

Suitable Areas Extraction Method by Analytic Hierarchy Process Method for PV Installation Potential in Plantations

Sari TAKAHASHI^{*1}
Masakazu ITO^{*4‡}

Ryuto SHIGENOBU^{*2}
Shinichiro OKE^{*5}

Akiko TAKAHASHI^{*3}
Masanobu YOSHIDOMI^{*6}

人工林を対象にした PV 設置ポテンシャル算出のための 階層分析法（AHP 法）を用いた適地抽出法

高橋沙里^{*1}
伊藤雅一^{*4‡}

重信颯人^{*2}
桶真一郎^{*5}

高橋明子^{*3}
吉富政宣^{*6}

ABSTRACT

Photovoltaics (PV) systems are important to become the main source of electricity to achieve carbon neutrality. In Japan, where flat land areas are scarce, new installation methods and locations need to be secured for further additional introduction. On the other hand, many plantations are neglected in Japan. These cause various problems, such as destruction of vegetation. Therefore, in this paper, the potential for PV installation in plantations in Fukui Prefecture was extracted for large-scale PV plants, using a geographical information system (GIS) for visualization. The results showed that approximately 20% of the forests in Fukui Prefecture have potential for PV installations. Furthermore, buffer space for the PV installations could be expected to restore semi-natural grasslands.

Keywords: Plantations, Vegetation recovery, Geographic information system, PV suitability study, Analytic Hierarchy Process

キーワード: 人工林, 草地回復, 地理情報システム (GIS), PV 適地検討, 階層分析法 (AHP)

1. はじめに

1.1 日本の太陽光発電の追加導入への課題

IPCC の第 6 次評価報告書¹⁾によると, 人間活動によって地球の平均気温はすでに 1.1 °C 上昇しており, 温暖化は広範な影響を与えている。これに対し, 温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる CO₂ ネットゼロを実現させることが求められている。

日本でもこの動きを受け, 再生可能エネルギー (RE) の主力電源化が進められている²⁾。資源エネルギー庁からは RE の導入率を現

在の 20% から 2050 年に 50~60% まで引き上げられることが示されており³⁾, この数値を実現する目安として, 太陽光発電 (PV: Photovoltaics power generation) では約 260 GW (約 3000 億 kWh) の追加導入が見込まれている。経済産業省が示すデータ⁴⁾では, 山地が多く平地の少ない地理的条件である日本は, すでに平地面積あたりの PV の導入容量は主要国の中で最大であり, 更なる追加導入を叶えるためには自然条件や社会制約を乗り越えながら, 既存の土地に導入を促進する目安が建てられている。その内訳として, 住宅設置が約 62 GW, 工場等大型施設への導入が約 45 GW, 営農型が約

*1 Graduate School of Engineering, University of Fukui

*2 Senior Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Fukui

*3 Associate Professor for Connected Energy,

Faculty of Basic and Generic Researches, University of Fukui

*4 Professor, Faculty of Engineering, University of Fukui,

3-9-1, Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan ‡e-mail: itomasa@u-fukui.ac.jp

*5 Professor, Department of Integrated Science and Technology, National Institute of Technology, Tsuyama College

*6 Yoshidomi Electric Co., Ltd.

Received: December 24 2024, Accepted: March 22 2025

*1 福井大学大学院工学研究科

*2 福井大学学術研究院工学系部門工学領域 講師

*3 福井大学学術研究院基盤部門カーボンニュートラル推進本部 特命准教授

*4 福井大学学術研究院工学系部門工学領域 教授

(〒910-8507 福井県福井市文京 3 丁目 9 番 1025 号)

‡e-mail: itomasa@u-fukui.ac.jp

*5 津山工業高等専門学校総合理工学科 教授

*6 有限会社吉富電気

(原稿受付: 2024 年 12 月 24 日, 受理日: 2025 年 3 月 22 日)

42 GW, 荒廃農地等への導入が 110 GW と示されている。しかし、経済産業省によると RE で電力構成の半分以上を賄うには、先述した 260GW に追加して更に約 500~1500 億 kWh 程度が必要とされる。これを発電容量が 1MW 以上の地上設置型大規模 PV (メガソーラー) で賄おうとすると、追加導入量はさらに 110GW と見込まれる。環境省が示す再生可能エネルギー情報提供システム (REPOS)⁹⁾によると、地上設置型 PV の導入ポテンシャルの推計は約 1000GW と十分なポテンシャルが示されているが、対象は「最終処分場一般廃棄物」、「耕地/田・畑」、「荒廃農地/再生利用可能・再生利用困難」、「水上/ため池」と、農地法によって農地転用が原則不許可である生産性の高い優良農地などが含まれるほか、約 3 割のポテンシャルが北海道に集中しているなど、依然として全国規模で RE の主電源化のための土地に恵まれているとは言えない。

