

13. 種分布モデルを用いた 世界の灌漑農地の分布の分析

伊勢 拓人¹・花崎 直太²

¹非会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒112-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: ise-takuto063@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒112-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

国立環境研究所 気候変動適応センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: hanasaki@nies.go.jp

生態学の分野で用いられる種分布モデルを用いて世界における灌漑農地の空間的分布の分析を行うことを試みた。灌漑農地の分布を説明変数として人口、アルベド、天水と完全灌漑時の収量比（以下収量比）そして日射量を選びモデルを適用したところ、人口が各グリッドにつき200万人より少なすぎず、アルベドが0.2付近で、収量比が0.5~0.7より小さく、日射量が250~300W/m²である地域に灌漑農地が多いことがわかった。また構築されたモデルを用いて潜在的な灌漑農地の空間分布を推定したところ、多くの地域で実際の灌漑農地の分布と一致した。

Key Words : *species distribution model, irrigated area*

1. はじめに

農地は土壌水分量を管理できる灌漑農地と天水農地に分かれる。世界の灌漑農地は全農地の20%に満たないが、世界の全農産物の40%程度を生産するとされる。灌漑農地は、近年成長率が鈍化しているものの、世界の総人口が増え続ける中、食料生産の鍵を握っている。また、気候変動による降水量や蒸発散量の変化に適応するための一つの方策としても捉えられる。

Hanasaki et al. (2016)¹⁾は世界の海水淡水化プラントの分布と気象・社会経済データを重ね合わせ、乾燥指数、海岸までの距離、一人当たりGDPから現在の世界の海水淡水化プラントの地理的分布がおおむね推定できることを見出した。Ai et al.(2022)²⁾は生態学の分野で主に使用される種分布モデルを用いてこの研究を発展させた。Ai et al.では、Hanasaki et al.(2016)の3つの説明変数に年間の生活用水と工業用水の使用量を加え、生態学での標準的な手法に則って種分布モデルを適用したところ、海水淡水化プラントは乾燥指数が低く、海からの距離が近く、一人当たりGDPが大きく、また水の使用量が多い地域にあることが明らかになり、種分布モデルにおいて、分布対象を社会インフラとして適用しても有効性があることを示した。

本研究ではこの結果を踏まえ、この種分布モデルの分

布対象を灌漑農地として分析することで、灌漑農地がどういった場所にできやすいのかについて把握することを目的とした。

2. 方法

(1) 種分布モデル

生態学で主に使用される種分布モデルとは対象生物の空間的な分布データと、その対象の分布の背景にある説明変数の空間的データを比較し、確率分布関数にフィッティングすることで、どの説明変数が対象の分布とどういった関係があるのかを分析するものである。また、この分析結果である説明変数の寄与度をもとに、潜在的な対象生物の空間的な分布データを推定することができる。

各説明変数の空間的データを対象生物の空間的な分布データと比べるにあたり、一般化線形モデル (GLM : generalized linear model) と一般化加法モデル (GAM : generalized additive model) の2つの回帰モデル、ランダムフォレスト (RF : random forest) と一般化ブースティングモデル (GBM : generalized boosted regression model) の2つの機械学習モデルの計4つのモデルについてRパッケージを用いてそれぞれフィッティングした。

(2) 説明変数と被説明変数

本研究では灌漑農地の存在を分析対象（被説明変数）とし、その説明変数としては、人口、アルベド、天水和完全灌漑時の収量比（以下収量比）そして日射量を用いることとした。

対象となる灌漑農地のデータはSiebert et al. (2005)³⁾より、説明変数のデータはそれぞれCIESIN and CIAT (2005)⁴⁾ Dimyey et al. (2006)⁵⁾, Hanasaki et al. (2018)⁶⁾, Weedon et al. (2014)⁷⁾より得た。いずれもARCGIS形式で各グリッドが $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ のラスターデータである。

グリッド内の灌漑農地面積がかなりばらついていたため、分布の当てはめの精度が保てるように、灌漑農地の占める割合が大きい上位4000個のグリッドを抽出した。

3. 結果

灌漑農地を分析対象とし、その説明変数として人口、アルベド、収量比そして日射量を用いて種分布モデルによる分析を行った結果が図-1と図-2である。

図-1の横軸は各説明変数のパラメータを、縦軸は灌漑農地の表している。上から人口、アルベド、収量比、そして日射量であり、左からそれぞれGLM, GAM, RF, GBMである。人口と収量比は4つのモデル全てで同じ傾向があり、人口と収量比が小さくなると灌漑農地も少なくなることがわかった。なお、人口は取りうる値の範囲（横軸の範囲）に対して感度がある（存在率が変動する）区間が限定的である。アルベド・日射量についてはモデル間で相違があった。アルベドの場合はGLMでは単調増加を示すものの、他のモデルでは0.1~0.15付近で一旦在

