使用された太陽光発電所の面積情報である。この情報は、Electrical Japan で公開されている発電所の位置情報に基づいている。Electrical Japan は、国立情報学研究所の web ドメインで公開されている日本国内の各種発電所の立地を地図上で示したサイトである。Electrical Japan のデータはポイントデータであり、太陽光発電所のデータについては、太陽光発電設備が設置されているエリア内の1つの地点のみを示している。今回の分析には、太陽光パネルが設置されている太陽光発電エリア全体を示す位置情報であるポリゴンデータを使用する必要があった。

Kim *et al.*（2021）のデータは、Electrical Japan のデータをもとに太陽光発電所のエリア全体をプロットしたポリゴンデータである。このデータはオンラインで入手可能である（図 4.1）。そのデータによると、Electrical Japan の位置情報は定期的に更新されているが、Kim *et al.*

（2021）は、2020年12月30日の情報を用いている。また、彼らの調査は日本と韓国の両方を対象としているが、本研究は日本のみを対象としている。

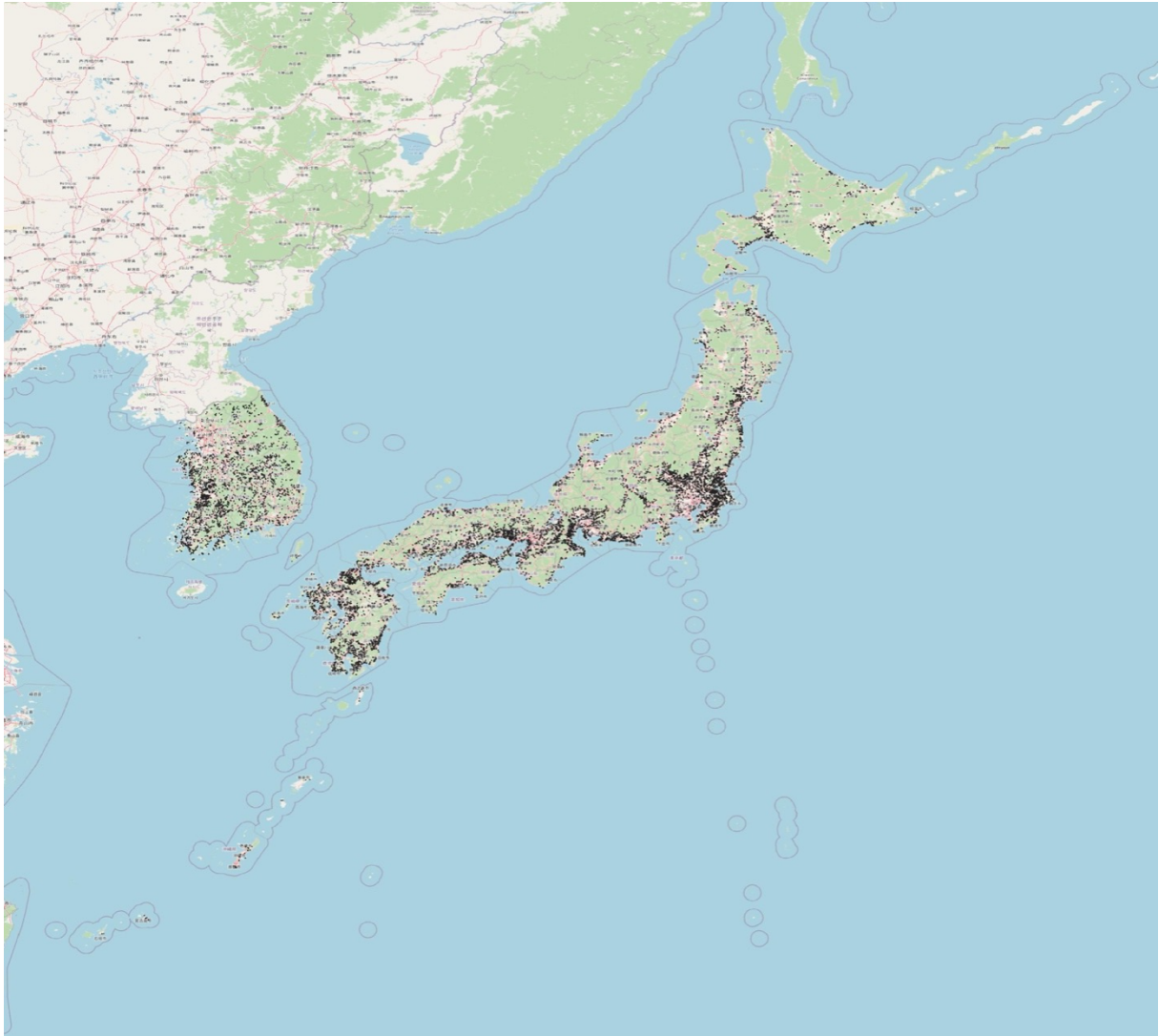


図 4.1 太陽光発電所の場所のデータ  
(QGIS を使用して OpenStreetMap に表示)  
(出典 : Kim *et al.* (2021))

日本では、現在、太陽光発電所の所在地を示す公式の GIS データベースは存在しない。経済産業省は、太陽光発電所の事業者に認可を与える事業者と承認日に関する情報を持っているが、GIS の位置情報と関連付けて公開されていない。そのため、Kim *et al.* (2021) のデータを使用することが分析に最適であると判断した。

データには、中規模以上の太陽光発電のみが含まれている。中規模の太陽光発電の容量は 500kW 以上 10MW 未満であり、大規模な太陽光発電の容量は 10MW を超える。本研究では中規模および大規模の太陽光発電の災害リスクを対象としているため、住宅や工場の屋上を含む

小規模の太陽光発電は除外している。日本の太陽光発電所のデータは、合計 9,250 地点のレコードがある。公開されているデータセットは、Shape ファイル及び GeoJSON ファイルのファイル形式であり、座標系は世界測地系 (WGS84, EPSG: 4326) が使用されている。

使用した 2 つ目のデータは、国土交通省が提供する、国土数値情報の土砂災害危険箇所情報 (図 4.2) である。対象地域は、土砂災害警戒区域と特別警戒区域の 2 種類である。土砂災害警戒区域とは、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律によると、土砂災害が発生しやすい地域で、斜面崩壊、地すべり、土石流などの発生が想定される区域を指す。このデータでは、これら 3 種類の地域が 1 つのデータに含まれているため、地域間で重複している部分がある。土砂災害特別危険区域は、建物が破壊され、住民に重傷者や死亡者が出る危険性のある区域を指す (Disaster Management Bureau, 2018)。土砂災害危険区域は、土砂災害特別危険区域のすべての地域を含むので、土砂災害危険区域のデータを活用した。データは都道府県別に提供されており、日本全国 47 都道府県のデータを利用した。使用したデータは、2019 年度の各都道府県の土砂災害警戒区域を示すもので、分析を行った 2020 年 8 月時点での最新のデータである。日本全国でポリゴンデータとして、合計 1,403,452 地点のレコードが存在している。データ形式は Shape ファイルで、座標系は日本測地系 2011 (JGD2011, EPSG: 6668) が使用されている。



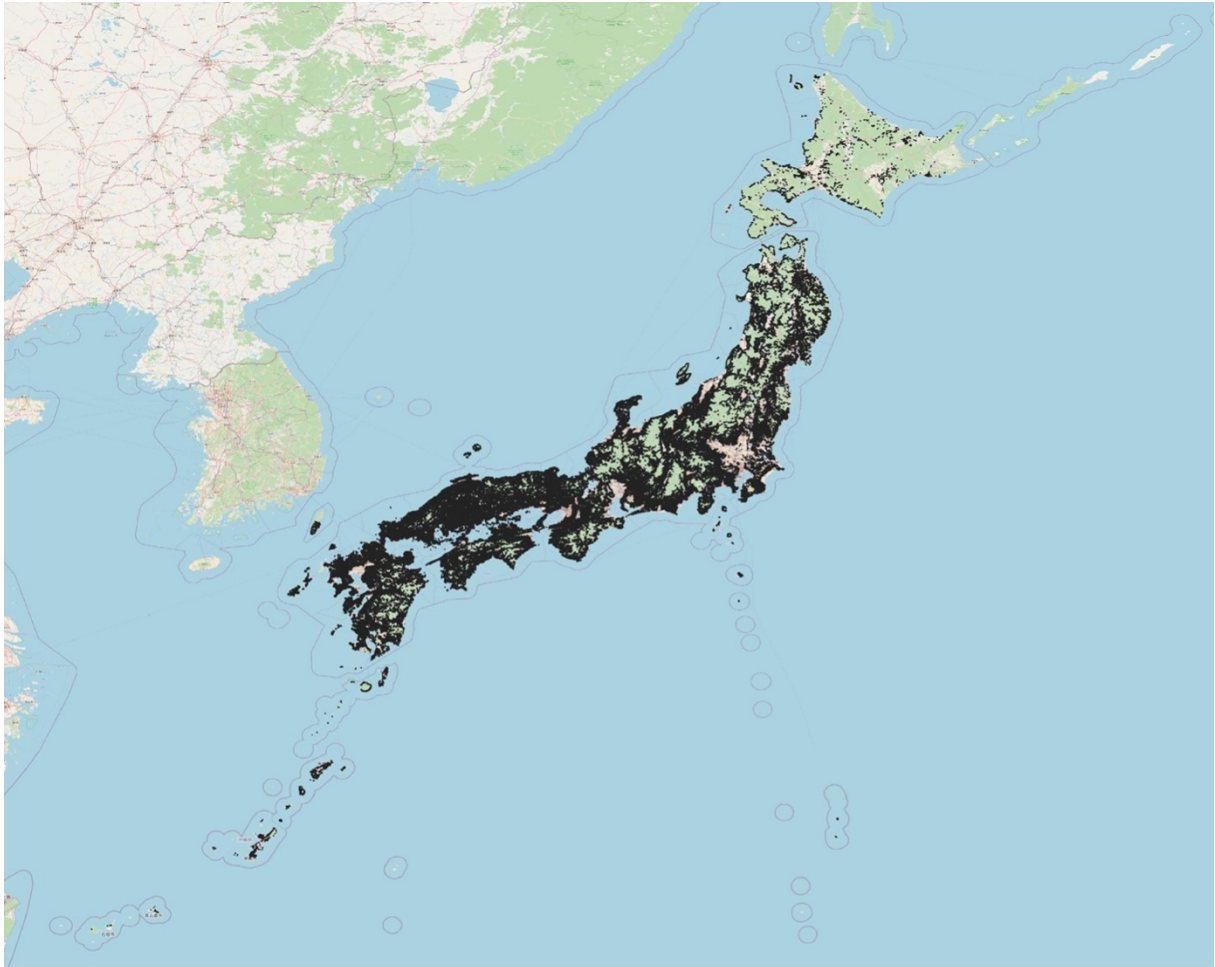


図 4.2 土砂災害警戒区域のデータ  
(QGIS を使用して OpenStreetMap に表示)  
(出典：国土交通省国土数値情報による土砂災害警戒区域)

3つ目のデータは、国土交通省のデジタル国土情報の洪水浸水想定区域情報で、各河川で洪水浸水が想定されるエリアが示されている（図 4.3）。使用したデータは、2019年度の各河川の洪水浸水想定区域を示すもので、便宜的に都道府県ごとに分割して利用している。洪水浸水想定区域は水防法に基づいて決められた水位周知河川について各河川管理者が調査したものである。エリアの情報はポリゴンデータとして格納されている。日本全国で 1,405,620 地点のポリゴンレコードが存在している。データ形式は Shape ファイルであり、座標系は日本測地系 2011 (JGD2011, EPSG: 6668) が用いられている。

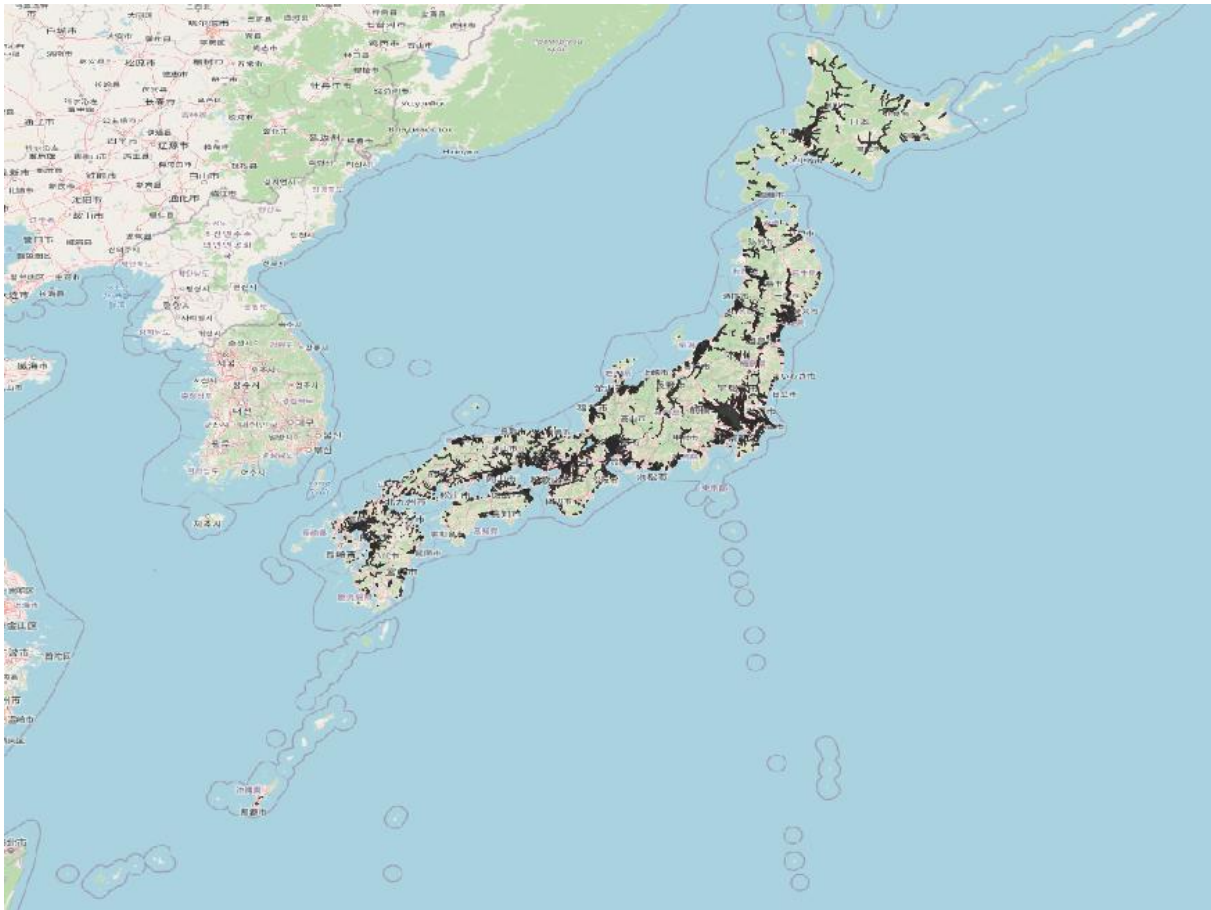


図 4.3 洪水浸水想定区域のデータ  
 (QGIS を使用して OpenStreetMap に表示)  
 (出典：国土交通省国土数値情報による洪水浸水想定区域)

以上のように、災害リスクに関する指標として、土砂災害警戒区域と洪水浸水想定区域の 2 つのポリゴンデータを使用した。データ処理には、災害リスクデータ、太陽光発電所の立地データともに Shape ファイル形式を採用した。

手法としては、まず、太陽光発電所の立地データと災害関連データの座標系が異なるため、データの座標系は標準的な座標系である世界測地系 WGS84 に変換をして統一した。次に、データの量がそれぞれ膨大であったため、掛け合わせるデータ量が多いため、データを都道府県ごとに分割し、都道府県単位で比較できるように組み替えた。その上で、解析として、GIS 上の太陽光発電所の位置データを用いて、ポリゴンが重なる地点を推定し、累計した。計算には、データ解析によく使われるプログラミング言語 Python の GeoPandas ライブラリ (Jordahl *et al.*, 2020) の `overlap` 関数を使用した (Zhou *et al.*, 2021)。この関数は、ポリゴンデータを 2 つのパラメータとして受け取り、2 つのポリゴンデータが結合して重なっている場合に True (真)

を返す（図 4.4）。下図の基本関数に見られるように、関数が真を返した数を累積した（図 4.5）。変数として、各都道府県の災害データセットと太陽光発電所の位置データの 2 つを入力した。また、土砂災害危険箇所と洪水・浸水危険箇所の両方に重なる太陽光発電所エリアの数を算出した。



図 4.4 太陽光発電エリアと災害が発生しやすい地域が重なっている例  
（出典：GoogleMaps を用いて著者作成（黒が太陽光発電所、紫が土砂災害警戒区域））

```
def PlysOverlap(plys1, plys2):  
    l = []  
    for i in range(len(plys1)):  
        if any(plys2.overlaps(plys1[i])):  
            l.append(plys1[i])  
    return(len(l))
```

図 4.5 使用した関数の基本構造  
（出典：著者作成）

## 4.2 結果

結果として、各都道府県の土砂災害危険箇所、洪水・浸水危険箇所と太陽光発電所の立地の多くが重なっていることが明らかとなった。その結果を都道府県ごとに表 4.2、表 4.3、表 4.4 に示した。表の最下段には算出した合計を示した。

データでは、日本国内の太陽光発電所の総数は9,250地点であった。その中で、日本全体の土砂災害警戒区域と重なる地点は782地点で、全体の約8.5%であることが明らかとなった（表4.2）。また、日本全国の太陽光発電所のうち、洪水浸水想定区域と重複する地点は846地点であった。これは、日本の太陽光発電所全体の約9.1%に相当する（表4.3）。

また、土砂災害警戒区域と洪水・浸水危険箇所の両方に重複している太陽光発電所が30箇所あることが分かった（表4.4）。つまり、全体の約0.3%の太陽光発電所が地滑り危険地域と洪水・浸水危険地域の両方に面していることになる。

表4.1 地すべりの危険性が高い地域と重複する太陽光発電所の場所の数  
（出典：著者作成）

都道府県 コード	都道府県名	結果	都道府県 コード	都道府県名	結果
01	北海道	9	25	滋賀県	16
02	青森県	6	26	京都府	15
03	岩手県	3	27	大阪府	15
04	宮城県	13	28	兵庫県	69
05	秋田県	2	29	奈良県	18
06	山形県	3	30	和歌山県	22
07	福島県	3	31	鳥取県	1
08	茨城県	19	32	島根県	12
09	栃木県	17	33	岡山県	15
10	群馬県	25	34	広島県	71
11	埼玉県	7	35	山口県	19
12	千葉県	10	36	徳島県	8
13	東京都	1	37	香川県	21
14	神奈川県	10	38	愛媛県	10
15	新潟県	3	39	高知県	14
16	富山県	1	40	福岡県	35
17	石川県	2	41	佐賀県	17
18	福井県	7	42	長崎県	27

