

競走系による太陽光発電パネル設置数変動の数理モデル

入会申請中 筑波大学 *綿引 由美 WATAHIKI Yumi 05000780 筑波大学 安東 弘泰 ANDO Hiroyasu

入会申請中 筑波大学 野口 宇宙 NOGUCHI Takahiro

1. はじめに

地域社会における土地利用において、変動性再生可能エネルギーの太陽光発電の大量導入による影響が生じている。耕作放棄地を含む遊休地に太陽光パネルが乱立は、既に地域社会の土地利用変容が顕在化しつつある。特に、50kWh以下の小規模発電は導入数が突出して多く、2021年時点では、国内導入件数の95%に及んでいる。再生可能エネルギーの主力電源化に向けて、供給力としての役割を果たすことと同時に、地域のエネルギー需給と調和する最適化の研究は緊急度が高い。

本論文では、地域社会の土地利用の一モデルとして、太陽光パネルの利用面積の変化を資源競争系の微分方程式で記述することを試みる。地域社会の限られた土地に関して、主として農地として利用された時代から、減反政策、高齢化と人口減少などとともに耕作放棄地が増え、さらに太陽光発電パネル設置数が増加していく過程を模擬する。また、保安義務や維持義務などの法規制を設けないこと、太陽光パネルの設置需要の増加率の大きさにより、農地が耕作放棄地へ、さらに太陽光パネル設置地へと変遷していく過程を数値シミュレーションにより示す。図1には茨城県石岡市上曽地区の耕作放棄地と太陽光発電の設置場所を示している。ほとんどが小規模型であり、いまなお建造による設置が増大している。周囲には耕作放棄地があり、調和ある土地利用には喫緊の課題となっている。



図1：耕作放棄地と小規模太陽光発電
(石岡市上曽地区の現状)

2. モデル

以下のようなLotka-Volterra型の数理モデルを検討する。

$$\frac{dy_1}{dt} = y_1(r_1 - \beta_1 y_1 - \alpha_1 y_1 y_2)$$

$$\frac{dy_2}{dt} = y_2(r_2 - \beta_2 y_2 - \alpha_2 y_1 y_2)$$

ここで、変数 y_1 は太陽光パネルの設置に要する土地面積、 y_2 は農地に対応する土地面積であり、それぞれ時間と共に変動可能とする。また、ここでは簡単のために地域の土地総面積を S として固定する。従って、 $S > y_1 + y_2$ を満たす。上記の微分方程式の初期値は、まず $y_1(0) = \delta > 0, y_2(0) = S - y_1(0)$ として、 δ は十分に小さい値とする。つまり、初期はほとんどの土地を農地として利用していることを意味する。本モデルでは、 $S - y_1 - y_2$ を耕作放棄地として定義する。

パラメータ $r_1, r_2, \beta_1, \beta_2$ はそれぞれ、太陽光パネルの増加率、農地の増加率、太陽光パネルの設置の利用者間競争係数、農地の利用者間競争係数である。また、 α_1, α_2 は共に太陽光パネルの設置と農地利用間の競争係数であり、ここでは簡単のため、 $\alpha_1 = \alpha_2$ とする。次に、ある地域の土地面積 S に小規模の太陽光発電が大量に導入された場合の地域内の電力コストの共食い効果と事業の成立性について検証する。太陽光発電は、晴れた昼間発電では地域の需要を超えた場合は限界費用0円または負の価格となることが知られている。ここでは、簡単のため、電力の卸価格が0円またはマイナスとなった場合は事業の持続性が困難となり、蓄電池などの設備投資をおこなわないこととする。また、発電設備と電力設備の空間的な乖離を解消する送電システムの投資も行わないこととする。本条件における地域内における適正な平衡、すなわち、太陽光発電の設置に要する土地面積と農地面積の関係性についてシミュレーションする。これは、初期値設定を $y_1(0)$ 優位として扱う。

3. シミュレーション結果

図2に農地と太陽光パネル、および耕作放棄地としての土地利用に関する面積の時間変化を示す。ここでは、太陽光パネルの設置に関する規制を設けていない場合を想定している。同様に図3では、太陽光パネルの設置規制を設けた場合の結果を示す。規制