また、経済産業省が公開している資料によると、一部の適切な事業の行えない施工業者によって RE の導入による地域住民の懸念が顕在化しており⁴⁾、これらの影響から PV の大規模な開発は森林伐採、環境破壊を引き起こすといった PV に対する負のイメージも、追加導入の妨げである。

関連する研究では、Tsoutsos et al. (2005)⁶⁾ は、太陽熱発電を含めた太陽エネルギー技術 (SETs: Solar energy technologies) は従来のエネルギー源と比較し、環境負荷が低く温室効果ガスに大幅に削減できると述べているが、同時に大規模な導入には景観への影響、広大な土地消費など様々な課題があると、適切な緩和策が必要であるとしている。

Tawalbeh et al. (2021)⁷⁾ は、PV の環境影響に関するレビューにまとめ、PV は発電時には CO₂ を排出しないが、製造から廃棄までの環境影響は無視できないとし、加えて PV の大規模な開発による農地の減少が危惧されているとした。

Jefferson (2018)⁸⁾ によると、RE の大規模な開発は農村地域の景観・環境に大きな影響を与え、多くの地域で懸念が高まっており、RE の促進だけでなく、農村の文化的価値や生態系を維持するバランスが重要だと述べている。これらのことから、現状から更なる追加導入を叶えるためには、この文化的価値や生態系と共生する新たな設置方法や、新たな設置適地の提唱が必要である。

1.2 PV の適地検討

近年、世界各地で脱炭素化を目指し、PV の適地を検討する研究が行われている。

Juan et al. (2013)⁹⁾ は、GIS と多基準意思決定法 (MCDM) を用いてスペイン南東部にて PV の適地検討を行った。日射量、傾斜、送電網との距離などを考慮し、適地をスコアリングして抽出した。森林や保護地域は適地から除外され、抽出された適地は未利用地や農地が中心で、送電線に近い箇所に集中することを示した。

Qing et al. (2019)¹⁰⁾ は、中国における大規模な PV の適地検討を GIS と 5 つの基準を用いて実施し、発電ポテンシャルは約 1.41×10⁶ GW で、北西部と内モンゴルが 86% を占めることを明らかにした。最大導入で CO₂ 排出量を 2005 年比 63~68% 削減可能。地域間の発電量格差を解決するため、送電網拡張が必要だと示した。

Mensour et al. (2019)¹¹⁾ は、モロッコ南部において、GIS と AHP 法を用いて環境性と経済性の基準から適地検討を行っている。この論文の示す環境的基準とは、土地利用状況、水路からの近さなど地

理的環境である。検討の結果、調査地域の 24.08% が太陽光発電所の建設に適した場所であることを示した。

Kocabaldiret al. (2023)¹²⁾ は、トルコ・マラティヤ州において、GIS と AHP を用いて、PV 適地を評価した。気象条件、地形条件、インフラ条件など 3 つの大きな基準と 13 のサブ基準を考慮し、適地を検討している。最適な設置場所は州の東部および南東部に集中し、34 か所を特定した。

Shriki et al. (2023)¹³⁾ は、GIS と AHP 法を用いて技術的、環境的、電気的な基準でイスラエルにおいて適地検討を行っている。この論文での環境的基準とは、市街地の遠さや保護地区へ遠さといった人間の生活環境のことを指しており、イスラエル中央部に非常に高い適性をもつ土地があることを突き止めたが、論文の中で実際にこの土地に PV を設置することは、イスラエルの深刻な土地不足の中では容易なことではないと指摘している。

文献 9)~13) を含む多くの研究で、景観阻害や自然保護の観点から森林は適地検討の対象から初期段階で除外されている。森林は生態系保全や炭素吸収の観点から重要であり、伐採による環境影響が懸念されるためであると推測されるが、上記の検討が行われた国と、日本の森林率には開きがある。スペインの森林率は 37%、中国は 23%、モロッコは 12%、トルコは 29%、イスラエルは 6% であるのに対し、日本の森林率は 68% と世界 2 位の森林の多さの割合を持つ。本研究ではこの日本特有の森林率、特に後述する人工林の多さに着目し、森林に対する PV の適地ポテンシャルを検討した。