19	山梨県	9	43	熊本県	21
20	長野県	19	44	大分県	9
21	岐阜県	42	45	宮崎県	18
22	静岡県	33	46	鹿児島県	38
23	愛知県	9	47	沖縄県	1
24	三重県	37		合計	782

表 4.2 洪水および浸水リスクの高い地域と重複する太陽光発電所の場所の数  
(出典：著者作成)

都道府県 コード	都道府県名	結果	都道府県 コード	都道府県名	結果
01	北海道	111	25	滋賀県	31
02	青森県	1	26	京都府	11
03	岩手県	3	27	大阪府	19
04	宮城県	31	28	兵庫県	33
05	秋田県	3	29	奈良県	4
06	山形県	14	30	和歌山県	1
07	福島県	13	31	鳥取県	4
08	茨城県	45	32	島根県	4
09	栃木県	37	33	岡山県	12
10	群馬県	21	34	広島県	6
11	埼玉県	65	35	山口県	2
12	千葉県	56	36	徳島県	7
13	東京都	2	37	香川県	4
14	神奈川県	9	38	愛媛県	4
15	新潟県	10	39	高知県	7
16	富山県	9	40	福岡県	20
17	石川県	8	41	佐賀県	8
18	福井県	7	42	長崎県	0

19	山梨県	8	43	熊本県	19
20	長野県	11	44	大分県	11
21	岐阜県	29	45	宮崎県	22
22	静岡県	33	46	鹿児島県	4
23	愛知県	28	47	沖縄県	0
24	三重県	59		合計	846

表 4.3 地すべりの危険性の高い地域と洪水および浸水の危険性の高い地域の両方と重複する太陽光発電所の場所の数

(出典：著者作成)

都道府県 コード	都道府県名	結果	都道府県 コード	都道府県名	結果
01	北海道	0	25	滋賀県	0
02	青森県	0	26	京都府	0
03	岩手県	0	27	大阪府	0
04	宮城県	0	28	兵庫県	5
05	秋田県	0	29	奈良県	0
06	山形県	0	30	和歌山県	1
07	福島県	0	31	鳥取県	0
08	茨城県	4	32	島根県	0
09	栃木県	1	33	岡山県	1
10	群馬県	1	34	広島県	2
11	埼玉県	0	35	山口県	0
12	千葉県	3	36	徳島県	1
13	東京都	0	37	香川県	0
14	神奈川県	0	38	愛媛県	1
15	新潟県	0	39	高知県	1
16	富山県	0	40	福岡県	1
17	石川県	0	41	佐賀県	0

18	福井県	0	42	長崎県	0
19	山梨県	0	43	熊本県	2
20	長野県	1	44	大分県	0
21	岐阜県	2	45	宮崎県	0
22	静岡県	0	46	鹿児島県	2
23	愛知県	0	47	沖縄県	0
24	三重県	1		合計	30

#### 4.3 考察：各地点の推定発電量の算出

被害の想定のために、上記の各地点についてさらなる分析を行った。流れとしては、第一に、重なり合う地点を抜き出し、その発電容量のデータを整えた。第二に、それらの地点の日射量を国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が提供する日射量データベースから算出した。第三に、各地点の年間推定発電量を算出した。最後にその結果を踏まえて考察を行った。

まず、上記で示された地点について、元データからエリア情報を抜き出した。このデータセットには、エリアの面積の情報は含まれているが出力の情報は含まれていない。そこで、**Electrical Japan** という国立情報学研究所が作成しているウェブサイトのデータを利用した。すでに述べたとおり、このサイトのデータは、ポイントデータであり、さらに発電容量のデータも含んでいる。エリアデータとポイントデータを重ね合わせて、ポイントがエリアに含まれる場合、そのポイントデータの発電容量（MW）の情報をエリアデータに移した。ただし、全てのエリアデータに対応するポイントデータが存在するわけではなかった。その対処として、出力データが欠損している地点以外の地点の面積と発電容量の相関をとり、その回帰式を用いて補間を行った。また、次のステップ以降の処理のために、各地点の中央点を割り出し、そこに電力容量のデータを付与した。



図 4.6 土砂災害警戒区域と重なる地点  
(出典：著者作成)



図 4.7 洪水浸水想定区域と重なる地点  
(出典：著者作成)



次に、NEDO が提供する日射量データベースをもとに、各地点の日射量を推計した。データは、日射量データベースの年間特別日射量データベースのデータをダウンロードして処理した。このデータは、国内 837 地点における 20 年間（1990～2009 年）の日射量のデータを集めたものとなっており、今回はその平均値のデータを使用した。できた 837 地点のデータセットは、地点（ポイント）の情報であるが、今回は、日本全域の面のデータが必要であったため、常クリギング法を用いて補間を行った。その上で、前の段階で作成した災害リスク地と重なる太陽光発電所のエリアデータに日射量の情報を追加した。

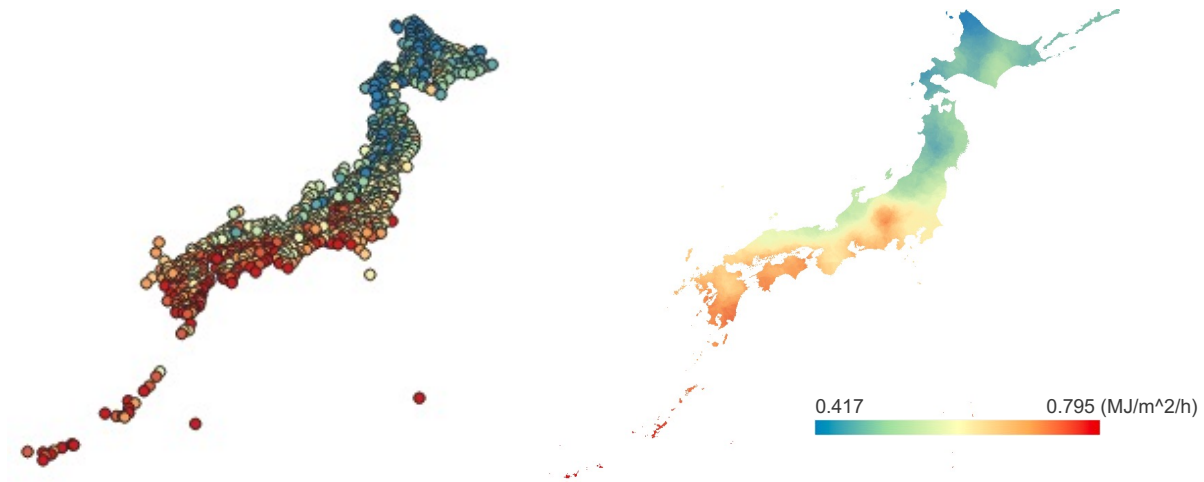


図 4.8 NEDO 日射量データとその補間  
 (出典：NEDO のデータベースをもとに著者作成)

そして、JIS 規格「C8907:2005 太陽光発電システムの発電電力量推定方法」や太陽光発電協会による表示ガイドライン（2021 年度版）などを参照し、以下の推定式で各地点の年間システム発電電力量を計算した。

$$EP_y = K \times PAs \times HA_y / GS$$

EP<sub>y</sub>：年間システム発電電力量(kWh/y)

K：損失係数（日本のメーカーの推定で使われる 0.85 を設定）

PAs：定格容量(kW)

HA<sub>y</sub>：年積算日射量(kWh/m<sup>2</sup>/y)

GS：標準試験強度における日射強度(kW/m<sup>2</sup>)（通常の 1 を使用）

この結果、土砂災害警戒区域と重なる地点では、年間合計 11.5 億 kWh が、洪水浸水想定区域と重なる地点では、年間合計 7.3 億 kWh の推定発電量があることが計算された。この発電所立地データは 2020 年末のものであるため、その時期を含む期間である 2020 年度の太陽光発電による発電量を資源エネルギー庁のデータから引くと、161.8 億 kWh が太陽光発電によって発電されている。2020 年度のすべての電源による発電実績は 8454.1 億 kWh であるから、太陽光発電による発電はこれらの中で、1.9%を占めている。平均として全国で年間 7.1%程度（土砂災害警戒区域と重なる地点）、4.5%程度（洪水浸水想定区域と重なる地点）の発電量の損失が想定しうる。

一方で、これらの割合は 1 年間を通して発電ができなかった場合のものであるため、例えば 1 ヶ月程度で復旧することができれば、その割合はそれぞれ、平均として全国で 0.6%程度（土砂災害警戒区域と重なる地点）、0.4%程度（洪水浸水想定区域と重なる地点）の発電量の損失となる。そうすると、太陽光発電所の設置事業者が、これらの地域に存在する場合はそれに相応な保険をかけ、復旧にかかる時間を減らすことが太陽光発電の供給を減らさないことにつながると示唆される。

また、下図の結果からは、都道府県ごとにその想定される割合が大きく異なることがわかる。すなわち、土砂災害警戒区域と重なる太陽光発電による発電量が多い都道府県と洪水浸水想定区域と重なる太陽光発電による発電量が多い都道府県は異なっている。そのため、自治体がそれらのエリアを把握し、場所ごとに適した制度や対応を取ることが有効と考えられる。

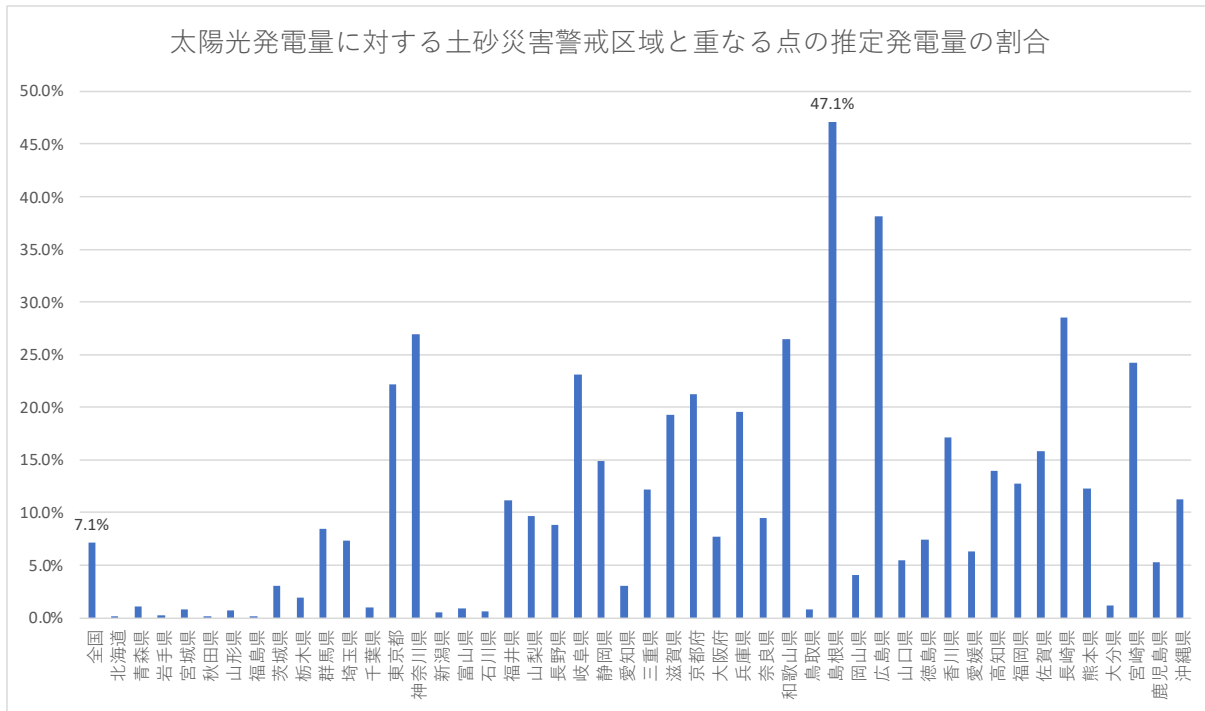


図 4.9 2020 年度の太陽光による発電実績に対する割合（土砂災害警戒区域と重なる地点）  
（出典：著者作成）

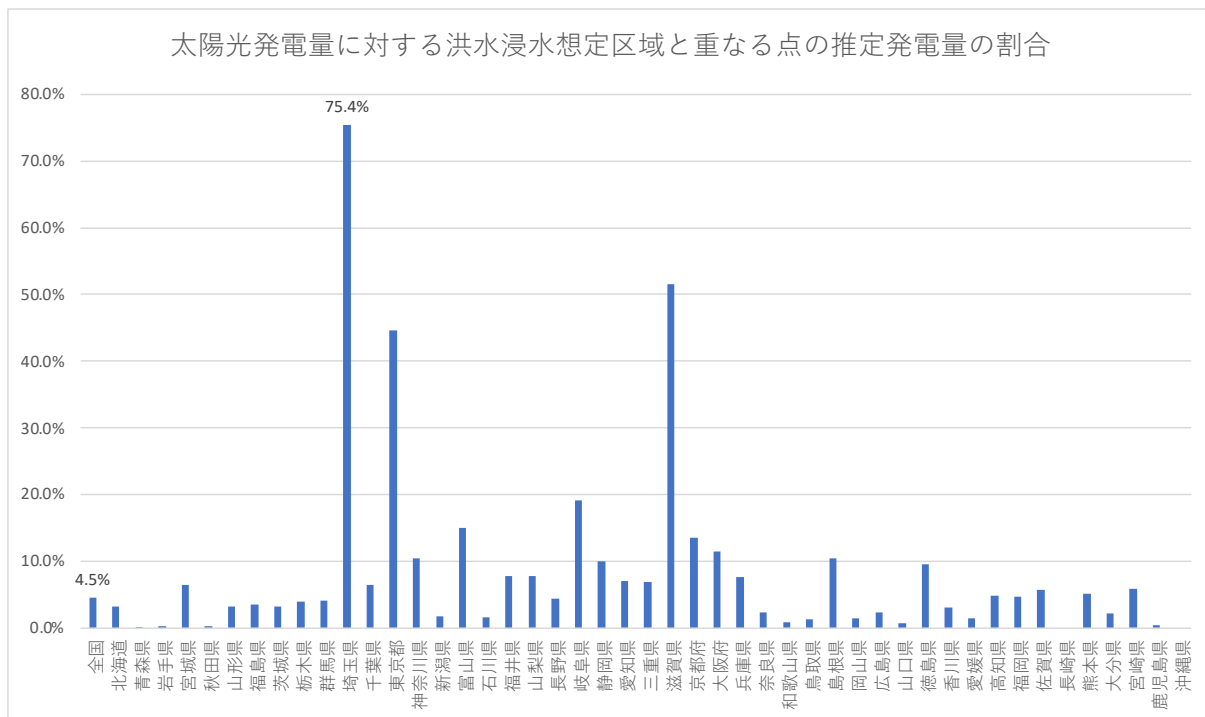


図 4.10 2020 年度の太陽光による発電実績に対する割合（洪水浸水想定区域と重なる地点）  
（出典：著者作成）

#### 4.4 考察：令和元年台風19号の事例

前節で述べた考察は、一律に災害リスクのエリアに建つ太陽光発電所が被害に遭う場合の例を考えている。しかし、当然ながらそのような状況は想定しにくい。そこで、実際の事例として、令和元年の台風19号の際の状況をもとに分析を行った。この台風は、2019年10月に東日本の広い範囲を覆った台風で、各地で甚大な浸水被害をもたらした。令和元年東日本台風との呼称でも知られている。令和2年度版の防災白書によると、10月10日から13日にかけて、神奈川県箱根町で1,000ミリ、その他17地点で500ミリの降雨量を超えたとされる。以下の図の通り、台風によって広範囲で降水量が累積していることがわかる。また、複数の河川が氾濫し、浸水が発生した。国管理河川については6水系7河川で決壊が起こったとされている。

期間降水量分布図（10月10日0時～10月13日24時）

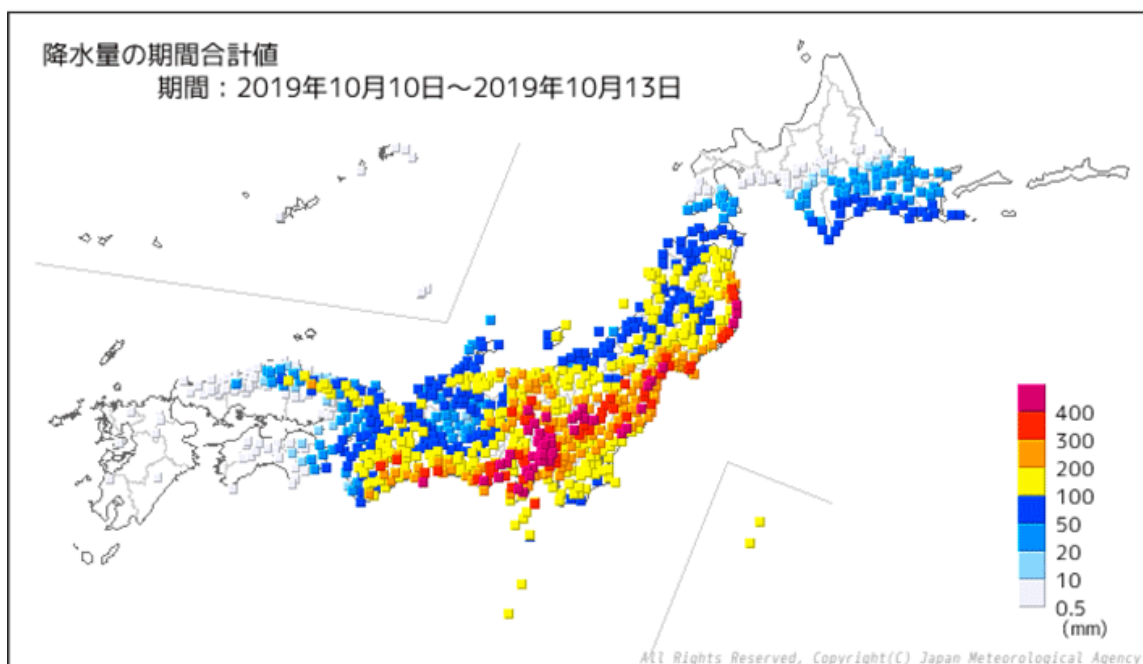


図4.11 令和元年台風19号による降水量  
(出典：気象庁、2019)

この台風による浸水被害のエリアについては、国土地理院が浸水推定図をホームページ上で公開している。千曲川、阿武隈川、久慈川、那珂川、吉田川、荒川水系についてデータが公開されている。データの形式は、Shape ファイル形式及び GeoJSON ファイル形式であり、これら