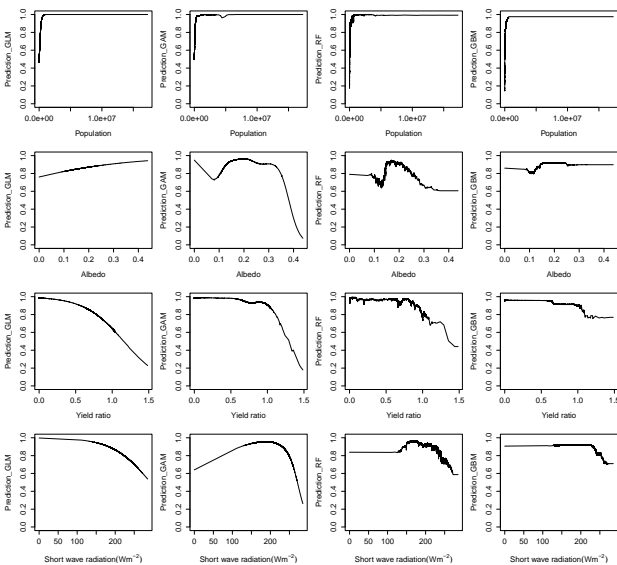


図-1 各説明変数と灌漑農地の存在率の関係

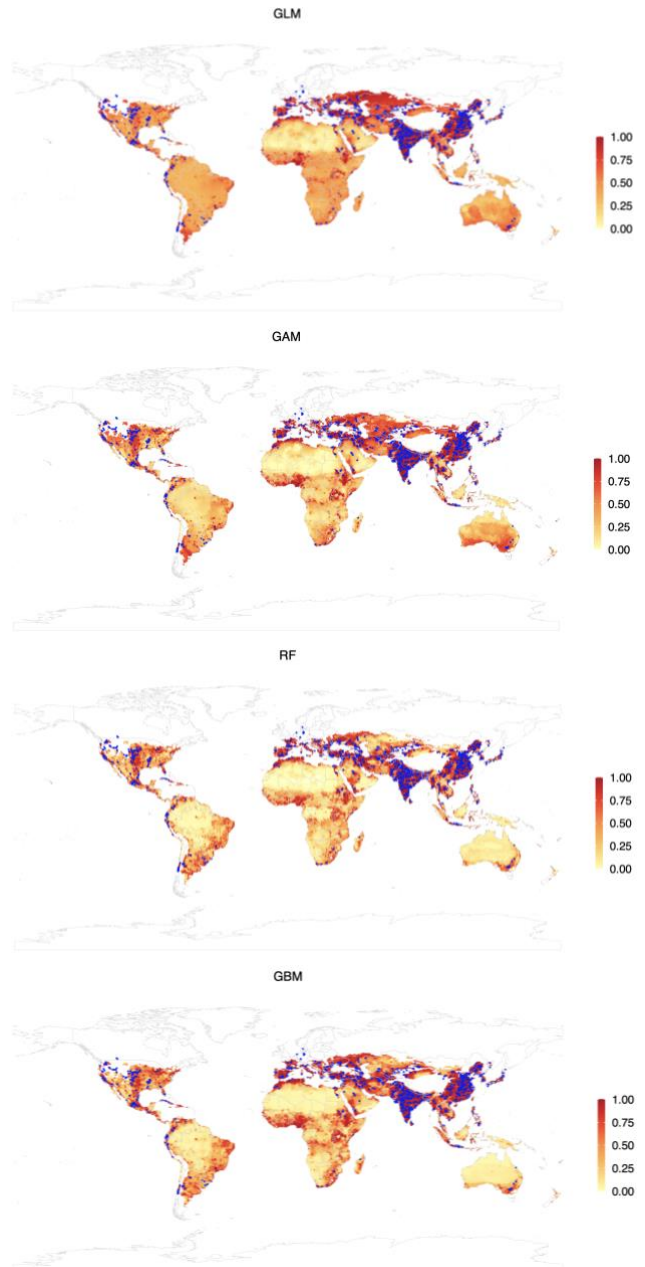


図-2 各モデルにおける潜在的な灌漑農地の空間的分布と実際の灌漑農地の空間的分布
(上からGLM, GAM, RF, GBM)

不在率が下がった後、0.2付近でピークを迎える傾向が共通で見られ、それ以上アルベドが大きくなるとGAMでは存在率が小さくなり、RFとGBMでは灌漑農地の存在率に変化があまりないという結果になった。次に日射量ではGLMは単調減少を示す一方で、他の3つのモデルは250~300W/m²で最大値を示すという特徴が得られた。モデル間で相違はあったものの、灌漑農地は人口が各グリッドにつき200万人より少なすぎず、アルベドが0.2付近で、収量比が0.5~0.7より小さく、日射量が250~300W/m²である地域に多いことがわかった。この結果の背景としては以下のような事実があると考えられる。