1.3 日本の森林の課題

先述の通り、日本は森林に恵まれた国土を持つが、その国土面積のうちの約 3 割は戦後の拡大造林政策によって景観を変えた人工造林である¹⁴⁾。天然林が伐採された跡地に植えられた木々は、木材不足に対応するため成長の早いスギやヒノキなど針葉樹であったが、その後の木材輸入の自由化や景気後退による需要の低下などを背景に、日本の林業は低迷した。これによって今日の花粉症人口の増加が問題になっている。そのため林野庁は「スギ花粉発生源対策推進方針」¹⁵⁾ の中で令和 15 年度までに年間のスギ人工林の伐採面積を約 7 万 ha まで増加させることを示し、福井県環境基本計画でも、人工林の間伐に加え、主伐・再造林を推進している。

1.4 日本の草原の減少

また人工林の増加に伴い、草原の減少も問題となっている。温暖湿潤気候である日本では特殊な土地条件を除き、手放しの土地は最終的には森林に遷移する¹⁶⁾。そのため 1900 年代のはじめに日本の国土の約 10% を担っていた草原¹⁷⁾ の多くは、人為的に植生遷移が止められていた半自然草原だと言える。日本におけるこの半自然草原は、放牧地や採草地としての利用など、古くより伝統として人の手が定期的に入ることによって保たれていた。

しかし、近年では牧草地や採草地としての利用が縮小し、また先述した拡大造林政策の影響を受け、草原は 1980 年には国土の約 1% にまで減少し、消失の危機に瀕している。境らは、中山間地域において土地利用の変遷とその要因について検討し、実際に熊本県水俣市久木野において、この伝統的な土地利用が人工林に置き換わっていることを明らかにしている¹⁸⁾。

この半自然草原の減少により生息地を失った草花やチョウ類も絶滅の危機に瀕している¹⁹⁾ ため、近年では半自然草原の重要性の

見直しや保全活動が広まっているが、伝統的な土地利用としての活用が途絶えつつある今日で、以前のように草原を維持することは容易なことではない²⁰⁾。

1.5 自然を涵養するPV

本研究では、日本の伝統的な土地利用である半自然草原を維持していく方法の一つとして、メガソーラーの活用を提案する。Lambert et al. (2023)²¹⁾ は、PV が半自然草原の創出を促進させる可能性があるとして、南フランスにて太陽光発電所における半自然草原の生育を調査した。調査の結果、PV が生み出す影の影響が植生に悪影響を生み出しているとし、PV が半自然草原の形成を促進するには、アレイ間の離隔距離やパネルの高さを増やす必要があるとまとめている。

そこで、本研究が提唱するのは、設置適地に対し全面にPVを設置するのではなく、Fig.1 に示すように、アレイの外縁から50m～100mの範囲でゆとりを持たせることで、半自然草原を広げる設置方法である。50m、100mの値にはそれぞれ根拠があり、50mは、スギ・ヒノキといった40～50m級の高木が風倒木となってもその樹幹がアレイを直撃しにくい距離である。100mは、伐倒や風倒木にもなって倒木から飛散する折れ枝の飛距離である。このことは、労働安全衛生規則第481条に定める「事業者は、伐木の作業を行う場合は、伐倒木等が激突することによる危険を防止するため、伐倒しようとする立木を中心として、当該立木の高さの二倍に相当する距離を半径とする円形の内側には、他の労働者を立ち入らせてはならない。」の作業安全離隔距離ともつじつまが合う。アレイの外縁にこのようなゆとりを設けることは、PVの追加導入と設備保安、さらには労働安全衛生を確実にしながら、半自然草原の回復を同時に見込むことができる。なお、施工には外来種などを持ち込まない等、自然環境への考慮を最大限に行うものと仮定する。

1.6 管理放棄人工林

PVの新たな設置適地には、人工林を対象とする。森林だった場所にPVを設置するというと、少なからずの人が環境破壊を連想すると思われる。しかし、本研究が対象にするのは森林というよりは、放棄された人工林である。

1.3で述べたように、戦後の木材需要に対応するため大規模な植林が行われたが、その後の木材輸入の自由化・景気後退による需要の低下²²⁾などを要因に、日本の林業は低迷した。戦後に植林された人工林の多くが間伐、伐採などの管理が十分に行われず^{23,25)}、放棄されている現状にある。このような人工林を、小松、篠原ら²⁴⁾に習い、本研究でも管理放棄人工林と呼ぶ。同著者らによると、この管理放棄人工林は間伐が行われないために、日の光が地面に届きづらく、木々の下の植生が衰退してしまう。管理放棄人工林は植生に悪影響を及ぼすだけでなく、森林の持つ洪水緩和機能が失われてしまう可能性もある。