すべての河川・水系における浸水域をポリゴン形式でプロットしている。それらのデータレコードの総数は 5,557 件である。エリアについては、10 月 13 日時点で撮影された衛星画像と標高データやその他の情報をもとに作成されており、座標参照系 (CRS) 84 が用いられている。国土地理院のウェブページ上では、浸水の深さも示す画像が掲載されているが、ここでは、エリアの情報を利用したため、浸水エリアの境界を表している、ダウンロードしての利用が可能な Shape ファイルを利用した。例えば、阿武隈川と吉田川の浸水推定図の範囲を GIS ソフトの QGIS を用いてプロットすると次の図のようになる。

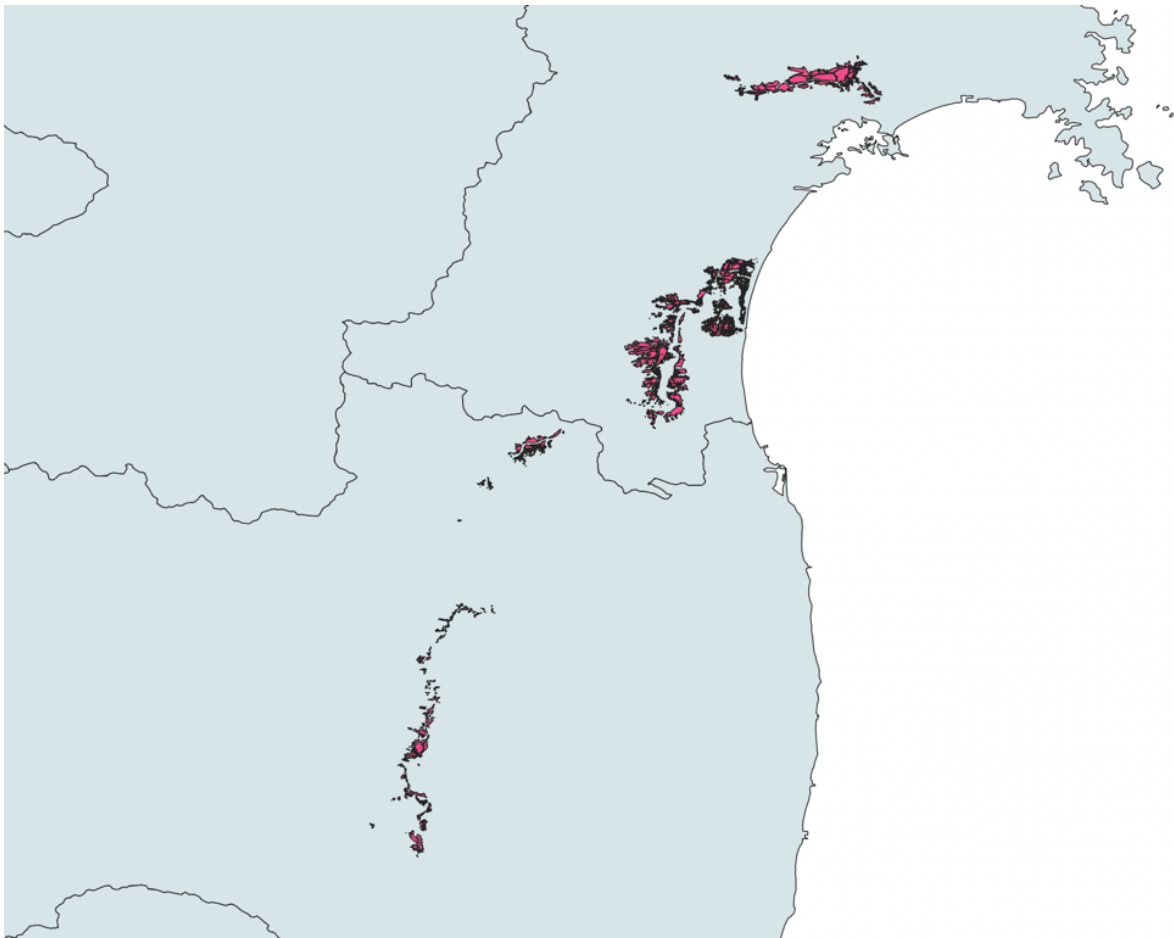


図 4.12 阿武隈川と吉田川の浸水推定図の例  
(出典：国土地理院データ参照、著者作成)

浸水推定エリアのデータと太陽光発電所の立地エリアのデータを掛け合わせることで、浸水した可能性のある太陽光発電所を割り出した。太陽光発電所の立地エリアのデータについて

は、上述の通り、2020年末のものであるため、ここでの推計は、令和元年の台風19号と同じエリアが浸水した場合にどれくらいの太陽光発電所が浸水するかという推定である。

その結果、宮城県で7件、福島県で2件、埼玉県で3件、計12件の立地が確認された。その発電容量の合計はそれぞれ、宮城県で42.8MW、福島県で2.2MW、埼玉県で4.4MW、合計49.4MWであった。前節での推計モデルに当てはめて計算すると、それらの地点の推計発電量の合計は、年間1,146万kWhとなった。1ヶ月あたりに換算すると、95.5万kWh相当である。もちろん、浸水推定エリアに入っていないなくても風雨の影響を受けている発電所は多々あると考えられるが、ここでの分析では浸水推定図で示されているエリアに立地している太陽光発電所を推定することができた。

#### 4.5 まとめ

以上、日本国内の既設太陽光発電所を対象に、地すべりや洪水に起因するリスクを評価するため、地理的な統合解析を実施した。日本国内の災害リスクの地理的データと太陽光発電所の位置データを比較し、災害リスク地域に立地する太陽光発電所の数をGISベースの統合解析により分析を行った。土砂災害や洪水・浸水リスクの高い地域と、これまでに建設された太陽光発電所の立地がどの程度重なっているかに着目し、分析した。

その結果、日本国内の太陽光発電所の総数は9,250地点であり、その中で、土砂災害危険箇所全体と重なる地点は782地点で、これは日本国内の太陽光発電所全体の約8.5%に当たることが分かった。また、全太陽光発電所中、洪水・浸水災害危険箇所と重複している地点は846地点確認された。これは全体の約9.1%に当たる。

さらに、これらの確認された地点について、2つの考察を行った。1つ目は、抽出した太陽光発電所が災害リスクエリアに重なっている地点について、発電量の推定を行い、もし災害が発生した場合に、どれくらいの発電ロスが生じるのかを算出した。地理情報として各地点が示されているため、それらの地点の日射量を推計することで、年間の発電量を算出することができた。その結果から、損失が見込まれる発電量は平均として全国で年間7.1%程度（土砂災害警戒区域と重なる地点）、4.5%程度（洪水浸水想定区域と重なる地点）となることがわかった。また、その割合は、都道府県ごと、及び災害の種別ごとに大きく異なることが示された。

2つ目は、具体的な事例を用いた推計である。令和元年東日本台風の際の浸水域に立地する太陽光発電所を示し、それらについて発電量の推計を行った。その結果、本分析手法で具体的な損失を推定することができることがわかった。

今回の結果は、災害危険区域に相当数の太陽光発電所が立地していることを示すだけでなく、今後の太陽光発電所設置の候補地の議論に資するものであると考える。今後、気候変動問題への対応がさらに重要性を増してくると、再生可能エネルギーを用いた電力の需要はそれに応じて高まってくる。その際に、災害によって発電量が低減するということ为了避免するために、太陽光発電所が立地している地点、あるいは今後立地しうる地点について災害のリスクを併せて検討する重要性が示された。

## 5. 再生可能エネルギーの GIS 分析手法の応用に向けた議論

本章では、前章で論じた GIS 分析手法を日本およびベトナムでの再生可能エネルギーと災害の分析についてさらに応用する方法について検討を行う。

### 5.1 日本の再生可能エネルギーの災害リスク低減

日本の政策では、すでに述べたとおり、将来的に太陽光発電所の数を大幅に増やすことを目標としているため、太陽光発電所をどこに建設するかは重要な課題である。しかし、日本では山間部が多いため、太陽光発電所の設置場所として利用できる平地は限られている。太陽光発電所を建設しやすい平地がなくなれば、次に候補となるのは山間部や傾斜地である。その場合、太陽光発電所の建設地の選定にあたっては、森林破壊などの自然環境破壊だけでなく、土砂災害や洪水災害のリスクも考慮する必要がある。

先行研究では、災害を考慮した建設計画の重要性が指摘されているが (Rediske, 2019)、定量的な分析に基づいている研究は少ない。日本全国に目を向けると、太陽光発電所の立地と災害リスク区域が重なる地点数についての研究は行われていない。本研究の結果は、土砂災害や洪水が発生する可能性が高い地域と、多くの発電所の立地が重なっていることを明示した。

土砂災害については、今後、再生可能エネルギー由来の電力需要が増加した場合に、上記のようなリスクを考慮する必要がある。水害に関しては、太陽光発電の分類、すなわち屋上型太陽光発電と分類されるのか、事業用太陽光発電と分類されるのかの区分が重要な問題となる。水害リスクのある地域では、建物の屋上に設置された太陽光発電パネルの方が被害を受けにくい。一方、平地に設置される大規模太陽光発電所では、将来の潜在的な被害を防ぐために、洪水災害リスクを重要な要素として考慮する必要がある。

本研究は、すでに建設されている太陽光発電所に焦点を当てた。その結果、土砂災害や洪水災害の影響を受けやすい地点に、すでに建設されている発電所が一定数存在することが明らかとなった。この結果は、今後の太陽光発電所の建設計画において、災害リスクを考慮すべきことを示唆するものとして有用であると考えられる。今後、異常気象が頻発することが予想される中、発電所の立地選定において災害リスク要因を考慮することは、より一層重要になってくるだろう。



## 5.2 データに基づく保険システムの構築

今後、日本における太陽光発電所の立地について、どのような解決策が考えられるだろうか。解決策の一つとして、今後新設する発電所はすべて、災害の心配のない場所にすることが考えられる。しかし、今後再生可能エネルギーの需要が急増することが予想されるため、これは現実的な答えとは言えない。別の解決策としては、災害リスクのある地域に太陽光発電所を建設し続ける一方で、災害が発生した場合に備えて保険をかけるということも考えられる。そこで、災害の影響を受けやすい地域のデータをもとに、災害リスクの高い地域の太陽光発電所に対する保険制度を提案したい。本研究の結果、災害リスクのある地域に太陽光発電所が立地していることが判明したため、太陽光発電所のリスクの種類や大きさを評価し、必要な改善を行うことで、太陽光発電所事業者向けの保険システムの開発を支援できる可能性がある。保険は、政府（中央または地方）あるいは民間セクターによって提供できる可能性がある。保険制度は、災害による被害からの迅速な回復を促進し、太陽光発電事業者が直面するリスクを低減させることができる。その文脈で、地方自治体が公平で地域に根ざしたエネルギー転換のために重要な役割を果たすことができるという Fraser（2019）の議論を支持する。

また、災害リスクの高い地域に立地する太陽光発電所の数は、都道府県によって大きな差があることがわかる。各都道府県はその規模や地形、太陽光発電への投資額などにばらつきがある。自治体や民間企業は、これらの違いを適切に把握し、防災の観点も踏まえて、適切な場所での太陽光発電の普及を検討することが必要である。

2021年5月に改正された地球温暖化対策の推進に関する法律では、都道府県が再生可能エネルギーの推進目標を設定し、地域を特定すること（環境省、2021a）と規定されている。どのような場所を自然エネルギーの推進地域とするかは、環境省条令で決められている。ただし、環境省条令は災害リスクの高い地域を除外していない。本稿執筆時点（2021年11月）では、環境省は、災害リスクの高い地域を自然エネルギーの推進地域から除外する方針を有識者と協議して決定する予定である（環境省、2021b）。そのため、今回の太陽光発電所の立地と災害危険地域の重なりに関する分析は、今後予定されている政策議論にも関連する可能性がある。

## 5.3 開発途上国での応用に向けて：ベトナムの例から

日本は自然災害の多い国であり、災害の影響を調べることは必要不可欠である。しかし、今後更なる気候変動が予測される中、これまで災害が少なかった国にも日本での自然災害の影響に関する研究は有意義であると考えられる。また、気候変動による自然災害の増加が予想される途上国で太陽光発電を普及させる際にも、重要な資料となるだろう。例えば、自然エネルギー

一の賦存量が多く有望な再生可能エネルギー市場であるベトナムについて本研究の議論を当てはめるときに課題となるのは、災害情報の整備、再生可能エネルギーの位置情報の整備、そして、災害リスクに対するヘッジの方法である。それらを以下でそれぞれ概観する。

まず、ベトナムは、南北に長い国家で、その東側は海に面している。それゆえ、台風による洪水や浸水の被害が大きい。世界銀行がベトナム政府などと共同で作成した報告書では、沿岸地域に住む 1180 万人が 100 年以内に、あるいは 10 年以内に 10% の確率で洪水の被害に遭い、その住居の 35% が侵食の進む沿岸地域にあるとされている。さらに、そうした海岸沿いの地域は今後の経済発展の牽引役でもあるため、対策が急務である (World Bank, 2020)。また、同報告書では、以下の 2 つのグラフが示す通り、電力網や発電施設に自然災害が被害を及ぼす確率は高くなっている。前者は、森林域に張り巡らされた送配電網が強風に晒される可能性を示している。台風などの強風によって、送配電網が断線することは電力システムに危機をもたらす。後者の図は、ベトナムの発電施設が河川による、あるいは沿岸における洪水のリスクに晒されている状況を示している。さらに、ベトナムでは、各地域のハザードマップも体系的に作成されていないという点にも留意が必要である (JICA, 2015)。

**FIGURE 5.11 >>**

**Exposure to extreme wind speeds of Vietnamese power lines in forested areas**

*Exposed transmission lines*

Sources: Based on data from UNDRR 2015 (typhoon wind speeds) and World Bank 2016 (transmission grid).

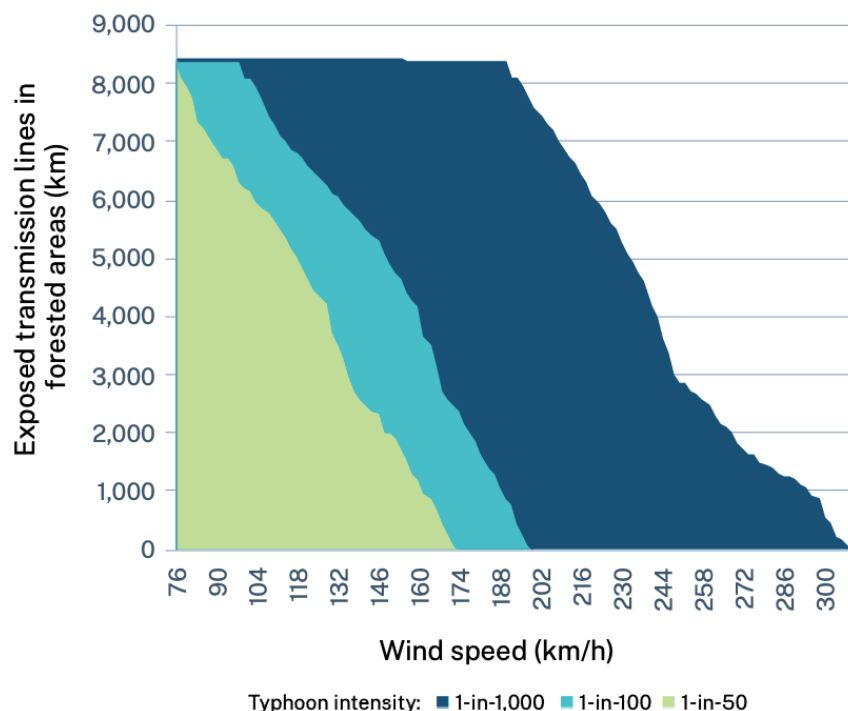


図 5.1 ベトナムの森林域にある送配電網と風速  
(出典：World Bank, 2020)

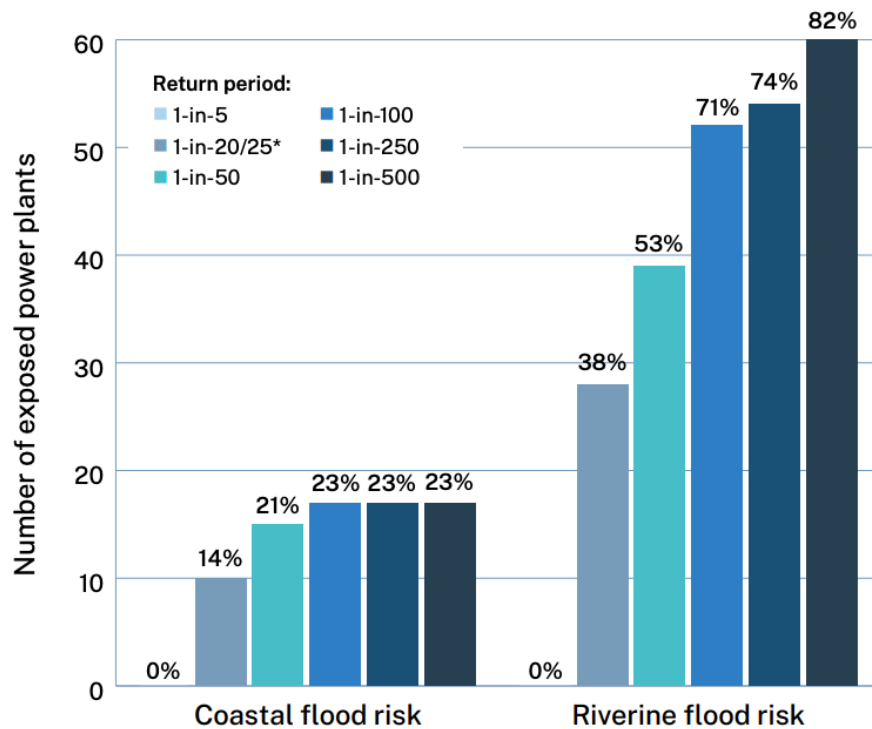


FIGURE 5.12 >>

**Exposure of power plants to riverine and coastal flooding**

Sources: Based on data from Global Energy Observatory et al. 2019 (power plants), Braese et al. 2020 (coastal flood maps) and Fathom (riverine flood maps).<sup>4</sup>

Note: \*Riverine: 1-in-20-year flood, coastal: 1-in-25-year flood.