に関する制御パラメータは、 β_1 に相当する。加えて図4では、太陽光パネルの面積が多くを占めているという初期値 $y_1(0) < y_2(0)$ という設定を考え、他のパラメータは規制ありの場合と同様である。 β_1 以外のパラメータは図2~4のシミュレーションでは全て固定している。

図2,3いずれにおいても初期の段階では、農地面積が時間と共に減少し、耕作放棄地が増加することがわかる。ここで、図2においてさらに時間が経過すると耕作放棄地が太陽光パネルに置き換わることがわかる。一方、図3では設置規制が効くために太陽光パネルの設置面積は頭打ちになり、農地の利用面積も規制がない場合に比べて大きくなっていることがわかる。さらに、図4においては太陽光パネルの共食い効果としてその利用面積が減少している。逆に、太陽光パネルが減少した分、農地の面積が増加している。この場合の放棄地は、太陽光パネルの放棄地を含むと考えられる。

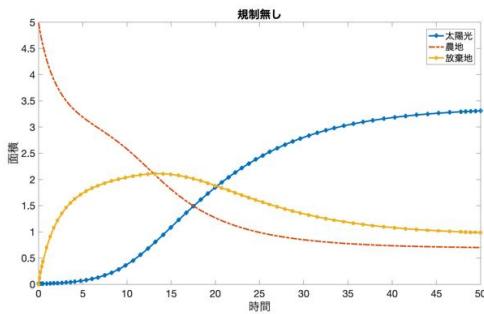


図2: 利用面積の遷移 (規制無し)

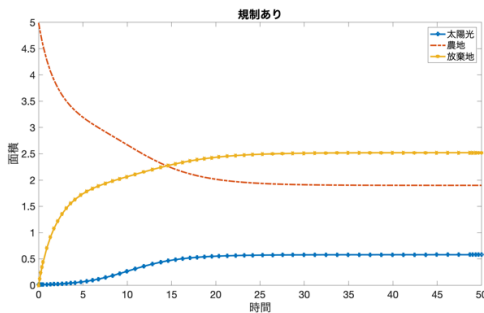


図3: 利用面積の遷移 (規制あり)

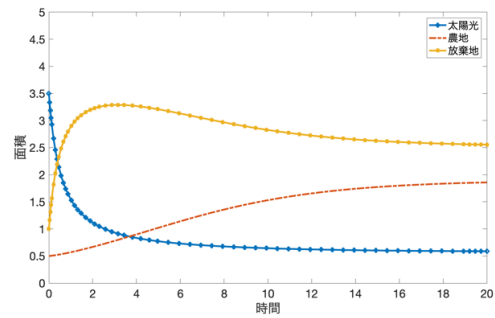


図4: 利用面積の遷移 (太陽光設置の共食い)

3. 終わりに

今回のシミュレーション結果から、地域の土地利用における再生可能エネルギー導入の平衡点が存在することを示すことができた。また、その平衡には経済的合理性が大きく作用することを示すことができた。再生可能エネルギーの増加による供給コストの限界費用の発生は、自らの事業投資を抑制して、事業継続に大きな影響を及ぼすことが懸念される。今回の研究発表では、小型の太陽光発電の地域内への大量導入によるアセスメントとして本シミュレーションが有用であることを示すことができた。均衡を超える状態での導入量を最適化する研究の継続が、現実的な地域社会には必須である。脱炭素社会に向けた再生可能エネルギーの導入プロセスの最適化につなげるモデル検証、アセスメント確立には数理モデルによる平衡、均衡導入数をさらに精度よく計算することが求められる。今回の研究では、触れていない気象変動に伴う調整力電源なども地域の気象データをいれた評価や蓄電池として分散電源として活用が期待される次世代モビリティの導入台数なども変数として環境収容力を検証することが課題となる。

参考文献

- [1] 変動性再生可能エネルギー大量導入時の電力部門の経済性評価—モデル分析からのインプリケーション, 日本エネルギー経済研究所, 松尾雄司
- [2] Lotka, A. J., "Contribution to the Theory of Periodic Reaction", Journal of Physical Chemistry A|J. Phys. Chem., 14 (3), pp 271-274 (1910)
- [3] Ji Yoon Kim et al., "Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats", (2021)