さて、日本の人工林はFig.2に示すように年々右肩上がりに増加している。1960年を中心に植林された木々は現在60年生を超えており、多くの管理放棄人工林が主伐期（スギ人工林だと約50年ほど）を過ぎたまま、今日まで放置されている。

1.7 研究目的

本研究はそういった管理放棄人工林を従来の草原に戻し、その一部面積でメガソーラーを運用することでRE主電源化の達成、半自

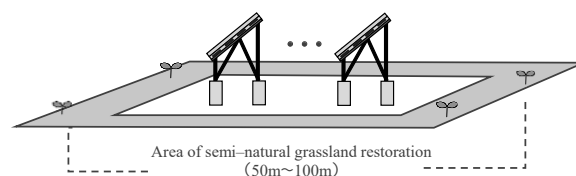


Fig. 1 Assumed PV installation method.

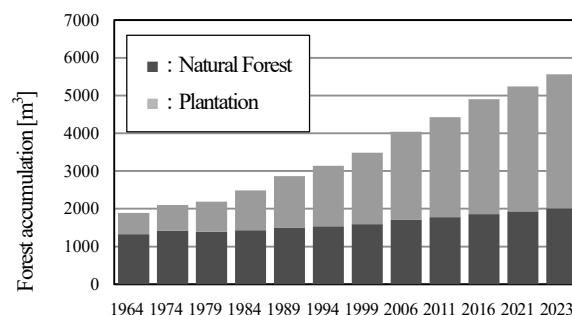


Fig. 2 Trends in forest accumulation in Japan²³⁾.

然草原の保全・再生に寄与する設置方法の提唱を大目的とする。

本稿では地理情報システム（GIS : Geographic Information System）と階層分析法（AHP : Analytic Hierarchy Process）を用いて、上記の設置方法で福井県のPVの適地検討を行う。

GISを用いたPVの適地については、先述の通り世界各地で検討が行われているが、自然環境を保全・再生する目的を適地検討の基準に含んでいる研究は少なく、森林に対するPVの適地ポテンシャルを検討した例はない。

2. 研究の流れ

2.1 検討地域

平野の少ない日本において、PVの追加導入に必要な土地が不足している。そのため、本研究では放棄人工林を含む森林を対象にした適地検討を行う。

令和4年度の林野庁の統計情報²⁶⁾によると、福井県の面積あたりの森林率は約74%で、これは国内で11番目の豊かさである。人工林に着目すると、福井県の約30%が人工林ということになる。Table 1に、平成28年度の福井県の土地利用情報²⁷⁾の内訳を示す。他の土地利用と比較するとこの人工林の割合の大きさが分かるが、日本全国に目を向けると、福井県の森林面積あたりの人工林の割合は約40%であり、国内では34番目に位置する。1位の佐賀県67%、2位の高知県65%などと比べると、比較的天然林が多い地域であると位置づけることができる。したがって、このような地域で管理放棄人工林に対しPV設置ポテンシャルを算出することは、日本のRE主電源化達成への貢献という点でも有益になり得る。

Table 1 Land use in Fukui Prefecture.						
Farmland	Forest	Waste land	Building	Road	Rivers	Others
12.0%	77.3%	0.5%	6.1%	0.5%	2.2%	1.5%

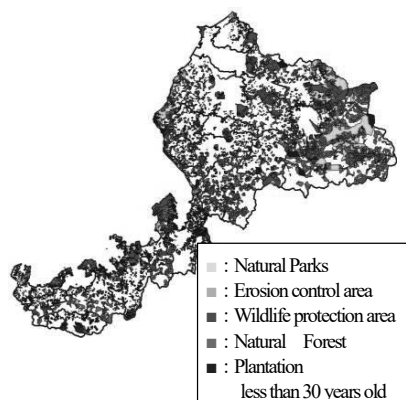


Fig. 3 Excluded areas for PV installation.

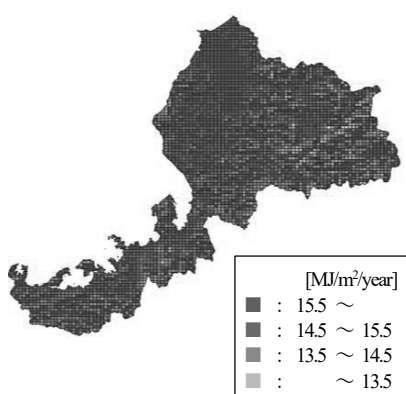


Fig. 4 Solar radiation on tilted surface.



Fig. 5 Old-growth plantation.