図 5.2 ベトナムの発電所の洪水リスク  
(出典：World Bank, 2020)

気候変動による気温上昇が進むと水による災害が増加する。そのことは、大気循環モデル (General Circulation Model) の解析からも見てとれる。大気循環モデルは、気候の変化をシミュレーションする数理モデルである。過去に遡ったモデリングや気候変動を加味して将来予測を行うモデリングなどがある。また、モデルのとりデータによって結果が異なる。ここでは、日本・欧州・米国の各機関が提供する気象モデルによるデータを6つ取り上げて、ベトナムの首都ハノイを対象に、降水量の変化を分析した。

具体的には、ハノイの地点として北緯 21.06082 度、東経 105.75 度の地点を対象に、GCM の過去のモデル及び将来予測のモデルに基づくデータを抽出し、その降水量を計算した。まず、過去実験については、気象庁の GCM から過去実験 (HPB) のデータを 60 年間 (1951 年~2010 年) 分抽出し、降水量についてグラフ化及び平均値をとった。その結果、各年の降水量の平均値と最大値について 60 年分の平均をとったところ、それぞれ、平均値は 4.5mm/日、最大値は 15.2mm/日であった。

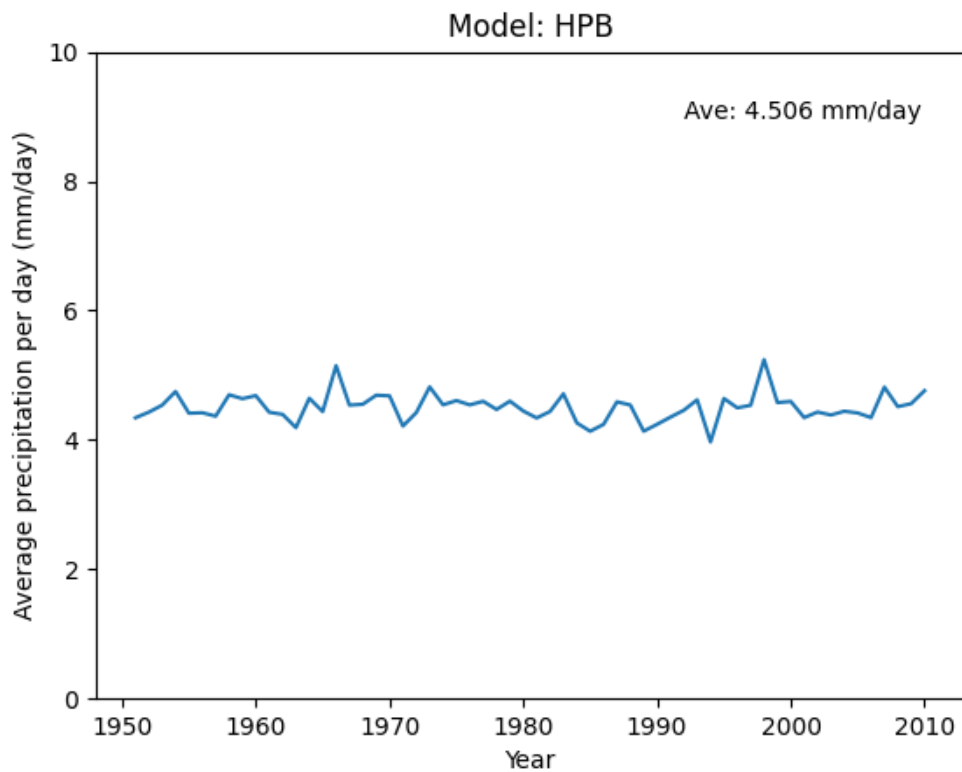


図 5.3 GCM データ（過去実験）を用いた過去の最大降水量推計

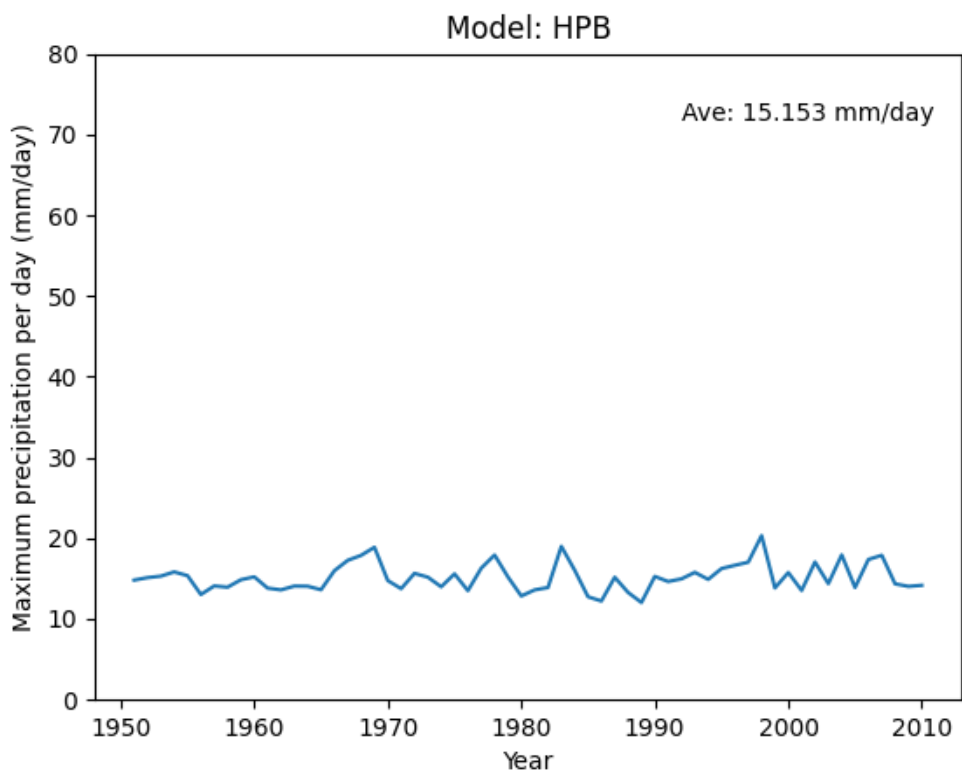


図 5.4 GCM データ（過去実験）を用いた過去の最大降水量推計

同じ要領で将来実験について、世界でよく使われる6つの機関のモデルを用いて、気温が4度上昇した場合の将来の60年間（2051年～2110年）の降水量についてデータを分析した。6つのモデルは、CCSM4 (Community Climate System Model, 米)、GFDL-CM3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 米)、HadGEM2-AO (Met Office Hadley Centre, 英)、MIROC5 (Model for Interdisciplinary Research on Climate, 日)、MPI-ESM-MR (Max-Planck-Institut für Meteorologie, 独)、MRI-CGCM3 (Meteorological Research Institute, 日)である。これらのモデルでそれぞれ15メンバーずつシミュレーションされた結果のデータを抽出した。そして、過去実験と同じく、各年の平均値と最大値について全期間の平均値を算出した。その結果、それぞれ、平均値は5.0mm/日、最大値は28.4mm/日であった。過去実験と将来4度昇温実験の結果を比較すると、平均降水量については10%程度の上昇にとどまるのに対して、最大降水量は90%程度も増加している。降水量の最大値の上昇は災害の増加につながりやすいため、気候変動が進展すると災害の危険性が上がることが示される。

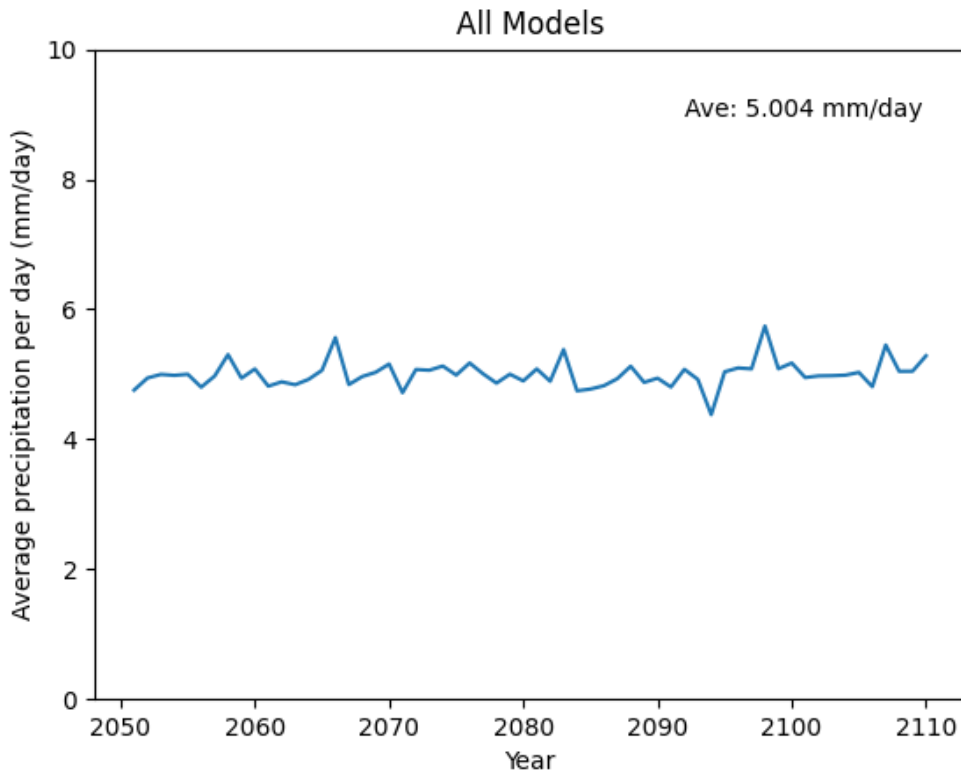


図 5.5 GCM データ（将来 4 度昇温実験）を用いた将来の平均降水量推計

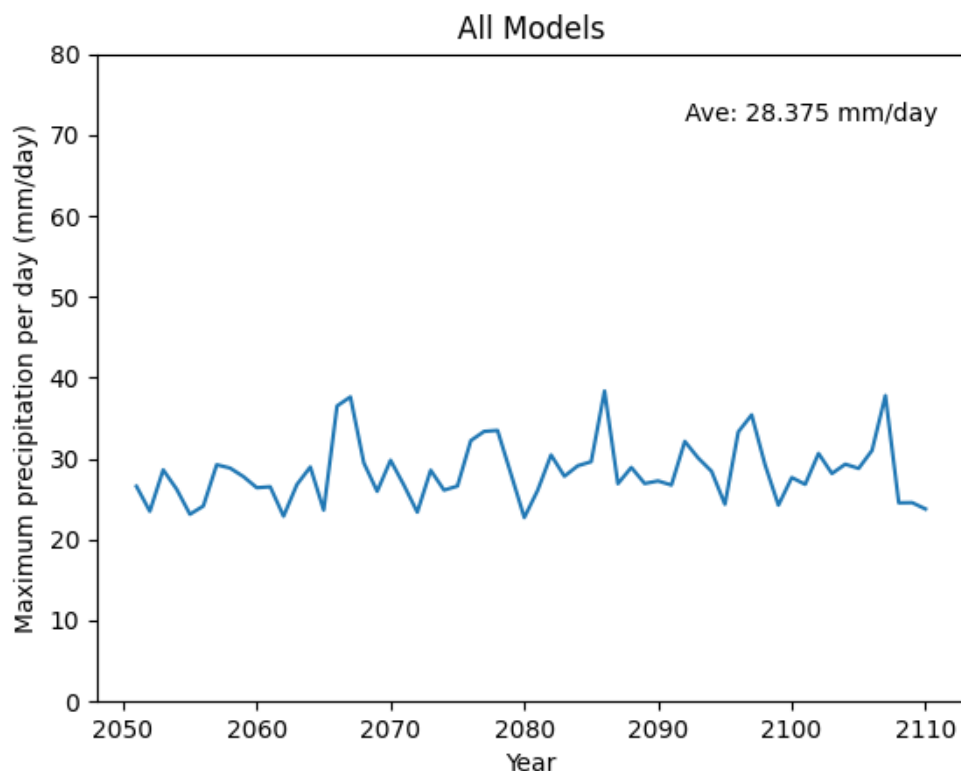


図 5.6 GCM データ（将来 4 度昇温実験）を用いた将来の最大降水量推計

次に、本研究が焦点を当てている再生可能エネルギーの立地の災害リスクについて、ベトナムを対象に分析をする際に大きな壁となるのが、データの利用可能性である。日本の発電所のデータは、国が保有しつつ、GIS 形式のデータベースにはなっていない<sup>10</sup>。しかし、研究者によって、そのデータベースが一般に利用可能な状態になっている。一方で、ベトナムの再生可能エネルギーの立地に関するデータは、GIS 形式で利用可能なものは現時点で存在しない<sup>11</sup>。すなわち、その分析のためには、まず情報が体系的に利用可能なデータベースとして構築され、公開される必要がある。

最後に、ベトナムにおける再生可能エネルギーが災害リスクから免れるためには、その投資の面で、リスクヘッジがなされる必要がある。上記の日本での今後の対策の部分でも述べたように、ベトナムにおいても、各種災害による被害額の想定に基づいた保険制度が有効に機能し

<sup>10</sup> Electrical Japan. <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/>

<sup>11</sup> ベトナムの再生可能エネルギーの情報をまとめている DEVI Renewable Energies (<https://devi-renewable.com/>) への 2021 年 6 月 14 日時点の聞き取りによる。

うる。そのためにも、再生可能エネルギーの立地のデータと災害リスクのデータが整備されることが重要である。

## 6. おわりに：結論と今後の展望

### 6.1 結論

気候変動問題への対策のために、再生可能エネルギーの導入拡大が先進国を中心に急激に進んでいる。一方で、日本のように災害の多い国では、その立地には土砂災害や洪水といったリスクが伴う。国の電源構成に占める再生可能エネルギーの割合が増えるにつれて、こうしたリスクは生活インフラに関係する大きな課題となる。

本論文は、日本の太陽光発電所と災害リスクの所在地を分析し、複数の発電所が災害リスクのあるエリアに所在していることを明らかにした。具体的には、今回対象としたのは土砂災害と洪水である。これらのリスクが存在する地点に太陽光発電所が複数立地していることが明らかになった。太陽光発電所の立地点に関する地理情報データに基づいて、それらの立地点と土砂災害及び洪水を対象とする災害リスクとの地理的な比較分析をおこなった。

その結果、先行研究では示されていない日本全国を対象とした太陽光発電所自体の持つ脆弱性について初めて知見が得られた。また、太陽光発電所の年間発電量の推計により災害が起こった場合の損失を推定し、復旧までの期間を短くすることで太陽光による発電量の低減を防ぎうることを示唆することができた。こうしたリスクの分析に基づいて、国土の限られた中で太陽光発電所の増設に必要な投資を促進するために、ある程度災害発生リスクの存在するエリアに建設する発電事業者のリスクを軽減する保険を推奨する仕組みが必要と提言した。

また、今後、気候変動が進展すると、自然災害のリスクは日本に限らず世界中でさらに大きくなる。その際には、開発途上国はインフラが先進国と比較して整っていないためにより被害を受けることになる。加えて、国際的な世論や支援の背景から、開発途上国においても、今後の経済成長に伴って再生可能エネルギーの導入が進んでいく。現に、ベトナムでもすでに再生可能エネルギーの導入が政府によって推進されている。そうした背景にあって、本論文は、再生可能エネルギーの導入に災害リスクを考慮すべき点を提起している。

### 6.2 研究の課題

台風や強風は太陽光発電所で多くの事故を引き起こすが、台風や強風のリスクは、今回の分析には含まれていない。その理由は、台風の潜在経路が多岐にわたるため、台風リスクと太陽光パネルの設置位置の重なりを示すことが難しいからである。しかし、大神（2019）が示すように、台風や強風が太陽光発電所の事故につながることもある。また、太陽光発電所の設置場



所と風の強さが風力発電所の候補地と競合するという研究も行われている (Obane *et al.*, 2020)。今後の研究では、太陽光発電所の立地に対する台風や強風のリスクについても検討する必要があると考えている。例えば、太陽光発電に被害を与える可能性のある過去の最大風速が一定以上の地域をリスク地域と仮定すれば、本論文で用いた手法は太陽光発電所の強風によるリスク把握に活用することが可能である。また、強風の地域は風力発電に適した地域とも言える。太陽光発電と風力発電の棲み分けという課題については、更なる研究が必要である。

また、今後の研究の方向性として、土砂災害や洪水の危険地域に太陽光発電所がある場合のリスクの度合いを評価するフレームワークを構築することも考えられる。今回の研究では、様々なリスクの度合いを評価することはしなかった。今後、リスクの定量化、あるいは危険地域に太陽光発電所を建設する際の潜在的なコスト算出などの研究が必要であろう。

最後に、この研究を他の地域や国に適用する場合、その地域や国の太陽光発電所の立地情報や災害リスクに関する情報が必要である。日本の場合でも、太陽光発電所の立地に関する情報は限られていた。今後、太陽光発電と災害に関するデータ構築をさらに進めることで、日本だけでなく世界における研究にも寄与することができると考えられる。

## 謝辞

本研究は京都大学大学院総合生存学館（思修館）の博士課程教育リーディングプログラムの研究助成を受けている。本論文は、京都大学大学院総合生存学館のディミター・ヤルナゾフ教授、山敷庸亮教授の指導なくしては完成しなかった。また、寶馨教授の助言から本研究は大きく示唆を得ることができた。ご指導に心から感謝いたします。総合生存学館の先進的な大学院のカリキュラムがなければ、このように学問分野を超えた研究は行えなかった。在学の間には様々な分野の先生方、事務の皆様、そして学生の仲間たちには、お世話になった。すべての方々に御礼申し上げる。

そして、ベトナムでの研究を今回の論文の主題にできなかったことは心残りではあるが、ベトナムでの滞在時には、ベトナムの多くの友人や人々に助けられ、そこで多くの学びを得ことには変わりがない。滞在中に全面的に協力してくれたベトナム国家大学ハノイ校 FIMO センターの Bui Quang Hung 教授や同センターの研究者・学生の皆様、そしてベトナム滞在中にお世話になったすべての人に *chân thành cảm ơn*、感謝の気持ちを伝えたい。

最後に、どんなときでも励まし、力強く後押ししてくれたパートナーの奈々緒と、いつも応援し、見守ってくれた父と母に感謝する。

※本論文の第3章及び第4章の一部は以下の学術論文の内容に基づくものである。

Kazuki Hao, Dimiter Ialnazov, Yosuke Yamashiki (2021). GIS Analysis of Solar PV Locations and Disaster Risk Areas in Japan. *Frontiers in Sustainability*. 2:815986. 1-9.  
doi: 10.3389/frsus.2021.815986.

※本論文の第2章及び付録として掲載しているベトナムに関する研究の内容の一部は、以下の学会で発表された。

Kazuki Hao (2016). Using Community Renewable Energy (CRE) to Achieve Sustainable Development in Vietnam. *15th International Convention of the East Asian Economic Association Conference Proceeding*. p99. Bandung, Indonesia, 5-6 November 2016.

## 参考文献

Bharti, A., Paritosh, K., Mandla, V. R., Chawade, A., & Vivekanand, V. (2021). GIS Application for the Estimation of Bioenergy Potential from Agriculture Residues: An Overview. *Energies*, *14*(4), 898.