1. 人口が少なすぎる地域は基本的に砂漠、雪氷、山岳、

熱帯雨林などが多く、居住・農業に適さない。

2. 食物を育てるには比較的多くの光を必要とするため、アルベドがある程度低く、光を吸収しやすい場所が灌漑農地に適している。また、アルベドが高い地域は砂漠や積雪が多い場所を含んでおり、そういったところが農地の不適地と重なっている。
3. 降水量は少ないが、もし水さえあれば植物がよく育つであろう地域では、積極的に灌漑が行われてきたため農地があつてかつ収量比が小さい。
4. 2と同じだが、植物は比較的多くの光を必要とするため、日射量が多いところが灌漑農地に適している。しかしながら日射量が過多でも植物は枯れてしまうため、日射量の高い高緯度地域には灌漑農地はそれほど集中していない。

図-2は4つのモデルから得られた世界における潜在的な灌漑農地の存在率を表している。赤が農地が存在しやすいことを、黄色が存在しにくいことを表しており、青い点は実際の灌漑農地の場所を表している。中国、インドといった世界有数の灌漑農業地帯をはじめ、地中海沿岸、モロッコ、トルコ～インド亜大陸、アメリカ大陸、南アメリカ大陸の北西部、オーストラリアの南東部では、灌漑農地の潜在的な存在率が高い上、実際にも灌漑農地があるため、これらの地域ではモデルはよく当てはまっていると言える。一方でブラジルの大西洋に面している地域や、ナイジェリアなどのニジェール川の河口付近ではモデルによる灌漑農地の潜在的な存在率が高いにも関わらず、実際には大きな灌漑農地がない地域となっており、これらの地域へはモデルはうまく当てはめられなかったと言える。当てはめられなかった理由として、これらの地域は潜在的に大きな灌漑農地を作ることができる土地であるにも関わらず、外部要因によってそれがいまだ行われていないか、もしくは今回用いた説明変数以外に重要な変数がある可能性のどちらかが考えられる。

また各モデル間を比べてみると、上記に挙げた傾向はいずれのモデルに対しても言えるものの、機械学習であるRFとGBMでは赤色と黄色の濃淡がはっきりしている一方、回帰分析モデルであるGLMとGAMでは濃淡がはっきりしない地域が多く、Ai et al.でも述べられているように回帰分析モデルよりも機械学習モデルの方が精度が良いということがわかった。

4. 結論

世界の灌漑農地がどういった場所にあるのかを明らかにするために、生物学の分野で用いられる種分布モデルの適用の検討を実施し、以下の結論を得た。

・説明変数として人口、アルベド、収量比、そして日射量を用いたところ、人口が各グリッドにつき200万人より少なすぎず、アルベドが0.2付近で、収量比が0.5-0.7より小さく、日射量が250~300W/m²である地域に大きな灌漑農地があることがわかった。ただ、アルベド、日射量と灌漑農地の存在率との関係は各モデル間で相違があった。

・得られた各変数と存在率の関係から潜在的な灌漑農地の空間的分布を推定したところ、中国やインドなどの大灌漑農地地帯を含め、多くの地域で潜在的な灌漑農地と実際の灌漑農地が一致した。しかしながら、ブラジルの大西洋に面した地域や、ナイジェリアなどのニジェール川の河口付近では潜在的な灌漑農地の存在率が高いにも関わらず、実際には大きな灌漑農地は存在していなかった。理由としては外部要因によって灌漑がいまだ行われていないか、もしくは今回用いた説明変数以外に重要な変数がある可能性のどちらかが考えられる。

参考文献

- 1) Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Kakinuma, K., and Kanae, S.: A seawater desalination scheme for global hydrological models, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4143–4157, <https://doi.org/10.5194/hess-20-4143-2016>, 2016.
- 2) Ai, Z., Ishihama, F., and Hanasaki, N.: Mapping Current and Future Seawater Desalination Plants Globally Using Species Distribution Models, *Water Resources Research*, 58, e2021WR031156 2022.
- 3) Siebert, S., Döll, P., Hoogeveen, J., Faures, J. M., Frenken, K., and Feick, S.: Development and validation of the global map of irrigation areas, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 535-547, 10.5194/hess-9-535-2005, 2005.
- 4) Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) Columbia University, and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): Gridded Population of the World Version 3 (GPWv3): Population Grids, Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) Columbia University, Palisades, NY, 2005.
- 5) Dirmeyer, P. A., Gao, X. A., Zhao, M., Guo, Z. C., Oki, T. K., and Hanasaki, N.: GSWP-2 - Multimodel analysis and implications for our perception of the land surface, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87, 1381-1397, 10.1175/BAMS-87-10-1381, 2006.
- 6) Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Pokhrel, Y., and Kanae, S.: A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 789-817, 10.5194/hess-22-789-2018, 2018.
- 7) Weedon, G. P., Balsamo, G., Bellouin, N., Gomes, S., Best, M. J., and Viterbo, P.: The WFDEI meteorological forcing data set: WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data, *Water Resources Research*, 50, 7505-7514, 10.1002/2014WR015638, 2014.