2.2 提案手法

本研究では GIS を用いて森林簿のデータを可視化、編集を行い、PV 設置適地を選定する。福井県内における森林を適地検討の対象として、Shriki et al. (2023)¹³⁾ を参考に、フェーズ 1 からフェーズ 3 に分け適地を絞り込む。

2.2.1 フェーズ 1

フェーズ 1 では、促進区域に係る環境省令が定める基準²⁸⁾ に則り、促進区域から除外すべき区域、市町村が考慮すべき区域を適地の対象から除外する。促進区域に係る環境省令が定める基準によって除外する条件は以下のとおりである。

- 暴風保安林などの保安林（森林法）
- 砂防指定地（砂防法）
- 急傾斜地崩壊保護地区（急傾斜地法）
- 国立公園特別保護地区など自然公園（自然公園法）
- 鳥獣保護区域（鳥獣保護管理法）

また、林齢 30 年未満の人工林や、水源を涵養するなど機能を求め植林されている人工林は放棄されているとは言えない。適地検討の対象とする森林から、以下の条件に該当する森林も検討の対象から除外し、PV の設置ポテンシャルとして面積を調査した。除外地域を可視化したものを Fig. 3 に示す。

- 天然林
- 林齢 30 年未満の人工林
- 水源涵養地域などその他の制限林

2.2.2 フェーズ 2

フェーズ 2 では、PV を設置する上で重要な日射量と、管理放棄人工林を適地とする上で重要な林齢によってフェーズ 1 で絞り込んだ PV 設置ポテンシャルから適地を絞り込む。

福井県内全域 250 m 四方で斜面日射量を算出したものを Fig. 4 に示す。MET-PV²⁹⁾ より福井市の日射量のデータを用い、県内の土地情報に関連付け、地面の傾斜角度や傾斜方向を考慮に入れて計算した。

また、福井県内の林齢 50 年以上の人工林を、Fig. 5 に示す。管理

Table 2 Fundamental importance judgment scale definitions

Scored importance	Verbalized importance
1	Equal importance
3	Moderate importance of one over another
5	Essential or strong importance
7	Very strong importance
9	Extreme importance

放棄されている人工林の地理情報データは少なく、本研究では森林簿の林齢のデータから、林齢 50 年以上の人工林をおしなべて管理放棄人工林とする。50 年という数値は、一般的に人工林は 30～50 年で木材として利用でき、更に林齢 46～50 年以上であると高齢林²⁹⁾ に分類されるためである。

2.2.3 フェーズ 3

管理放棄人工林を PV と半自然草原へ変遷させる場合、適地の算出は非常に困難である。希少な植物の生息域を広げるため、保護地区に近い場所を適地と見込むことが可能であり、また、送電線への接続距離を短くするために、送電線や、市街地に近い場所を適地と見込むことも可能である。ほかにも様々な基準があるが、これらの重要度は PV を導入する際に何を重要視するかによって大きく変わる。そこで本研究では、階層分析法（AHP 法）を用いて、適地の選定を行う。

フェーズ 3 では、PV と環境を取り巻く基準を大きく 3 つに分類し、AHP 法を用いて、さらに適地を絞り込む。

2.3 AHP 法³⁰⁾

AHP 法とは目的→評価基準→選択肢の 3 つの階層に分けて意思決定を行っていく手法である。本研究では、目的を「福井県の管理放棄人工林を対象とした PV の設置適地の選定」、評価の基準を 3 つのメイン基準と 10 のサブ基準とし、福井県全体の森林を選択肢として、適地検討を行っている。

2.3.1 評価基準

Kocabaldir et al. (2023)¹²⁾, Shriki et al. (2023)¹³⁾ を参考に、今回の検討では評価基準を、メイン基準とサブ基準に分けた。これは適地を選定する際、低コストで発電できる土地を適地とするか、自然や人間の環境への影響が少ない土地を適地とするかは、選定者の裁量によって左右されるためである。選定者が重要視する部分を適地として抽出しやすくするため、経済的基準、人間環境の基準、自然

環境的基準の3つの基準を設ける。

今回の検討では中間的な立場をとるためメイン基準には等重量の重みを課して適地の抽出を行っているが、立場によって重要視する部分を変えることで、この重みを変えることができる。

サブ基準は対比較により重みづけを行う。AHP法ではTable 2の基準に基づき個人の意思を数値として評価し、式(1)に示されるような対比較行列から各サブ基準の重みを算出する。

$$A = \begin{matrix} & A_1 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots (1)$$

ここで、 n はサブ基準の数、 $A_1, A_2, \dots, A_n$ は n 個の異なるサブ基準を示し、 a_{ij} はTable 2に示した1~9の数字、またはその逆数である。