Choi, Y., Suh, J., & Kim, S.-M. (2019). GIS-Based Solar Radiation Mapping, Site Evaluation, and Potential Assessment: A Review. *NATO Advanced Science Institutes Series E: Applied Sciences*, *9*(9), 1960.

Díaz, H., & Guedes Soares, C. (2020). An integrated GIS approach for site selection of floating offshore wind farms in the Atlantic continental European coastline. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *134*, 110328.

Disaster Management Bureau, Cabinet Office of Japan. (2018). Report on Flood and Sediment Disaster. Available online: [http://www.bousai.go.jp/kyoiku/pdf/h30\\_tebikisho\\_english.pdf](http://www.bousai.go.jp/kyoiku/pdf/h30_tebikisho_english.pdf) [accessed on 15 November].

Electrical Japan, (2021). Database: <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/type/8.html.ja> [accessed on 15 November 2021].

Electricity Vietnam (EVN). (2013). Annual Report: 2012-2013. <https://en.evn.com.vn/d6/news/Annual-Report-2012-2013-6-13-82.aspx>.

Esteban, M., Zhang, Q., and Utama, A. (2012). Estimation of the energy storage requirement of a future 100% renewable energy system in Japan. *Energy Policy*, *47*, 22-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.078>

Esteban, M., & Portugal-Pereira, J. (2014). Post-disaster resilience of a 100% renewable energy system in Japan. *Energy*, *68*, 756–764.

Fernandes, U., & Costa, M. (2010). Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. *Biomass and Bioenergy*, *34*(5), 661–666.

Fraser, T. (2019). How governance and disasters shape renewable energy transitions: The case of Japanese mega-solar. *Social Science Quarterly*, 100(3), 975–990.

池田裕一編著, 京都大学総合生存学研究会著. (2021). *実践する総合生存学*. 京都大学学術出版会.

International Energy Agency (IEA) (2021a), *Global EV Outlook 2021*, IEA, Paris  
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

IEA (2021b), *Greenhouse Gas Emissions from Energy: Overview*, IEA, Paris  
<https://www.iea.org/reports/greenhouse-gas-emissions-from-energy-overview>

IEA (2021c), Webpage: Renewable electricity capacity growth by technology, main and accelerated cases, 2015-2020 and 2021-2026, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-capacity-growth-by-technology-main-and-accelerated-cases-2015-2020-and-2021-2026>  
[accessed on January 31, 2022]

IEA (2015) Energy access database, *World Energy Outlook 2015*. IEA Publications.  
[<http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energydevelopment/energyaccessdatabase/>, [accessed on August 30, 2016]

IPCC, (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC, (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Itaka, S. (2021). Economic Analysis of Cedar Plantation Management and Mega-Solar Replacement. *Forests*, 12(3), 361. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030361>

岩井紀子, 宍戸邦章. (2013). 東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故が災害リスクの認知および原子力政策への態度に与えた影響. *社会学評論*, 64(3), 420–438.

JETRO Hanoi. (2013). ベトナム 電力調査 2013.

[https://www.jetro.go.jp/ext\\_images/jfile/report/07001271/vietnamelectricity2013-2.pdf](https://www.jetro.go.jp/ext_images/jfile/report/07001271/vietnamelectricity2013-2.pdf)

JETRO Hanoi. (2014). ベトナム 電力調査 2014.

[https://www.jetro.go.jp/ext\\_images/jfile/report/07002018/vietnamelectricity2014\\_201503.pdf](https://www.jetro.go.jp/ext_images/jfile/report/07002018/vietnamelectricity2014_201503.pdf)

JICA. (2015). *Country Report Vietnam Natural Disaster Risk Assessment and Area Business Continuity Plan Formulation for Industrial Agglomerated Areas in the ASEAN Region*.

<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/1000023398.pdf> [accessed on December 17, 2021].

Jordahl, K., Van den Bossche, J., Fleischmann, M., Wasserman, J., McBride, J., Gerard, J., ... Leblanc, F. (2020). *geopandas/geopandas: v0.8.1 (Version v0.8.1)*. *Zenodo*. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3946761>

亀田伸裕, 森信之, 田中邦博, 中山伸介. (2003). GIS を用いた風力発電所立地選定に関する研究. *GIS-理論と応用*, 11(2), 173–178.

環境省. (2019). 太陽光発電施設等に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会報告書. 太陽光発電施設等に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会.

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/110948.pdf> [accessed on 15 November 2021].

環境省. (2021a). 報道発表資料: 地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について. <http://www.env.go.jp/press/109218.html> [accessed November 15, 2021].

環境省. (2021b). 地域脱炭素に向けた改正地球温暖化対策推進法の施行に関する検討会 第1回/ 地方公共団体実行計画策定・実施マニュアルに関する検討会 第1回: 今後の地方公共団体実行計画に関する期待と課題. [https://www.env.go.jp/policy/council/52keikaku-manual/y520-01b/mat04\\_1-1-3.pdf](https://www.env.go.jp/policy/council/52keikaku-manual/y520-01b/mat04_1-1-3.pdf) [accessed November 15, 2021].

川井秀一, 藤田正勝, 池田裕一編. (2015). *総合生存学: グローバル・リーダーのために*. 京都大学  
学術出版会.

経済産業省. (2019). 太陽電池発電設備をめぐる 最近の動向と対応の方向性について. 第 15 回新  
エネルギー発電設備 事故対応・構造強度 WG 資料 3.

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\\_shohi/denryoku\\_anzen/newenergy\\_hatsuden\\_wg/pdf/015\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/015_03_00.pdf) [accessed on 15 November 2021].

Kim, J. Y., Koide, D., Ishihama, F., Kadoya, T., and Nishihiro, J. (2020). Solar PV data: Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats [Data set]. In *Science of the Total Environment* (v1.11, Vol. 779, p. 146475). Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4644036>

Kim, J. Y., Koide, D., Ishihama, F., Kadoya, T., & Nishihiro, J. (2021). Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats. *Science of The Total Environment*, 779, 146475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146475>

Kirschvink, J. L., Gaidos, E. J., Bertani, L. E., Beukes, N. J., Gutzmer, J., Maepa, L. N., & Steinberger, R. E. (2000). Paleoproterozoic snowball earth: extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(4), 1400–1405.

気象庁. (2019). 台風第 19 号による大雨、暴風等: 令和元年 (2019 年) 10 月 10 日～10 月 13 日. [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun\\_sokuji20191010-1013.pdf](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf) [accessed on January 31, 2022]

国土交通省国土数値情報. (2021). 土砂災害警戒区域. [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A33-v1\\_4.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A33-v1_4.html) [accessed on 15 November 2021].

国土交通省国土数値情報. (2021). 洪水浸水想定区域. [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2\\_2.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2_2.html) [accessed on 15 November 2021].

国土地理院. (2019). 令和元年東日本台風に関する情報.

<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html> [accessed on January 31, 2022]

Kwon, D., 三谷康範, 塩田淳. (2020). GIS を用いた災害想定区域にある太陽光発電所の抽出と安全かつ効率的な太陽光発電設置場所の提案手法の構築. 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, セッション ID 05-1P-05, p. 185-186. Doi: [https://doi.org/10.11527/jceek.2020.0\\_185](https://doi.org/10.11527/jceek.2020.0_185)

Lak Kamari, M., Isvand, H., & Alhuyi Nazari, M. (2020). Applications of multi-criteria decision-making (MCDM) methods in renewable energy development: A review. *Renewable Energy Research and Application*, 1(1), 47–54.

Li, A., and Xu, Y. (2019). The governance for offshore wind in Japan. *Energy Procedia*, 158, 297-301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.092>

Li, A., Xu, Y., and Shiroyama, H. (2019). Solar lobby and energy transition in Japan. *Energy Policy*, 134, 110950. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110950>

Lozano-García, D. F., Santibañez-Aguilar, J. E., Lozano, F. J., & Flores-Tlacuahuac, A. (2020). GIS-based modeling of residual biomass availability for energy and production in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109610.

Meese, D. A., Gow, A. J., Alley, R. B., Zielinski, G. A., Grootes, P. M., Ram, M., Taylor, K. C., Mayewski, P. A., & Bolzan, J. F. (1997). The Greenland Ice Sheet Project 2 depth-age scale: Methods and results. *Journal of Geophysical Research*, 102(C12), 26411–26423.

長山浩章. (2010). ベトナム電力セクターにおける改革の取り組みとその評価. *商学論集*. 79(3). 福島大学経済学会.

NEDO. 日射に関するデータベース. Website: <https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html> [accessed on January 31, 2022]

Nguyen, N. T., and Ha-Duong, M. (2009). Economic potential of renewable energy in Vietnam's power sector. *Energy Policy*, 37(5), 1601–1613.

西尾健一郎, 大藤建太. (2018). CO<sub>2</sub> の長期大規模削減とロックイン問題: 家庭用給湯器の事例にもとづく考察 (特集 温暖化対策はどうあるべきか: 国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討)-(長期低排出発展戦略: ゼロ排出の将来に向けて). *電力経済研究*, (65), 136-144.

Obane, H., Nagai, Y., and Asano, K. (2020). Assessing land use and potential conflict in solar and onshore wind energy in Japan. *Renewable Energy*, 160, 842-851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.018>

大神広記. (2019). 事業用太陽電池発電設備の自然災害での事故事例. 廃棄物資源循環学会誌. 30(6). p. 408-412. DOI: <https://doi.org/10.3985/mcwmr.30.408>

QGIS.org. (2022). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

Rediske, G., Burin, H. P., Rigo, P. D., Rosa, C. B., Michels, L., & Siluk, J. C. M. (2021). Wind power plant site selection: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111293.

Ritchie, H., and Roser, M. (2020a). "CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions". *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> [Online Resource] [accessed on December 14, 2021].

Ritchie, H., and Roser, M. (2020b). "Energy". *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/energy>' [Online Resource] [accessed on January 31, 2022]

Sahu, A., Yadav, N., and Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>

Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403.

資源エネルギー庁. (2021a). The 6<sup>th</sup> Strategic Energy Plan. Available online: [https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic\\_plan/pdf/6th\\_outline.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/pdf/6th_outline.pdf) [accessed on 15 November 2021].



資源エネルギー庁. (2021b). 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト: <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> [accessed on 15 November 2021].

Voivontas, D., Assimacopoulos, D., & Koukios, E. G. (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, 20(2), 101–112.

塩田淳, 多田安友実, 山田周平, Pawita Bunme, 三谷康範. (2019). 太陽光発電分野への地理情報システムの適用における課題解決と今後の課題の検証. *電気関係学会九州支部連合大会講演論文集*. セッション ID 02-2P-08, p. 470-471. DOI: [https://doi.org/10.11527/jceek.2019.0\\_470](https://doi.org/10.11527/jceek.2019.0_470)

Svensson, A., Nielsen, S. W., Kipfstuhl, S., Johnsen, S. J., Steffensen, J. P., Bigler, M., Ruth, U., & Röthlisberger, R. (2005). Visual stratigraphy of the North Greenland Ice Core Project (NorthGRIP) ice core during the last glacial period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D2).

田畑智博. (2019). 自然災害に伴う太陽光発電システムの被害. *廃棄物資源循環学会研究発表会講演集*. 30. セッション ID A1-7-P, p. 13. DOI: [https://doi.org/10.14912/jsmcwm.30.0\\_13](https://doi.org/10.14912/jsmcwm.30.0_13)

Taguchi, T., & Tanaka, K. (2013). Smart Grid and Emergency Power Supply on Systems with Renewable Energy and Batteries: A Recovery Planning for EAST JAPAN Disaster Area. *Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference 2013*, 1127–1136.

高島太郎, 中島敦司, 湯崎真梨子. (2014). 和歌山県の耕作放棄地における太陽光発電および風力発電の導入可能性に関する研究. *環境情報科学論文集*, ceis28, 167–172.

United Nations. (2015). Paris Agreement. Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. [accessed on December 17, 2021]

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021). A Brief Guide to Renewables. Web article: <https://unfccc.int/blog/a-brief-guide-to-renewables> [accessed on November 24, 2021].

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Webpage: Status of Ratification of the Convention. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/status-of-ratification/status-of-ratification-of-the-convention> [accessed on December 14, 2021].

U.S. Energy Information Administration (USEIA). (2016). Access detailed international energy data (country and region specific) Database: <https://www.eia.gov/international/data/world>

Viana, H., Cohen, W. B., Lopes, D., & Aranha, J. (2010). Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Applied Energy*, 87(8), 2551–2560.

World Bank. (2020). *Resilient Shores: Vietnam's Coastal Development Between Opportunity and Disaster Risk*. Retrieved December 17, 2021, from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34639>.

World Meteorological Organization (WMO), (2021). WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019) (WMO-No. 1267).

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, 35(5), 2683–2691.

Zambrano-Asanza, S., Quiros-Tortos, J., & Franco, J. F. (2021). Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110853.

Zhou, S., Li, Y., Chi, G., Yin, J., Oravec, Z., Bodovski, Y., Friedman, N. P., Vrieze, S. I., and Chow, S.-M. (2021). GPS2space: An Open-source Python Library for Spatial Measure Extraction from GPS Data. *Journal of Behavioral Data Science*, 1(2), 1–29. DOI: <https://doi.org/10.35566/jbds/v1n2/p5>

Zyadin, A., Natarajan, K., Latva-Käyrä, P., Igliński, B., Iglińska, A., Trishkin, M., Pelkonen, P., & Pappinen, A. (2018). Estimation of surplus biomass potential in southern and central Poland using GIS applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 204–215.

## 付録

### A. ベトナムでのマイクロレベルのエネルギー調査（2015年～2016年実施）<sup>12</sup>

#### A.1 ベトナムのコミュニティレベルでの再エネ導入の事例分析

ここでは、再生可能エネルギーが導入されている事例を取り上げて、それがもたらす利益の構造を分析する。まず、ベトナムの行政構造からコミュニティの位置付けをする。次に、ベトナムのコミュニティレベルでの再エネ導入の概観を述べる。第三に、企業を主体とする再エネ導入の事例について分析結果を述べる。第四に、家計を中心にした再エネ活用事例について分析結果を述べる。その上で、フィールド調査中に発見されたコミュニティでの再エネ活用の萌芽について触れ、将来的な展望としてまとめる。

##### A.1.1 コミュニティレベルでの再エネの現状

地域コミュニティのレベルで再生可能エネルギーを導入する意義は、本論文で多くの紙面を割いて論じてきた通り、環境問題の解決に資するばかりではなく、地域経済・社会の発展への寄与、エネルギー・アクセスの向上などにも資すると考えられる<sup>13</sup>。ここでは、再生可能エネルギーが、ベトナムの地域コミュニティで実際にどのように導入されているのかを分析し、そこから問題点を浮かび上がらせていくのが目的である。

##### A.1.2 ベトナムの地方行政

具体的な事例分析を行う前に、ベトナムの地方行政の構造がどうなっているのかを簡単に把握する。ベトナムには地方自治制はない。ベトナムの地方行政の構造は<sup>14</sup>、下図のように、中央政府を頂点とする四層のピラミッド構造になっている。強固な中央集権構造である。それぞれのレベル、つまり省レベル、県・市レベル、町・村（コミュニオン）レベルには、人民委員会と人民評議会が存在している。それぞれ、委員会が行政府であり、評議会は議会の役割を果たす。どちらも、地方自治体の機関ではなく、国家機関として位置付けられている。人民委員会は、上位機関と、同じレベルの他の機関による指示・指導に対して責任を取る必要がある。こ

---

<sup>12</sup> 本付録は、大学院プログラム3年次（2016年度）のQE2時に提出した論文草稿の一部を抜粋したものである。

<sup>13</sup> Sathaye *et al.* (2011), p 715.

<sup>14</sup> 池田 (2004), pp 10-13.

のことを指して、「二重の従属」と呼ばれ、ベトナムの行政が潤滑にいかない場合の理由とされることがある。他方、人民評議会は、公式には選挙による選出ということになっているが、実質的には共産党員のみが選出される。これらを鑑みると、コミューンレベルでの行政組織である人民委員会は、県・市の上位レベルの行政組織と、コミュニティ住民の意見を完全に反映しているとは言えないコミューンレベルの評議会の指導とそれらへの説明責任を有することになる。そうだとすると、コミューンの人民委員会は必然的にコミュニティの主体性というものを体現できないということになる。

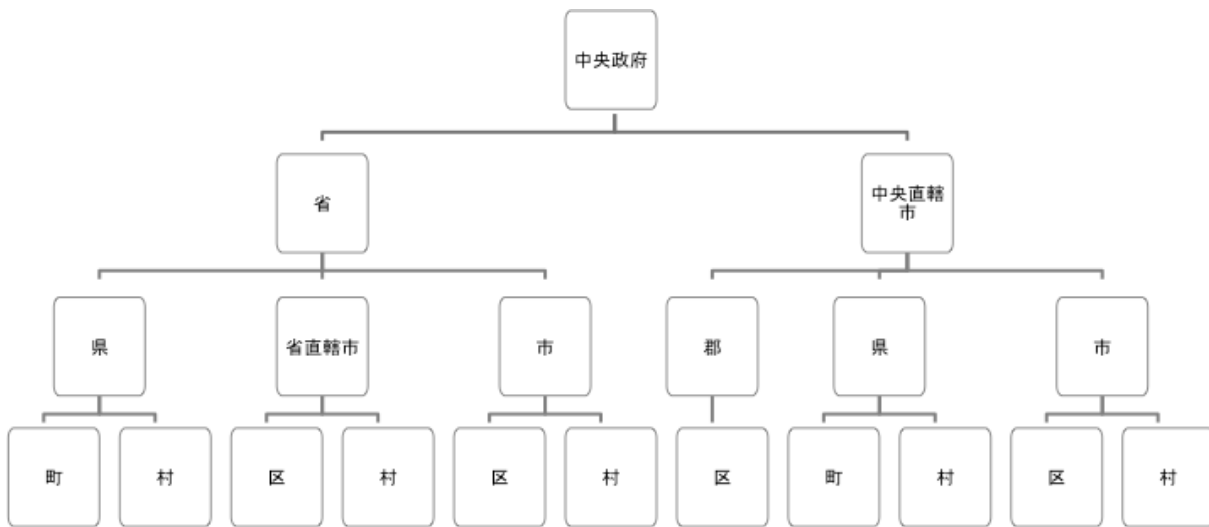


図 A.1 ベトナムの行政構造<sup>1</sup>

また、本論に関わる点として、ベトナムの地方税制についても触れておく。ベトナムの地方税制は、1996年、2002年、及び2015年に改正された国家予算法により規定されている。2016年まで有効であった2002年国家予算法は、省レベルでの予算権限を強化するものであった。それまで省・県・社レベルで曖昧に割り当てられていた権限を省レベルに集めて、賞ごとの経済ニーズ等に対応できるようにした<sup>15</sup>。2015年国家予算法でも、省レベルでの地方予算権限が与えられているのは変わらない<sup>16</sup>。加えて、省レベルでの予算も、中央レベルでの許認可が必要となる点においては、根本的な権限が国にあるということも指摘できる。

<sup>15</sup> 内村 & 高野 (2009).

<sup>16</sup>

法律第83/2015/QH13号「第9条：収入源・支出任務の管理分級原則及び各予算級の関係」では「1.中央予算、各地方政権級の予算は、具体的な収入源と支出任務が分級される。」及び「3.地方予算は、振り分けられた支出任務を主体的に実現できるように収入源が分級される。省級人民委員会は自己地域における

### A.1.3 地域での再エネ導入の主体

ベトナムにはコミュニティという行政単位が欠如している。これは、エネルギーの面から見ても同様のことが言える。つまり、すでに前章で述べた通り、ベトナムで企業により発電される電力は全て国有電力企業である EVN に売電される。加えて、その発電所の設置認可等は省レベルで行われる<sup>17</sup>。また、ベトナムの税制の規定から、そのプロジェクトが立地するコミュニケーションレベル、及び県・市レベルでの財政権限はないと言える。そのため、たとえ再生可能エネルギーのプロジェクトが当該地域で行われたとしても、直接的な地域（コミューン及び県）の税収となるわけではない。そういう意味でも、コミュニティが主体となって再エネ事業を行ったり誘致したりするインセンティブには十分に欠ける。

そうした場合、地域での再エネを導入実行するのはどのような主体・アクターであろうか。それは、以下で具体例を見ていくことで明らかになるように、企業及び NGO と家計である。企業にとっては、国が再生可能エネルギー導入を促進するために行っている政策を使うことで事業利益を上げることができる。NGO は、再生可能エネルギーの導入促進を行う企業を支援することで、コミュニティの参画や貧困の削減、環境保全などを達成するという目的がある。家計レベルでは、再生可能エネルギー導入の利点として、その家計が使用する LP ガスや薪といったエネルギー源にかかる直接的・間接的（機会）費用を削減することができる。それぞれについて、より詳細にその構造を概観する。

### A.1.4 企業及び NGO を主体とする再生可能エネルギー

企業を主体とする再生可能エネルギーはすでに述べたように、全て国有電力企業である EVN に売電される。その導入に政府の支援がつくことはすでに前章で述べた通りである。逆にいうと、政府の支援がついていないタイプの再生可能エネルギーは経済的に現状では成り立たないということでもある。具体的に行われている種類は、小規模水力発電、バイオマス発電、及び風力発電である。太陽光発電に対する固定価格買取制度が策定され、今後実行に映されていく

---

各級の経済社会管理階級、国防・安寧、管理能力に応じて収入源・支出任務の分級を決定するものとする。」とされている。

<sup>17</sup>

一部のプロジェクトでは、国の省庁の認可が優先されるという指摘もある。つまり、資源環境省(MONRE)の認可を得ずに、農業農村開発省(MARD)の許可によって小規模水力発電のための森林伐採を行う、などである。

と考えられるが、現時点での太陽光発電は存在しない<sup>18</sup>。前章第3節で述べたように、小規模水力発電に対してはACTが、バイオマス発電（バガス使用）と風力発電に対してはFITが適用される。これらの事業は主に、民間の国内企業によって行われている。

環境NGOによる支援も見られた。前章で触れたVietnam Sustainable Energy Allianceは再エネ事業に積極的であるように思われる<sup>19</sup>。海外の支援機関（及びそのベトナム支部）によって財政的な援助を受けて、コミュニティでの貧困削減に資するようなプロジェクトを支援している。次節で詳しく述べるが、これは将来の「エネルギー自治」に向けた萌芽と見ることもできるかもしれない。

#### A.1.5 家計レベルでの再生可能エネルギー

家計レベル、特に農村域の家計による再生可能エネルギーは、一般に先進国で考えられている以上に浸透しているということができるだろう。それは、これらの地域では、長らく伝統的なバイオマス資源を有効に活用する文化が残っていたということに起因する。そもそも、当然のことながら、これらの地域では電気を使うという事はあまりなかった。そうした場合、家計で使用されるのは、薪などの伝統的バイオマス資源である。薪を使用するためには、木材を拾いにいくという労働を行わなければならない。このような背景に加えて、農村域では、豚や鶏などの家畜を飼育しているところが多い。これらの家畜は、尿尿を排出する。それは汚臭を発生するため、自身を含む近隣住民の不快感をあげる。これらの条件に、バイオガスの熱源利用という技術が加わることで、バイオガスシステムは農村域で爆発的に普及した。ある調査研究では、300万の設備が導入されているという<sup>20</sup>。

バイオガス以外にも、家計レベルでの導入が見られる再生可能エネルギーとしては、超小規模水力発電、太陽熱温水器などが挙げられる<sup>21</sup>。それらの特徴として挙げられるのは、次の点である。すなわち、家計内での使用に限定され、金銭的な利得を直接得ることではなく、それ

---

18

厳密にいうと、Intelがホーチミン市の工場内での使用目的で設置した太陽光発電設備は存在する。しかし、これは工場内のみでの使用を目的としているものであるため、本論の趣旨から外れる。

19

例えば、2015年6月には、Energy and the Poorというシンポジウムがこれらの組織によって行われていた。再生可能エネルギーによる貧困削減は、途上国でよく見られる取り組みであると述べたが、これはその典型的なものであると言える。

<sup>20</sup> Meier *et al.*, (2014).

21

2015年6月のThai Binh省での調査では、小型の風力発電機を自家製作詞で使っていたと言っていた家計が一つあったが、それは例外として排除した。

によって削減される電力代やガス代、及び薪集めの機会費用などの削減を目的としている、という点である。加えて、バイオガスの事例では、家畜の尿尿を分解しておしゅうを抑えるという生活環境改善の目的もある。むしろ、多くの家計での調査では、この目的が本来の目的であったことがわかった。

次節では、それぞれ、企業を主体とする再生可能エネルギーと、家計レベルでの再生可能エネルギーの導入事例をそれぞれ分析していく。

## A.2 企業を主体とする再生可能エネルギーの事例分析

ここでは、上記の分類に基づき、小規模水力発電と二つのバイオマスの事例を取り扱う。この二つの電力源は、ベトナムの再エネの大部分を占める。風力発電も政府の固定価格買取政策により存在しているが、その規模は現時点では限られている。もちろん、風力発電のポテンシャルは高いとされているので、制度改革などによりさらに導入が進むと考えられる。今後の研究で分析を行いたい<sup>22</sup>。

以下で取り上げる事例は、第一に、Hoa Binh 省の小規模水力発電事業である。2015 年 6 月に行った現地調査に基づいている。第二に、Tay Ninh 省のバイオマス発電事業である。2016 年 5 月に行われた調査に基づいている。第三に取り上げるのは、Thai Binh 省の NGO の支援によるバイオガスプロジェクトである。2015 年 4 月に行われた調査に基づいている。第一、第二の事例は、政府の支援政策を用いて行われている事業である。これらのタイプのプロジェクトとして、典型的なものであると言えるだろう。一方で、第三のバイオガスプロジェクトは、NGO が養豚業者と人民委員会を支援して行われたプロジェクトであり、Local Energy Planning と呼ばれるプログラムのうちのの一つである。これまで述べてきた「エネルギー自治」には程遠いが、コミュニティ利益を志向したものとして興味深い事例である。

### A.2.1 Hoa Binh 省の小規模水力発電

#### 概要

Hoa Binh 省はベトナム北部に位置する省である。首都ハノイから 80km ほど内陸に入ったところにある。この省の Cao Phong 県に、本節で取り上げる小規模水力発電所がある。

この発電所は、Van Hong 社（本社は Hoa Binh 市）によって 2009 年に着工し、2011 年に竣工、稼働を始めた。建設費は約 3000 億ベトナムドン（1300 万米ドル相当）であった。発電機 3

---

<sup>22</sup> ベトナムの風力発電に関しては、Luong (2015)などで最新の研究状況が論じられている。

台で合計 2.7MW の容量を持っている。水量は豊富にあり、ほぼ常時稼働しているとのことであった。残念ながら売電価格は聞くことができなかった。

この発電所を経営している Van Hong 社は政府の税制に基づき、省政府に対して法人税を納めている。その税額は、すでに述べた優遇税制に基づく。すなわち、営業開始から 4 年間は全額免除であり、その後の 9 年間は半額免除の 11%を支払う。省政府はその下位組織である県政府、人民委員会に対して指導や予算分配を行う。人民委員会は村民に対して、電力費用の補償を行う。また、Van Hong 社も村民に対して土地補償を行う。その構造は下図に示すとおりである。

表 A.1 小規模水力プロジェクトの概略<sup>23</sup>

所在地	Cao Phong district, Hoa Binh province
オーナー	Van Hong Company 本社はHoa Binh省
運用開始	2011年 (2009年より許可を受け建設開始)
容量	2.7MW
建設費	300,000,000 VND (約15,000 US\$)
収益	非公開 (ただし、電力はEVAに対してAvoided Costで売電。季節や需要により変動するが、およそ620VND/kWh、約30USD/MWh)

<sup>23</sup> Van Hong社に対するインタビュー (2015年6月)、及びEVNのウェブページ：  
<http://www.nldc.evn.vn/newsg/3/1509/Ban-hanh-Bieu-gia-chi-phi-tranh-duoc-va-khung-gia-phan-dien-nam-2015/default.aspx> (2015年11月4日アクセス。)をもとに作成。



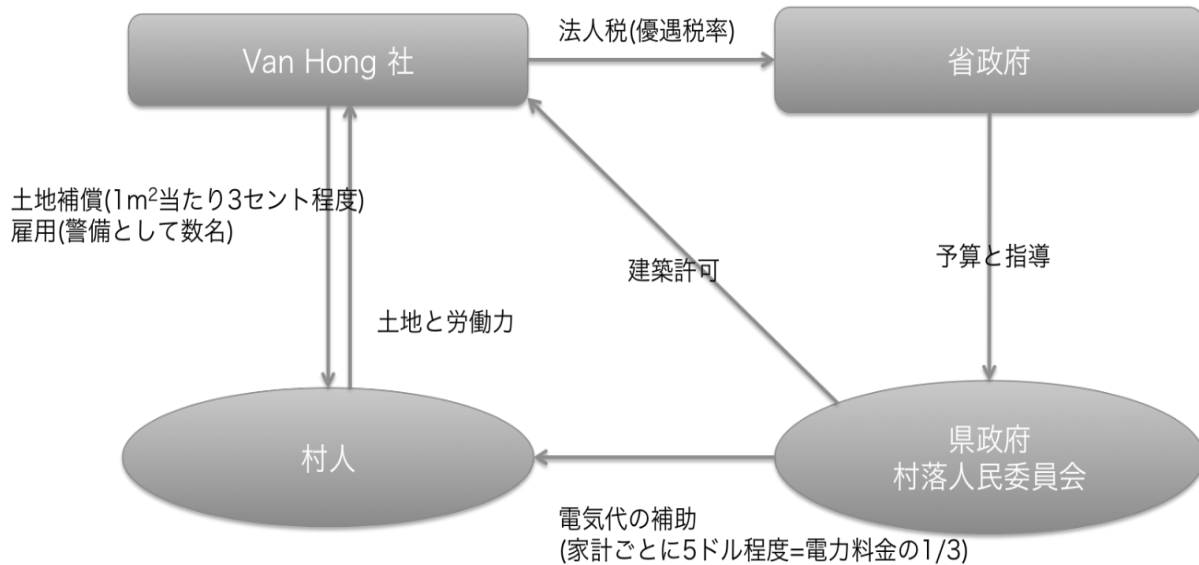


図 A.2 小規模水力プロジェクトの構造<sup>24</sup>

### 地域への利益

このモデルにおいて、地域への利益は非常に限られていると言わざるをえない。最たる理由は、再生可能エネルギーとして導入している電力は、一旦 EVN に対して売電され、そこから再び配電されることになるからである。確かに、電力価格に対する補償は地域の人民委員会によってなされる。1ヶ月あたり 100,000 ベトナムドン（およそ 5 米ドル）が電力の補助として支払われる。しかし、土地補償はわずかであり、そもそも再生可能エネルギーを導入しながら、その電力が EVN に売電されたのち、再び村に配電されるのは非効率であるからである。

### 問題点

これまで見てきたこの小規模水力発電は、地域への利益還元という意味であまり有効ではなく、環境保全の点においても効率的ではない。その理由は以下の 4 点があげられる。第一に、住民への補償が曖昧かつ限られている点である。住民への補償は、土地収用に対する補償と各家庭への電力費用の補助がある。しかし、特に土地収用補償の額は僅少であり、またいつまで補償されるのかといったことが不明である。第二、再生可能エネルギーのプロジェクトであるのに、電力をグリッドに繋げて EVN に売電しなければならないという制約から、2 次的な環境問題を起こす原因となってしまう点である。これは、省庁間の責任の所在が不明であるということも原因の一つである。つまり、山間部の森林は MARD の管轄、河川水質の管理は

<sup>24</sup> IoE、Van Hong 社、及び村民に対する聞き取りをもとに著者作成。

MONRE の管轄であるが、電力は MOIT の管轄である。そのため、たとえこの事業による森林の伐採は MARD の許可を得る必要があるとしても、MOIT の上層とのコネクションがあることでその許可なくプロジェクトが遂行できる、といった事態が起こるのである。第三に、電力をグリッドに出力したのち、再度各住民に対して EVN から売電されるからである。これは法的に定められていることであるが、非効率を生んでいると言える。第四に、住民の主体性やキャパシティーの欠如ということがあげられる。ベトナムの地方政治には、地方自治制は存在しない。それが主因となって、コミュニティが主体となる再生可能エネルギーのプロジェクトは達成できていない。第四点目は、少し質が違う問題である。それは、国家による潜在的な強制という意味合いのものである。どういうことかということ、(大規模) 水力発電はこれまで国家プロジェクトとして行われてきた。国家プロジェクトであるので、一党独裁の社会主義国家にあって、住民は政府の決定に従わざるをえない。この感覚が住民に残っているために、それが企業による小規模な水力発電事業であっても、国家プロジェクトであると勘違いして、住民はあまり反発し、補償を強く求めるということをしていない傾向にある、という点が指摘されていたのである<sup>25</sup>。これらの4点の問題点が、ベトナムが地域での開発を進めている小規模水力発電には見られるのである。

#### A.2.2 Tay Ninh 省のバイオマス発電

##### 概要

Tay Ninh 省はベトナム南部に位置する省である。ホーチミン市から北西に 100km 程度の位置にある。ホーチミン市と同じく、熱帯モンスーン性の気候で、雨季と乾季がある。

この省の省都である Tay Ninh 市の北に接している Tan Chau 県に、ここで取り扱うバイオマス発電工場がある。この工場は、Thanh Thanh Cong (TTC) Group という国内企業グループの一つである Thanh Thanh Cong Tay Ninh Sugar JSC (TTCS) という製糖工場の敷地内にある。TTC 傘下の企業によるバイオマスの発電容量は、同社ホームページによると、ベトナムでのバイオマス発電容量の 63% を占めるとされている<sup>26</sup>。その一つが、Tay Ninh 省の発電所、TTC Sugat Thermoelectric Center で発電されている。概要は以下の表に示した通りである。資本の所有者は、親会社である TTCS である。この発電設備は、2010 年から稼働しているとのことであった。発電容量は 12MW のタービンを 2 機使い、合計で 24MW である。個別の建設コストの情報

---

<sup>25</sup> Dr. Nguyen Thi Hoan Lien, Vietnam National University (VNU), University of Scienceによる聞き取り調査。2015年6月27日の VNUでのミーティングでの報告。

<sup>26</sup> <http://www.ttcgroup.vn/en/business-sector/energy/> (2017年1月15日アクセス。)

は得られなかったが、FITの制度で採算が取れているという話であった。電力は、11月から4月のバガスが産出されるシーズンのみの売電であり、それはFIT価格の1kWhあたりおよそ1200VNDである。1kWhあたり120VNDの利益であるとのことであった。

表 A.2 Tay Ninh 省のバイオマス発電所の概要<sup>27</sup>

<b>Name</b>	<b>TTC Sugar Thermoelectric Center</b>
<b>Location</b>	Tan Hung village, Tan Chau district, Tay Ninh province
<b>Owner</b>	TTC Tay Ninh Joint Stock Company - Private domestic company
<b>Operation</b>	started from 2010
<b>Capacity</b>	24 MW (12MW × 2turbines) using Bagas 95% and Rice husk 5% Total production 40,000MWh/year
<b>Initial cost</b>	Couldn't get information (now asking) All factories cost 100 mil USD
<b>Profit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sells all electricity to EVN from November to April</li> <li>- at the price of 1,200VND/kWh (FIT price)</li> <li>- profit is about 120VND/kWh (4.8 bil VND per year on calculation)</li> </ul>

### 地域への利益

バイオマス発電所の概要については上述した通りである。その地域への利益をしてみる。それは、従業員として30人の技術者を運用期間のみ雇用していることである。このうちの7割は隣のTay Ninh市（省都）の大学卒で、残りの3割は地元の県（Tan Chau県）からの雇用であった。この点について言えば、地元地域での雇用創出がある程度なされているといえるだろう。しかし、すでになんども述べているように、この工場で発電された電力は全てEVNに売電される。また、その利益にかかる税金（法人税）は減免期間が終わったら、省政府により徴収されて、国家によって再分配されるという点で、県レベルでの誘致等のインセンティブが働いているわけではない。実際、この会社のTay Ninhの工場は、フランス資本のBourbonという会社から当社が買い取ったものであったという経緯がそれを示している。

<sup>27</sup> Thermoelectric Center長への聞き取りとホームページの情報による。

## 問題点

聞き取り及び見学から示された問題点の一つに、発電所の排熱による農業への影響が指摘されていた。発電所からの熱を持った排水は、近くの貯水場にプールされる。そこでの温度変化が周囲の農業に影響を与えている可能性があることが指摘されていた。

### A.2.3 Thai Binh 省の「コミュニティバイオガス」プロジェクト

#### バイオガス導入の現状

バイオガスは再生可能エネルギーの分類に含まれない。また発電が行われるわけでもない。家畜から発生するメタンガスを収集し、それを燃料として主に調理用の熱源に使用されている。そのため、政府による支援や規制はほとんど行われていない。使用を後押しするインセンティブがない代わりに、価格規制等も行われていない。

しかしその一方で、バイオガスの賦存量は農村地域において多い。また実際の導入も SNV が中心となって、全国的な導入を進めている。実際の導入件数も現在では全国で 300 万程度の設備が導入されている<sup>28</sup>。そのため、今後のベトナムにとって、農村域におけるエネルギー源として非常に有望な資源であるといえることができる。