2.3.2 土地適正指数¹³⁾

適地の最終的な選定には、評価の指標として、土地適正指数 (LSI: Land Suitability Index) を用いる。各メイン基準につき最大10点、総合で最大30点として土地を評価する。LSIは式(2)にて求めることができる。

$$LSI = W_1 \sum_{k=1}^z w_{1k} \cdot R_{1k} + W_2 \sum_{k=1}^z w_{2k} \cdot R_{2k} + W_3 \sum_{k=1}^z w_{3k} \cdot R_{3k} \quad \dots (2)$$



(a) Phase 1
Forests excluding unsuitable areas for PV installations, such as natural forests and plantations of less than 30 years old.



(b) Phase 2
Suitable sites for PV installations selected from the Phase 1 considering older plantations forests and high irradiation.



(c) Phase 3
Suitable areas for PV installation where more criteria are taken into account by the AHP method

Fig.6 Forests with suitable site potential (a), and suitable sites for PV installation by phases (b), (c)

Table 3 Area of suitable land for PV installation, and estimated area of semi-natural grassland restoration by buffer.

Buffer	Area of suitable land for PV installation [ha]			Area of semi-natural grassland restoration [ha]	
	0 m	50 m	100 m	50 m	100 m
Phase 1	68,013	45,474	28,167	22,539	39,846
Phase 2	60,138	37,868	24,276	22,270	35,862
Phase 3	22,478	11,819	6,485	10,659	15,993

ここで、 W_1, W_2, W_3 はメイン基準の重み、 z はサブ基準の数、 w_{1k}, w_{2k}, w_{3k} はサブ基準の重み、 R_{1k}, R_{2k}, R_{3k} はその土地が持つ基準の点数を示している。

サブ基準の種類と最終的なそれぞれの重さをTable 4に示す。

3. 評価結果

フェーズごとに、設置ポテンシャルを見込める土地をFig.6に示す。また、ゆとりごとの設置適地面積と、半自然草原の回復が見込める土地の面積を、Table 3に示す。

3.1 フェーズ1

福井県の放置されている人工林に対し、天然林、保安林など、PVを設置できない箇所を除いたPVの設置ポテンシャルは68,013ha見込まれることが分かった。これは福井県の森林面積の約20%にPVの設置ポテンシャルがあることを示している。半自然草原の回復見込み面積に着目すると、50m、100mのゆとりをとったそれぞれの場合には22,539ha、39,846haの草地を回復できる見込みである。半自然草原の面積が日本の国土の約1%¹⁷⁾、つまり約378,000haとして、日本全体の草原のそれぞれ約6%、約10%を回復できるポテンシャルがあることを示している。

3.2 フェーズ2

フェーズ2では、フェーズ1で割り出された福井県内のPV設置ポテンシャルから、斜面日射量と林齢によって普遍的な適地を算出した。絞り出された設置ポテンシャルは60,138haであり、フェーズ1から見て約11%の減少に留まった。これは県内の人工林の6割以上が林齢50年以上であることや、県内では斜面日射量に大きな変

Table 4 Criteria and sub-criteria weights

Criteria	Weight	Sub-criteria	Weight	Sub factors	Points
Economic	1	Solar energy potential	0.47	15.5~	10
				14.5~15.5	8
				13.5~14.5	6
				~13.5	4
		Slope of Terrain	0.25	0~10	10
				10~20	6
				20~30	4
				30~	1
		Proximity to Energy transmission lines	0.13	0~1500	10
				1500~3000	8
				3000~4500	6
				4500~6000	4
				6000~	1
		Proximity to Roads	0.06	10~500	9
				500~1000	7
				1000~1500	5
				1500~2000	3
		Proximity to Town areas	0.06	100~1000	9
				1000~2000	7
				2000~3000	5
				3000~	3
		Proximity to forest road	0.03	0~100	9
				100~250	7
				250~500	5
Natural Environment	1	Age of Plantation	0.50	60~	10
				40~60	9
				30~40	8
				0~30	0
		Proximity to Protect area	0.50	0~500	9
				500~1000	7
				1000~1500	5
				1500~2000	3
Human Environment	1	Proximity to Landscape Planning Area	0.50	50~500	3
				500~1000	5
				1000~2500	7
				2500~	9
		Distance to Town areas	0.50	50~500	3
				500~1000	5
				1000~2500	7
				2500~	9