#### Thai Binh 省のケース

Thai Binh 省はベトナム北部の海岸沿いに位置する省である。首都ハノイから 100km ほど南東に位置している。この省の Tien Hai 県、Nam Cuong 村(コミュニオン)で行なわれている事例が本節の対象である。この村では、環境 NGO の Green Innovation and Development (GreenID) が中心となって、2012 年から Local Energy Planning と呼ばれるプロジェクトが行われた。その中に、地域へのバイオガス普及を目指したモデルがある。ここでは、そのモデルを紹介する。まず、背景として、村の規模を概略し、次に、地域バイオガスが導入された経緯を述べる。

この村は、人口 3,500 人、家計数 900 程度の村である。面積は 372 ヘクタールである。海岸沿いに位置しているため、高潮などの被害が発生することがある。主な産業は稲作とエビを中心とする養殖業である。100%電化されているが、停電はよく発生する。

こうした村でコミュニティ・バイオガスのプロジェクトが実施されたのは、環境 NGO の GreenID の働きかけによるところが大きい。この NGO が中心となり、この村で Local Energy Planning というプロジェクトが行われた。GreenID に対するインタビューによると、コミュニテ

---

<sup>28</sup> Meier *et al.* (2014)

イ・バイオガスプロジェクトの資金は、スウェーデンの SIDA という援助機関とシンガポールのファンド Mercy Relief によって拠出されている。その資金と、住民の労働力を使って、本プロジェクトは勧められた。プロジェクトの中には、コミュニティ・バイオガスだけではなく、学校へのソーラー・ヒーターや市庁舎への太陽光パネルの設置も含まれている。しかし、ここでは、それらの中で最も規模が大きかったコミュニティ・バイオガスのモデルについて、以下、コミューンの人民委員会議長と GreenID 担当者からのインタビューより、詳細に見る。

まず、このモデルの背景を説明する。Nam Cuong コミュニティの中に、ハノイ在住の養豚業者が保有する養豚場があった。タイの CP グループの代理養豚業を行っている。CP グループからまだ小さい豚を預かり、肥料も受け取る。それをここで養育する。大きくなった時点で、kg あたり 3,500VND(2015年6月現在 15円程度)で CP グループに販売(返却)する。こうしたビジネスの問題点として、家畜が出す汚臭の問題があった。これに対しては、コミューンの人民委員会も注意を行うなどしていたという。

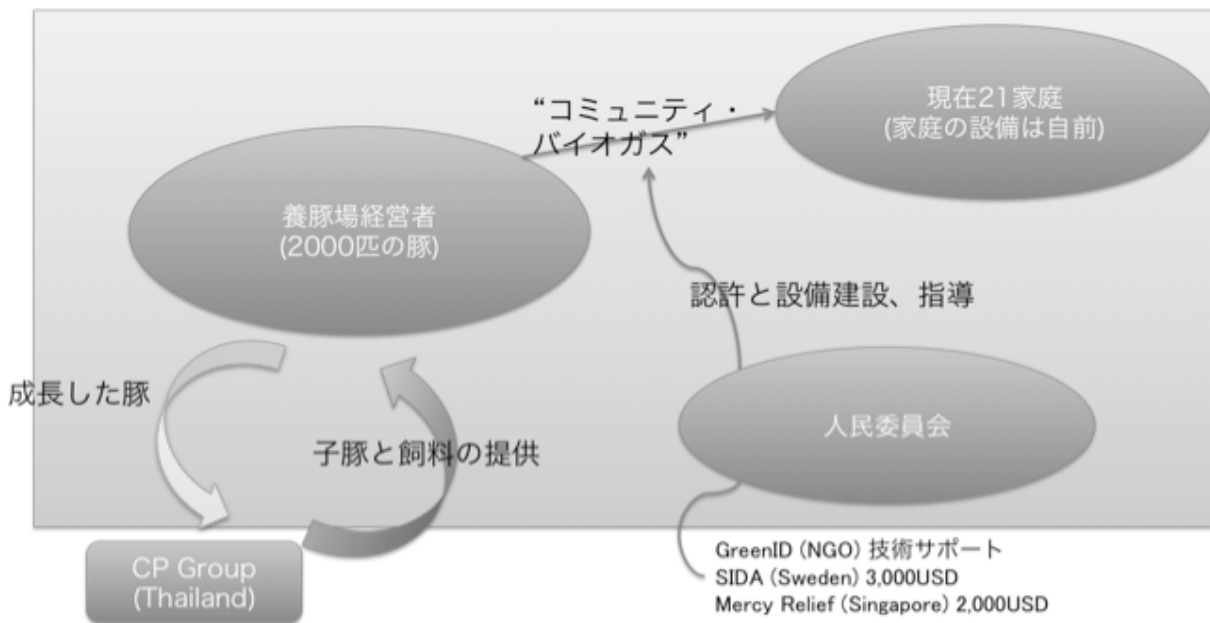


図 A.3 コミュニティ・バイオガスの構造

(人民委員会、GreenID、養豚場経営者、使用家庭への聞き取り調査をもとに著者作成)

こうした背景があって、それを解決する手段として、バイオガスのモデルが導入された。SIDA と Mercy Relief の援助の額はそれぞれ、3,000USD と 2,000USD であった。この資金を使っ

て、GreenID のイニシアチブと技術的サポートのもと、住民の労働力を使いながら、養豚場からコミュニティの場所から選択された 21 の家庭にパイプを敷設する工事が行われた。各家庭のバイオガス設備は自前であった。

### 地域への利益

ここでは、このモデルが地域へどのような利益をもたらし、影響を与えたかを論じる。このモデルによる利益は 3 点あげられる。1 点目は、畜産によって発生する汚臭が改善したことである。プロジェクト前は、約 2000 頭の豚が発生させる汚臭が問題となっていた。この問題に関して、人民委員会の話によると、

2 点目は、21 の家庭がバイオガスの供給を無料で受けられるようになったということである。これによって、燃料費が節約された。3 点目は、こうした取り組みの影響を受けて、自主的にバイオガスの設備を導入する家庭が出てきたという点である。これらの点で、この設備の導入はこの地域コミュニティに対して直接的、間接的に利益をもたらしたといえることができる。

以上のコミュニティへの利点に加えて、このプロジェクトがどのように「エネルギー自治」と繋がるのかについて、もう少し詳しく見てみたい。それは次の 2 点で表されるだろう。第一は、このプロジェクトが地域の人民委員会との密接な関わりの中で行われている点があげられる。もちろん、NGO の先導があったから実現したというのは事実であろう。しかしながら、以前から存在していた養豚業者による汚臭問題という地域の環境問題の解決に人民委員会が積極的であったというのも事実である。そこにバイオガスという技術的な援助が行われることで、このプロジェクトは進められたと言える。そういう意味において、人民委員会がエネルギー面で自治体の役割を持ったと論ずることができるだろう。第二に、コミュニティの住民の参画がみられることである。プロジェクトを行うにあたり、住民は資金的な供出は行っていない。一方で、パイプラインの敷設に当たって、その労働力となることで一定の役割を果たした。確かにこれが NGO の指導によるものであるのは指摘すべきことではあるが、しかしながら依然としてコミュニティ住民の参画という事実は「エネルギー自治」の達成に向けた重要なステップであるとも言える。

### 問題点

上記のような成果があったこのモデルにも、多くの問題点があると考えられる。最も大きなものは、持続可能性の欠如である。確かに、地域への利益はあるモデルだが、そのファイナンス構造を含めて、NGOや海外からの投資などの協力が不可欠であり、将来的に持続性があるモデルだとは言えない。この事例では、国外のNGO・NPO等の支援団体によって5,000ドルの資金援助が行なわれている。その支援がなければこのプロジェクトは実行されえなかったし、これと同様のプロジェクトを他地域で行うことも難しいと言える。

また、この事例、及び Hoa Binh 省でのバイオガス導入家庭へのインタビュー<sup>29</sup>で発見された現象として、コミュニティ内での共有が行われていないという点があげられる。バイオガスの問題は、その供給量が多すぎて全て使えない場合があるという点である。そういったバイオガスを共有しようという意思是、どこの家庭でも見られなかった。概して導入が比較的うまく進んでいるバイオガスであるが、今後はこれらの問題にどう対処していくかが課題であろう<sup>30</sup>。

### A.3 家計レベルでの再生可能エネルギー<sup>31</sup>

一般に農村域でのバイオ資源は伝統的に活用されてきている<sup>32</sup>が、ベトナムでも状況は同じである。つまり、農村域では、薪などの伝統的なバイオマス資源が日常的に使用されている。しかしながら、近年、それに加えて、バイオガスの熱利用や水力発電などの技術が導入され始めている。以下では、そうした事例の分析を行う。前節で述べた通り、ベトナムではバイオガスの使用例が急激に増えている。すでに、300万の設備が導入されているという。その事例を分析することは有益であると考えられる。他方、あまり多い導入例があるわけではないが、超小規模水力発電も導入されている。後で述べる通り、これはせいぜい5kWh以下の小さな電力量を供給する設備である。先行研究では分析をほとんど見ないものである。例外的な事例であるかもしれないが、依然としてそれを分析することには意味があるように思う。そこで、以下では、北部地域でバイオガスと超小規模水力発電に対して行った調査分析を示す。

#### A.3.1 バイオガス

---

<sup>29</sup> この調査は、Hoa Binh省での小規模水力発電事業の調査(2015年6月)に付随して行われた。

<sup>30</sup>

追記として、翌年に行われた調査では、非常に限られた数のエネルギーシェアの事例が見られた。次節参照のこと。

<sup>31</sup> この節の内容は、2016年5月に主にベトナムの北部地域で行われた調査に依る。

<sup>32</sup> 第2章第3節。

バイオガスは、ベトナムで大変に広く普及している。その分析はこれまでも多々なされてきた。ここでは、主にベトナム北部で行われた調査について簡単にまとめる。これは、後で述べるバイオガスの共有事例につながる説明である。

2016年5月に、ベトナムの北部の4つの省でバイオガスを導入している家計と導入していない家計に対してアンケート調査を行なった。質問票は付録に載っている通りである。4つの省は、ベトナム北西部に位置する Son La 省と、ハノイ近郊に位置する3つの省；Ha Nam 省、Hung Yen 省、Vinh Phuc 省である<sup>33</sup>。これらの省で、それぞれおよそ30家計ずつアンケート調査を行った。その半分はバイオガス設備を有していて、残り半分は有していない家計群である。

その結果、主に次の点がわかった。まず、バイオガスの導入によってLPGにかかるコストが提言した点である。調査した全ての省で、LPGの費用としてかかっている額が、バイオガスを導入している家計で低くなっていた。次に、バイオガスの設備に対する政府や行政からの支援は、省によってまちまちであったが、使用を始めてから5~10年というところが多かった。興味深い点は、どの地域でもバイオガスに対する満足度は高かったという点である。加えて、導入のきっかけとして、近隣での噂を聞いたというのが一定数いたことも重要であると考えられる。その導入には地域の人的ネットワークが貢献していると言えるからである。

### A.3.2 超小規模水力発電 (Pico Hydropower)

次に、超小規模水力発電についての事例を述べる。Vinh Phuc 省の Tam Dao 県は、ベトナム北部に位置する。Vinh Phuc 省自体はハノイ市に隣接する。ハノイの市街からも車で1~2時間ほどで着く。この県は、Tam Dao 国立公園という観光資源を有する。その地形的性質として、山岳地帯であるということが挙げられる。また、Dao 族 (người Dao) という少数民族が住んでいる。こうした背景から、この地域では観光業が盛んとなっている。

この地域で行われている超小規模発電 (Pico Hydropower) は、特殊な事例であると言える。文献や研究者間の情報でも、ほとんど見られないものである。その理由は、調査の結果からわかったこととして、この村の女性 (調査家計主の配偶者) がかつて中国に近い Lang Son 省で働いていた時に中国人がこの設備を使用しているのを見て、中国に購入しに行き、それによって

---

33

Son La 省でのアンケート調査のみ、許可の関係から現地協力者に実施を依頼した。その結果、集まった回答数は31であり、内訳は、28家計がバイオガス設備を有しているものであった。



村に広まったという経緯によるものである。それに関連して、多くの製品は中国からの輸入品であるということがわかった。

超小規模水力発電とは、1~3kWhの発電設備を個々の家計が使用するものである。これらの発電設備は、村に沿って流れる川の人工的に作られたダムに、あるいは流れが急な箇所を設置される。発電された電力は、観光客に販売するための商品を冷やす冷蔵庫・冷凍庫、テレビや扇風機などに使用される。基本的にはこの供給により電力供給は賄える。しかしながら、雨季の洪水で設備が不具合を起こした場合などはグリッドの電源を使用する。グリッド電源は90年代末に敷延されたが、山岳地域という特性上、電力の配電ロスによって電力代が高くなる。小規模水力発電を導入している家計でアンケート調査を行なったもののうち、9割近くがその導入によって電気代が下がったと答えた。

一方で、問題点も指摘された。それは、雨季の洪水による設備不良に加えて、落ち葉などが発電機に詰まることで電力が弱まり、家電が発火すると行った事案があった。手入れをする必要があるとのことであった。さらに、手入れをする際に、発電機の中に潜んでいる蛇に噛まれることや、感電するという危険性も指摘された。これらの点については、この発電事業が特に規制されているわけではなく、住民が自らの判断で行なっているということも原因であると考えられる。一方で、これらが適切に管理されずに、一律に規制ということになると、住民の福祉を損なうことにもなるだろう。慎重な政策が求められる。

### A.3.3 コミュニティ内のエネルギーシェア事例

上述のバイオガスと超小規模水力発電に関して、余剰エネルギーをシェアする動きが見られた。非常に限られた数の事例ではあるが、これはこれまでの文献では全く指摘されていない点である。

まず、バイオガスに関して述べる。バイオガスは、上記の通り、基本的には個別の家計で導入される設備である。それは、家畜の糞尿処理という目的に付随する副産物として生じるものである。そのため、家畜を保有しない家計においては導入することはできない。例えば、個人商店を営む家計では、導入できない。一方で、家畜を多数保有している家計では、使用可能なバイオガス量は時に需要量を上回る。特に、夏季には上回ることが多いことがわかった。これらの余剰バイオガスは、燃焼されて待機中に放出される。そうしない場合、ガスによる中毒などの危険性がある<sup>34</sup>。

---

<sup>34</sup> 2016年6月のHanoi WSでのDr. Dang Thanh Tu (Institute of Environmental Technology)の報告資料による。

こうした背景において、Hung Yen と Vinh Phuc でバイオガス導入家計に、近隣の家計と余剰バイオガスを共有する事例が存在した。Hung Yen では、100 匹程度の豚を飼う家計が、道路を挟んだ向かい側の商店に余剰分のバイオガスを供給していた。商店は家畜を有していない。供給方法は、既存の電線にガスパイプラインを巻きつけるというものであった<sup>35</sup>。パイプと熱利用のための調理器具は供給される側が費用負担をしていたが、ガス自体は無償で提供されていた。また、Vinh Phuc では、20 匹の豚を飼う家計が、隣の親族の家にバイオガスを供給しており、その結果として、供給を受ける側の家では LPG の消費量が前よりも少なくなった。

次に、超小規模水力発電についてのシェア事例を述べる。上述の小規模発電を導入している家計のうち、親戚の家から無償で供給を受けているものと、設備の不具合があった場合に延長コードで隣の家から電源供給を受けるという事例が見られた。このコードは、国有の配電網に沿うかたちで引かれている。また、前者において、使用する量以上の発電量があることが親戚の家に電源を供給する理由であった。

これらのバイオガスと超小規模水力発電の近隣家計内での共有という事例は、コミュニティでの「エネルギー自治」というには程遠い。しかしながら、家計という細微な区分でのエネルギーのグリーン化を、コミュニティでのエネルギー自治へと昇華させていくための第一歩であるという評価はできよう。これを事例として公表し、それをすくい上げるような政策が制定されていくことが今後の課題であると言える。

#### A.4 コミュニティ再エネの萌芽と展望

以上、本付録では、地域レベルでの再生可能エネルギー導入について見てきた。まず、ベトナムの行政構造を見たのちに、再生可能エネルギーの特色をその導入主体の分類に合わせて論じた。すなわち、企業ベースでの再生可能エネルギーの導入と家計レベルでの利用に大別できることがわかった。これらは、基本的にその地域への利益が少ないという観点から、「エネルギー自治」とは呼べないだろう。しかしながら、そうした事例の中で、それらに性質は似ていながら、若干コミュニティを志向している事例として、NGO による養豚業者が産出するバイオガスの近隣住民での活用事例、及び、家計レベルでの余剰エネルギーを近隣住民に提供するという事例が見つかった。これらは、ある意味「エネルギー自治」に向けた第一歩と見ることはできるのではないだろうか。

今後の展望として述べるとすれば、これらの事例分析から見出された「エネルギー自治」の障壁を取り除く努力が必要となるということだろう。政府レベルでは、行政的な枠組みの改変

---

<sup>35</sup> この安全性は問われる必要がある。

による再生可能エネルギーの地域経済への貢献の後押しをすることである。また、コミュニティレベルでは、すでに存在する人的ネットワークの拡充と、資本蓄積などによる再生可能エネルギー事業への投資の促進が求められていくこととなるだろう。

## 参考文献

Devine-Wright, P. (2011). Public engagement with large-scale renewable energy technologies: breaking the cycle of NIMBYism. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change*, 2(1), 19–26.

Electricity Vietnam (EVN). Website: <http://www.nldc.evn.vn/newsg/3/1509/Ban-hanh-Bieu-gia-chi-phi-tranh-duoc-va-khung-gia-phat-dien-nam-2015/default.aspx>. [accessed on November 14, 2015]

池田一智. (2004). 第7章: ベトナム社会主義共和国編. *ASEAN 諸国の地方行政*. pp. 167-200. 財団法人自治体国際化協会

Luong, N. D. (2015). A critical review on potential and current status of wind energy in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 440-448.

Meier, P., Vagliasindi, M., and Imran, M. (2014) *The design and sustainability of renewable energy incentives: an economic analysis*, World Bank Publications, 43-90.

Nguyen, K. Q. (2007a). Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications. *Energy Policy*, 35(2), 1405–1413.

Nguyen, K. Q. (2007b). Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam. *Energy Policy*, 35(4), 2579–2589.

Sathaye, J., O. Lucon, A. Rahman, J. Christensen, F. Denton, J. Fujino, G. Heath, S. Kadner, M. Mirza, H. Rudnick, A. Schlaepfer, A. Shmakin, (2011). Renewable Energy in the Context of Sustainable Development. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Schmietendorf, K., Peinke, J., & Kamps, O. (2017). The impact of turbulent renewable energy production on power grid stability and quality. *European Physical Journal B -- Condensed Matter*, 90(11), 1–6.

チャン・ヴァン・トゥ. (2010). ベトナム経済発展論: 中所得国の罫と新たなドイモイ. 勁草書房.

Tuan, N. A. (2012). A case study on power sector restructuring in Vietnam. *Pacific energy summit*.

内村弘子, 高野久紀. (2009). 第4章: ベトナムの政府間財政関係. 分権化と開発. 調査報告書, アジア経済研究所.

## B. 2016年5月の調査での質問票

(企業用及び家計用。ベトナム語は Institute of Environmental Technology の Dr. Dang Thanh Tu による。)

### **Questionnaire on Community Renewable Energy in Vietnam**

#### ***Bảng câu hỏi về Năng lượng tái tạo cộng đồng tại Việt Nam***

##### **Introduction**

##### ***How to promote renewable energy introduction in the local communities in Vietnam?***

Renewable energy (RE) is essential to achieve sustainable development. The Vietnamese government tries to promote RE in the long run and gives a priority to RE according to the 7th Power Development Plan of 2011. However, there are still many obstacles to RE introduction in Vietnam. First of all, although RE is cost effective if the environmental effects are taken into consideration, RE is quite expensive at the set-up stage. Second, the promotion of RE faces technological barriers as well. And thirdly, there are still many kinds of obstacles for promoting RE in the local communities. In this research, we'd like to clarify the factors hindering the RE introduction, especially in local communities.

To this purpose, we'd like to conduct interviews with the RE projects managers, the owner of these projects, and local residents who can be benefitted by these projects in local area of Vietnam. In the interviews, (1) we would like to get a better understanding of the present state, problems and future prospects of renewable energy (RE) in the community level in Vietnam, (2) we would like to hear our respondent opinions about the possible solutions for the local communities to get more benefits that could be also useful for the future development of RE in Vietnam.

##### **Giới thiệu chung**

##### ***Làm thế nào để thúc đẩy sử dụng năng lượng tái tạo trong cộng đồng dân cư tại Việt Nam?***

Năng lượng tái tạo rất quan trọng nhằm đạt tới mục tiêu phát triển bền vững. Chính phủ Việt Nam đang cố gắng thúc đẩy phát triển dài hạn năng lượng tái tạo và đặt mục tiêu ưu tiên cho năng lượng tái tạo trong Quy hoạch phát triển điện 7 (năm 2011). Tuy nhiên, hiện vẫn còn nhiều trở ngại đối với việc sử dụng năng lượng tái tạo tại Việt Nam. Thứ nhất, mặc dù năng lượng tái tạo là giải pháp chi phí lợi ích nhất nếu các tác động môi trường được đưa vào xem xét, nhưng hệ thống năng lượng tái tạo cũng đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu rất lớn. Thứ hai, thúc đẩy năng lượng tái tạo hiện đang gặp nhiều rào cản về công nghệ. Và thứ ba, hiện vẫn còn nhiều trở ngại đối với việc thúc đẩy ứng dụng năng lượng tái tạo tại các cộng đồng địa phương. Trong nghiên cứu này, chúng tôi muốn xác định các yếu tố cản trở ứng dụng năng lượng tái tạo, đặc biệt là trong cộng đồng dân cư địa phương.

Với mục tiêu đó, chúng tôi muốn được thực hiện các cuộc phỏng vấn với quản lý dự án năng lượng tái tạo, chủ đầu tư của các dự án, và dân cư địa phương, người có thể được hưởng lợi từ dự án đó tại các địa phương của Việt Nam. Trong quá trình phỏng vấn, (1) chúng tôi muốn hiểu rõ hơn về thực trạng, các vấn đề và triển vọng của năng lượng tái tạo ở mức độ cộng đồng địa phương tại Việt Nam, (2) chúng tôi muốn được nghe ý kiến về các giải pháp có thể thực hiện đối với cộng đồng địa phương nhằm đạt được nhiều lợi ích hơn và hiệu quả hơn đối với sự phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam trong tương lai.



	<p>What is the project name (if any) / <i>Tên của dự án (nếu có)</i></p> <p>When did the project start / <i>Dự án bắt đầu khi nào:</i>  _____ / _____ / _____</p> <p>Who is initiator / <i>Người sáng lập là ai:</i> _____</p> <p>How much was initial cost / <i>Chi phí đầu tư ban đầu là bao nhiêu:</i> _____ VND</p> <p>Who were investor(s) / <i>Chủ đầu tư gồm những ai:</i> _____</p> <p>Were there any subsidy or compensation? Who gave that and how much was it? / <i>Dự án có được (phải) hỗ trợ hoặc đền bù không? Ai là người chi trả? Khoản tiền đó là bao nhiêu?</i></p> <p>Subsidy / <i>Hỗ trợ:</i> _____</p> <p>Compensation / <i>Đền bù:</i> _____</p> <p>Who own the firm (facility)? / <i>Ai là chủ hãng (thiết bị)?</i></p> <p>Who is beneficiaries? / <i>Ai là người được hưởng lợi?</i></p>
--	---

<b>Questions for operators /</b> <b><i>Câu hỏi cho người vận hành</i></b>	
<p>Q 3. Tell us about the details of the projects</p> <p><i>Hãy cho biết thông tin chi tiết về dự án</i></p>	<p>Who is operator(s) or manager(s)? / <i>Ai là người vận hành hoặc quản lý:</i> _____</p> <p>How much is annual running cost / <i>Chi phí vận hành hàng năm là bao nhiêu?</i> _____ VND</p> <p>How much is amount of production / <i>Sản lượng sản xuất:</i></p> <p>Electricity/<i>Điện:</i> _____ (kWh/year)</p> <p>→ Capacity / <i>Công suất:</i> _____ (kWh)</p> <p>Biogas: _____ (lit/year)</p> <p>At what price do you sell your products/<i>Giá bán sản phẩm là bao nhiêu?</i></p> <p>Electricity/<i>Điện:</i> _____ (VND/kWh)</p> <p>Biogas: _____ (VND/lit)</p> <p>How much is the amount of consumption / <i>Lượng tiêu thụ là bao nhiêu?</i> _____</p> <p>How much is wholesale price of electricity/<i>Giá bán buôn điện là bao nhiêu?</i> _____</p> <p>How much is price of LPG / <i>Giá gas là bao nhiêu ?</i> _____</p>
<p>Memo / <i>Ghi chú</i></p>	

**Questions for beneficiaries/  
Câu hỏi dành cho người  
được hưởng lợi**

Q 4. Tell us about the details of the projects  
*Hãy cho biết thông tin chi tiết về dự án*

Name / Tên: \_\_\_\_\_

Age / Tuổi: \_\_\_\_\_; Sex / Giới tính: \_\_\_\_\_

Address / Địa chỉ: \_\_\_\_\_

Attributes / Đặc điểm: \_\_\_\_\_

What kind of RE do you introduce / Bạn đang sử dụng loại năng lượng tái tạo nào?

Biogas  Biomass / Sinh khối

Small hydro / Thủy điện nhỏ

Solar / Năng lượng mặt trời

Waste / Chất thải  Wind / Năng lượng gió

How much is benefits for you / Bạn được hưởng lợi như thế nào từ dự án? \_\_\_\_\_ (VND)

Why do (don't) you start to use this energy source / Tạo sao bạn sử dụng (không sử dụng) nguồn năng lượng này?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Do you want to tell your family or friends to use this RE / Bạn có muốn nói với gia đình và bạn bè sử dụng nguồn năng lượng tái tạo này không?

Yes / Có  No / Không

Q 5. If you have any comments or ideas, please share with us / Nếu bạn có ý kiến hoặc ý tưởng gì, hãy chia sẻ với chúng tôi

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

The results of this survey will be used for academic purpose only. Also, if you need, we will inform you about the results, after final report of this project is published.

*Kết quả của cuộc khảo sát này sẽ chỉ được sử dụng cho mục đích nghiên cứu khoa học. Nếu bạn muốn, chúng tôi sẽ thông báo với bạn về các kết quả nghiên cứu sau khi báo cáo cuối cùng của dự án được công bố.*

Thank you very much for your cooperation!

*Cám ơn sự hợp tác của bạn!*

Date / Ngày: \_\_\_\_\_

Interviewer / Người phỏng vấn: \_\_\_\_\_

Interviewee / Người được phỏng vấn: \_\_\_\_\_



Interviewer/Người phỏng vấn

Date/Ngày

/ /

**Questionnaire for a Household in \_\_\_\_\_ District****Bảng câu hỏi dành cho Hộ gia đình tại \_\_\_\_\_**

No.	Questions/Câu hỏi	Answers/Trả lời	
<b>A</b>	<b>Personal Information / Thông tin cá nhân</b>		
1	Name / Tên		
2	Sex / Giới tính	<input type="checkbox"/> Male / Nam <input type="checkbox"/> Female / Nữ	
3	Age / Tuổi		
4	Occupation / Nghề nghiệp		
5	Address / Địa chỉ		
<b>B</b>	<b>Household Information / Thông tin hộ gia đình</b>		
1	Household size / Quy mô hộ gia đình	The number of family (including the answer) / Số người sống trong gia đình (kể cả người trả lời): _____ <input type="checkbox"/> Three generation family / Gia đình 3 thế hệ <input type="checkbox"/> Two generation family/ Gia đình 2 thế hệ <input type="checkbox"/> One couple / 1 cặp vợ chồng <input type="checkbox"/> Single / Độc thân	
2	Income level / Mức thu nhập	<input type="checkbox"/> Less than 400,000 VND/month/capita Ít hơn 400,000VND/tháng/người	
		<input type="checkbox"/> More than 400,000 VND/month/capita Nhiều hơn 400,000VND/tháng/người	
		If you know approximate annual income Thu nhập trung bình theo năm (nếu biết)      _____ VND	
3	Earning from / Nguồn thu nhập	<input type="checkbox"/> Agriculture / Nông nghiệp	Amount per year / Thu nhập theo năm (VND)
		<input type="checkbox"/> Stock raising / Chăn nuôi	
		<input type="checkbox"/> Aquaculture / Ngư nghiệp	
		<input type="checkbox"/> Forestation / Lâm nghiệp	
		<input type="checkbox"/> Services / Dịch vụ	
		<input type="checkbox"/> Others / Khác	
4	Income per month / Thu nhập theo tháng	_____ VND In detail / Cụ thể :	



	<b>Biogas</b>	
6	When did you start using Biogas / <i>Bạn bắt đầu sử dụng biogas từ khi nào</i>	Year/Năm: _____ (Month/Tháng: _____ )
7	Sources of biogas / <i>Nguồn biogas</i>	<input type="checkbox"/> Pig waste/ <i>Chất thải nuôi lợn</i> <input type="checkbox"/> Fowl waste/ <i>Chất thải nuôi gia cầm</i> <input type="checkbox"/> Agricultural residue/ <i>Phụ phẩm nông nghiệp</i> Others / <i>Nguồn khác</i> : _____
8	How did you know biogas / <i>Bạn biết đến biogas như thế nào</i>	<input type="checkbox"/> In the training program organized by: _____ <i>Trong chương trình tập huấn của _____</i> <input type="checkbox"/> Someone let you know it (who? _____) <i>Người nào đó nói cho bạn biết ( _____ )</i> <input type="checkbox"/> From the mass media such as TV, Radio, Magazine and so on / <i>Từ các phương tiện thông tin đại chúng như TV, đài, báo....</i> Others/ <i>Nguồn khác</i> : _____
9	How did you construct the Biogas system	<input type="checkbox"/> by yourself and your family <input type="checkbox"/> Hired someone to construct Biogas <input type="checkbox"/> Biogas shop constructed <input type="checkbox"/> Others (In details) ( _____ )
10	Reasons for introducing biogas / <i>Lý do bạn sử dụng biogas</i>	<input type="checkbox"/> To save money (to substitute LPG) / <i>Để tiết kiệm tiền (thay thế gas bình)</i> <input type="checkbox"/> To save time for gathering firewood (to substitute firewood) <input type="checkbox"/> It seemed convenient / <i>Vì nó tiện dụng</i> <input type="checkbox"/> To provide biogas to the household / <i>Để cấp biogas cho gia đình</i> <input type="checkbox"/> Someone forced you to do (who _____) <i>Ai đó ép buộc bạn làm ( _____ )</i>
11	Initial and running cost of Biogas (subsidy) / <i>Chi phí đầu tư và vận hành biogas (trợ giá?)</i>	Initial cost / <i>Chi phí đầu tư</i> : _____ VND It was/ <i>Mức chi phí này là</i> : <input type="checkbox"/> Low / <i>Thấp</i> <input type="checkbox"/> Reasonable/ <i>Chấp nhận được</i> <input type="checkbox"/> High / <i>Cao</i> Subsidy amount/ <i>Mức hỗ trợ</i> : _____ VND Provided by/ <i>bởi</i> : _____ Running cost per year/ <i>Chi phí vận hành hàng năm</i> : _____





## C. 2015年6月の調査での質問票

(政策担当者用及び家計用。実施には英越の通訳を利用。)

### Questionnaire on Renewable Energy Introduction in Vietnam

Contact: Kazuki Hao (PhD Student), Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human Survivability, Kyoto University, Japan

Email: hao.kazuki.75w@st.kyoto-u.ac.jp

#### Introduction

##### How to promote renewable energy introduction in Vietnam?

In order to achieve high and clean development, the renewable energy (RE) is essential. The Vietnamese government tries to promote RE in the long run, and gives priority to the RE consume, according to the 7th Power Development Plan in 2011. However, it is true that there are a lot of obstacles to promote RE. First of all, although RE is cost effective if the environmental effect is in consideration, it is true that RE is expensive at the introduction term. Second, technological barrier faces the promotion of RE. In this research, we clarify the factors against the RE promotion.

In this study, we conduct interviews with Vietnamese scholars, government officials (for instance, MOIT, MONRE, and EVN), and foreign representatives (for instance, JICA, JETRO, GIZ, and SNV). In the interviews, (1) we would like to get a better understanding of the present state, problems and future prospects of renewable energy (RE) in Vietnam (2) we would like to hear our respondent opinions about government policies and international assistance programs that could be useful for the future development of RE in Vietnam.

#### Questions      Could you answer the following questions about RE and energy policy?

QUESTIONS	ANSWERS
Q. 1-1 Please tell us about your profession, position in the organization, education, and age.	1. Profession ..... 2. Position ..... 3. Education ..... 4. Age      20-30 <input type="checkbox"/> 30-40 <input type="checkbox"/> 40-50 <input type="checkbox"/> 50-60 <input type="checkbox"/> 60- <input type="checkbox"/>
Q. 1-2 Please tell us your organization.	Your organization is... Government <input type="checkbox"/> International Organization <input type="checkbox"/> Enterprise <input type="checkbox"/> Institution <input type="checkbox"/> University <input type="checkbox"/> NGO <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/> (.....)
Q. 2 What is your organization or you yourself doing in the field of RE? Could you tell me in detail?	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....

QUESTIONS	ANSWERS
<p>Q. 3</p> <p>How many RE projects has your organization finished? And how many RE projects still remain to be finished?</p>	<p>1. RE projects number (finished) .....</p> <p>2. RE projects number (not finished) .....</p>
<p>Q. 4</p> <p>How much is your budget (either in VND or USD) for RE development? Do you think it is rather small or it is enough?</p>	<p>1 (Budget) .....VND/ .....USD</p> <p>2.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Q. 5</p> <p>What do you think are the largest obstacles or hindering factors for RE development in Vietnam? Could you rank the top 3 obstacles according to their degree of importance?</p>	<p>Top 3 obstacles</p> <p>1.....2.....3.....</p> <p>Other obstacles</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Q. 6</p> <p>Could you explain in details? How exactly these factors hinder the development of RE?</p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Q. 7</p> <p>What needs to be done by the Vietnamese government to support RE development in Vietnam?</p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Q. 8</p> <p>What needs to be done by the international partners to support RE development in Vietnam?</p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

QUESTIONS	ANSWERS
Energy policy	
Q. 9 What do you think are the main actors in the energy policy in Vietnam? How important are these actors?	Domestic..... ..... ..... International..... .....
Q. 10 What do you think are their incentives?	..... ..... .....
Q. 11 Energy market is now going to be liberalized. Do you think it useful for the development of energy in Vietnam?	..... ..... ..... ..... ..... ..... .....
Q. 12 What do you think about the future forecast of the energy mix in Vietnam for the next 10-20 years? What do you think is the ideal energy mix in the future? Could you explain the reason?	..... ..... ..... ..... .....
Q. 13 What is your opinion on the expansion of coal energy?	..... ..... ..... ..... .....
Q. 14 What do you think about the introduction of the nuclear energy in 2020s?	..... ..... ..... .....





## Questionnaire for households in Tien Hai district

No	Questions	Answers
A	<b>Personal</b>	
1	Name	
2	Sex	<input type="checkbox"/> Male <input type="checkbox"/> Female
3	Age	
4	Occupation	
5	Address	
B	<b>Household</b>	
1	Income levels	<input type="checkbox"/> Poor (Less than 400,000VND/month) <input type="checkbox"/> Midium (More than 400,000VND/month) <input type="checkbox"/> Others: .....
2	Earning from...	<input type="checkbox"/> Agriculture <input type="checkbox"/> Aquaculture <input type="checkbox"/> Forestation <input type="checkbox"/> Services <input type="checkbox"/> Others ( ..... )
3	Number of Family	
4	Income	..... VND/month Detailed income sources:
5	Expense	..... VND/month In detail:

C	Energy aspect	
1	Access to the electricity	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No (skip 2~4)
2	Electricity sources	<input type="checkbox"/> Grid electricity <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Wind <input type="checkbox"/> Biomass <input type="checkbox"/> Biogas <input type="checkbox"/> Others ( ..... )
3	Is the electricity supply enough and stable?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No (If no, supplying hours: ..... /day)
4	Average electricity consumption per month	Electricity use: ..... kWh /month Electricity bill: ..... VND/month
5	Energy demand for other purposes (other than grid electricity)	<input type="checkbox"/> Lighting ( <input type="checkbox"/> Kerosene lamps <input type="checkbox"/> Candles <input type="checkbox"/> Torches : How much in total? ..... VND/month) <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Pump <input type="checkbox"/> Fan <input type="checkbox"/> Cooking ( <input type="checkbox"/> Firewood: ..... kg/month <input type="checkbox"/> Coal: ..... kg/month <input type="checkbox"/> Diesel: ..... litter/month <input type="checkbox"/> Biogas: ..... m3/month <input type="checkbox"/> Liquid gas : ..... tank/month) <input type="checkbox"/> Transportation: (in detail) ..... <input type="checkbox"/> Other use: .....
6	Other Energy sources	<input type="checkbox"/> Solar energy (heater) <input type="checkbox"/> Others:
7	Are you familiar with renewable energy?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No What kind of RE?: .....
8	Can you pay higher bill for the use of clean energy?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No Why do you think so?: .....

Thank you very much for your cooperation!

Date: .....

Interviewer: .....