化が見られなかったことが要因であると考えられる。

ゆとりを取った適地面積で見ると、ゆとり 50 m, 100 m それぞれで 37,868 ha, 24,276 ha であり、これらは日本全体でカーボンニュートラル達成に必要な目安の面積の約 34%, 約 22% を福井で賄うことができる計算になる。

3.3 フェーズ 3

フェーズ 3 では AHP 法によって、設置ポテンシャルに対し重みづけと点数付けを行い、土地適正指数 LSI が特に高かった 25~30 点の地域を選定者にとっての適地として絞り込む。

今回の検討では中立の立場をとるためメイン基準を等重量とした。その結果を Fig.6 (c) に示す。設置ポテンシャルは 22,478 ha で、日本全体でのカーボンニュートラル達成に求められる追加導入に必要な容量の約 20% を見込むことができる。ゆとりを取った適地面積で見ると、ゆとり 50 m, 100 m それぞれで 11,819 ha, 6,485 ha であり、これらは日本全体でカーボンニュートラル達成に必要な目安の面積の約 10%, 約 6% を福井で賄うことができる計算になる。半自然草原の回復見込み面積に着目すると、ゆとり 50 m, 100 m それぞれで 10,659 ha, 15,993 ha の回復を見込むことができ、日本全体の草原のそれぞれ約 3%, 約 5% を回復できるポテンシャルがある

ことを示している。

市町村ごとの適地面積に着目すると、越前市やあわら市など、県北部に多く分布した。福井県では大野市や勝山市など、県の北東側に森林部分が広がっているが、天然林や自然公園が多く、適地の対象とはならなかった。福井市など、県の北西側に市街地が多いため、結果、自然公園と市街地の間をとるよう福井県中央付近に細長く適地が集中したのだと考えられる。

4. まとめ

本稿では、管理放棄人工林を対象とした PV の設置方法として、PV と半自然草原の組み合わせを提案し、GIS と AHP 法を用いた 3 つのフェーズで行う適地抽出法で調査した。結果、福井県の森林には 22,478 ha の面積が利用可能であり、半自然草原向けにゆとりを 50 m 取ると PV 用には 11,819 ha、半自然草原用には 10,659 ha 取れることが分かった。1 ha に 1 MW 設置すると考えると、日本全国の設定目標量 110 GW の約 10%, 半自然草原は日本の草原の面積の約 3% となり、高いポテンシャルを確認できた。

本検討では AHP 法のメイン基準（経済性、自然環境性、人間環

境性)の重みをすべて1とした。重みを変えた場合、例えば、経済性の重みを高くすると送電線や市街地の近くの適地が増え、自然環境性の重みを高くすると林齢の高い樹木が選ばれ、より自然の涵養が進むなどが考えられるが、今後の検討課題である。自然環境性の重みを0として経済性のみを重視するなど恣意的な運用とならないよう、草原の保全や回復の専門家である保全生態学者の指導のもとで各ステークホルダーが議論して重みを定めてゆくことが必要と考えられる。

本研究に用いた森林簿(森林のデータ)は、森ナビふくいで一般公開されているが、閲覧のみとなる。GIS用のデータとして利用するため、申請の上で利用した。他県では、オープンデータとして公開している都道府県もあり、少なくとも北海道、茨城県、長野県、栃木県、静岡県、山口県、福岡県、熊本県は公開している。今回は入手が容易であり、現地確認のためにも遠方とならない福井県で適地検討を行ったが、森林簿のデータさえあれば、他県や他国にも発展が可能であると考えられる。

謝辞

適地検討にあたり、福井県農林水産部森づくり課様より森林簿のデータをご提供いただきました。この場をお借りして、心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) IPCC, 第6次評価報告書, 2021-2022
- 2) 資源エネルギー庁, エネルギー白書 2024, 2024
- 3) 資源エネルギー庁, 令和3年5月13日 基本政策分科会資料, (accessed Nov.29 2024), https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_004.pdf
- 4) 経済産業省, 再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会(第1回), (accessed Feb.25 2025), https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/saisei_kano_energy/pdf/001_03_00.pdf
- 5) 環境省, REPOS(リーボス(再生可能エネルギー情報提供システム))
- 6) Theocharis Tsoutsos, Niki Frantzeskaki, Vassilis Gekas, Environmental impacts from the solar energy technologies, *Energy Policy*, 22(3), 289-296, (2005), [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- 7) Muhammad Tawalbeh, Amani Al-Othman, Feras Kafiah, Emad Abdelsalam, Fares Almomani, Malek Alkasrawi, Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook, *Science of The Total Environment*, 759, (2021), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- 8) Michael Jefferson, Safeguarding rural landscapes in the new era of energy transition to a low carbon future, *Energy Research & Social Science*, 37, 191-197, (2018), <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.005>
- 9) Juan M. Sánchez-Lozano, Jerónimo Teruel-Solano, Pedro L. Soto-Elvira, M. Socorro García-Cascales, Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556, (2013), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>
- 10) Qing Yang, Tianyue Huang, Saige Wang, Jiashuo Li, Shaoqing Daig, Sebastian Wright, Yuxuan Wang, Huaiwu Peng, A GIS-based high spatial resolution assessment of large-scale PV generation potential in China, *Applied Energy*, 247, 254-269, (2019), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.005>

- 11) O. Nait Mensour, B. El Ghazzani, B. Hlini, A. Ihlal, A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco, *Energy*, 182, 900-919, (2019), <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.063>
- 12) Canan Kocabaldir, Mehmet Ali Yücel, GIS-based multicriteria decision analysis for spatial planning of solar photovoltaic power plants in Çanakkale province, Turkey, *Renewable Energy*, 212, 455-467, (2023), <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.075>
- 13) Noam Shriki, Raul Rabinovic, Kobi Yahav, Ofir Rubin, Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel's site suitability analysis as a case study, *Renewable Energy*, 205, 105-124, (2023), <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.057>
- 14) 谷本丈夫, 明治期から平成までの造林技術の変遷とその時代背景: 特に戦後の拡大造林技術の展開とその功罪, *森林立地*, 48(1), 57-62, (2006), https://doi.org/10.18922/jjfe.48.1_57
- 15) 林野庁, スギ花粉発生源対策推進方針, (accessed Nov.29 2024), https://www.rinya.maff.go.jp/sin_riyou/kafun/suishin.html
- 16) 井上雅仁, 高橋佳孝, 半自然草原の保全と再生に向けた新しい取り組み, *景観生態学*, 14(1), 1-4, (2009), <https://doi.org/10.5738/jale.14.1>
- 17) 環境省, 生物多様性国家戦略 2012-2020, (accessed Nov.29 2024), https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives5/files/2012-2020/01_honbun.pdf
- 18) 境翔悟, 一ノ瀬友博, 中山間地域における土地利用の変遷とその要因の分析, *都市計画報告集*, 17(4), 393-399, (2019), https://doi.org/10.11361/reportscpij.17.4_393
- 19) 井上雅仁, 高橋佳孝, 半自然草原の保全と再生に向けた新しい取り組み, *景観生態学*, 14(1), 1-4, (2009), <https://doi.org/10.5738/jale.14.1>
- 20) 八巻一成, 茨城県における半自然草原の変遷と戦略的保全の重要性, *ランドスケープ研究*, 84(5), 609-614, (2021), <https://doi.org/10.5632/jla.84.609>
- 21) Quentin Lambert, Armin Bischoff, Morgane Enea, Raphael Gros, Photovoltaic power stations: an opportunity to promote European semi-natural grasslands?, *Conservation and Restoration Ecology*, 11, (2023), <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1137845>
- 22) 林野庁, 令和5年度 森林・林業白書, (accessed Nov.29 2024), https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r5hakusyo_h/all/index.html
- 23) 谷 誠, 玉井 治, 鶴田 二, 野口正二, 日本森林学会企画シンポジウム報告「収穫期を迎えた人工林における資源循環利用と水土保全との両立」, *森林科学*, 80, 42-45, (2017), https://doi.org/10.11519/jfsk.80.0_42
- 24) 小松光, 篠原慶規, 大槻恭一, 管理放棄人工林にお水を助長するか, *水利科学*, 56(6), 68-90, (2013), https://doi.org/10.20820/suinkagaku.56.6_68
- 25) 篠原 慶規, 井手 淳一郎, 東 直子, 小松 光, 久米 朋宣, 智和 正明, 大槻 恭一, 管理放棄されたヒノキ人工林における樹冠遮断量の計測, *日本森林学会誌*, 92(1), 54-59, (2010), <https://doi.org/10.4005/jjfs.92.54>
- 26) 林野庁, 都道府県別森林率・人工林率(令和4年3月31日現在), (accessed Nov.29 2024), <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/r4/1.html>
- 27) 国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサイト, (accessed Nov.29 2024), <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>
- 28) 環境省, 地域脱炭素のための促進区域設定等に向けたハンドブック(第4版)
- 29) NEDO, 日射量データベース閲覧システム, (accessed Nov.29 2024), <https://appwww2.infoc.nedo.go.jp/appwww/index.html>
- 30) R.W. SAATY, The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, *Mathematical Modelling*, 9, 161-176, (1987), [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)