

循環型林業の確立に向けた高精度なスギ人工林適地判定マップの構築

令和 6 年度～令和 7 年度
森林チーム 松本 純

1. 目 的

林業の低コスト化及び CO₂ 吸収源対策等を目的として、林野庁では令和 3 年度に間伐特措法を改正し、成長に優れた苗木（特定苗木）のポテンシャルを効率よく発揮させるために「植栽に適した区域」を設定する制度が創設された¹⁾。スギの植栽適地について、一般的に温暖な気候を好み、谷地形や斜面下部で成長が良いことは知られているものの、県内全域の生育適地が一目で識別可能な高精度のマップは全国的にも作られていない。

近年、解析技術の進歩により全国的に航空レーザ測量データと AI 等の技術を活用した地位（土地の生産力を表す指標）等の解析研究が進んでいる。立地条件（気象、地形など）と樹高の関係を学習させることで、GIS 上で適地を判定する高精度な手法に関する先行研究も行われている²⁾。大分県では航空レーザ計測（計測密度 4 点以上/m²）が行われた地域が民有林全体の 76%を占めるなど、データ解析が可能な環境を有することから、先行研究を参考にして植栽に適した区域を可視化する適地判定マップの構築を試みた。

今回はマップ化にあたり精度を高めるための手法確立に向けて、学習対象やスケールの違いが推定精度に与える影響について検討したので報告する。

2. 方 法

1) データ処理

今回作成する「適地判定マップ」は地形及び気象データ、林齢等（以下、特徴量と記す）から推定した 40 年生平均樹高（地位）を 25m メッシュで示したマップである。県内全体のマップを作成する前段階として、大分県玖珠郡玖珠町（以下、玖珠町と記す）のマップを作成した。

玖珠町は大分県中西部の内陸に位置し（図-1）、標高 1,000m を超える山地を擁する。県内では比較的冷涼な気候で、山間部は降水量が多い。隣接市の日田市と同様、林業が盛んな地域である。

玖珠町のマップ作成にあたり、各種特徴量と樹高の関係を学習させる必要があるため、以下のデータ処理を行った。

(1) スギ林冠高メッシュデータの調整

別府市、由布市、大分市、津久見市、姫島村を除く 13 市町の航空レーザ測量データ（4 点/m²）



図-1 大分県全域図
斜線部は DCHM 未作成の区域を示す。

を用いた（図-1）。点群データを25mメッシュのDCHM（林冠高モデル；メッシュ内の平均樹高を示す）に変換した後、林相区分図と重ねることでスギの樹高データを抽出し、県の収穫表に照らして外れ値の棄却（上限：99%水準、下限：95%水準）を行った。

（2）特徴量抽出

今回の機械学習において活用した特徴量は表-1のとおりである。気象データは国土数値情報³⁾及びWorldCLIM⁴⁾から取得した。地形情報は国土地理院が公開している5mメッシュDEM⁵⁾を加工することで作成した。林齢は大分県が保有している森林計画図から、地質はシームレス地質図⁶⁾から、HANDは環境省生物多様性センター⁷⁾から取得したものを25mメッシュに加工した。DCHMの各メッシュに各種特徴量を対応させ、機械学習に用いた。

表-1 使用した特徴量

カテゴリ	特徴量
気象	降水量、最高気温、日射時間；各1, 4, 7, 10月、WI（暖かさの指標）、PRS（夏季降水量）、PRW（冬季降水量）、TMC（最寒月平均気温）
地形	傾斜、斜面方位、集水面積、TWI（土壌湿潤係数）、粗度、TPI（地形的位置指数）、TRI（地形起伏指数）、PISR（潜在的入射太陽放射量）、TVF（地形視認率）、SVF（空視認率）、AVD（平均視認距離）；各25, 50, 100mメッシュ、標高
その他	林齢、地質、土質、HAND（最近接水路鉛直距離）

（3）機械学習による樹高推定及びマップ化

玖珠町のスギDCHMを目的変数、各種特徴量を説明変数として機械学習による樹高推定モデルを作成した。棄却後の対象地データを80:20に分割し、前者を学習データ、後者をテストデータとして使用した。モデルはLightGBMを採用し、今回は過学習を抑えることを目的として反復回数を100回に設定した。先行研究^{1), 7)}に従い、バイアス補正を行った。学習林齢を40に固定した各種特徴量から40年生平均樹高を推定し、マップに反映させることで25mメッシュの適地判定マップを構築した。

2) データの精度検証

（1）玖珠町における精度検証

1)（3）で推定したテストデータにおける樹高を実値と比較することで精度を検証した。評価には、テストデータにおける推定値と実測値の相関係数（Spearmanの順位相関係数）を用いた。作成したマップについて並びに有効な特徴量を基にして、スギの高い成長が見込める条件について検討を行った。

（2）異なる学習スケールで出力されるマップとの比較

テストデータよりも広範囲を学習データとした場合の精度について検証した。検証用のテストデータは（1）と同様玖珠町である。スケールの異なる学習データの出力結果に対する影響について検証するため、①日田市、玖珠町、九重町の3市町 ②前処理で作成した13市町のデータをそれぞれ学習データとして用い、出力されたマップ及び精度について、（1）で作成したマップ学

習との比較を行った。なお、玖珠町のデータは 80:20 に分割し、前者を学習データに、後者をテストデータとして使用している。

(3) 対象地域外を学習データとして出力されたマップとの比較

全県下でマップを作成する場合、航空レーザ測量実施の有無等により、マップに大きな空白が生じるケースが想定される。対象と隣接する地域を学習データとして、対象地域のマップを作成することで空白部分を穴埋めした場合にどの程度の精度が見込めるかについて検証した。検証用のテストデータは(1)と同様玖珠町である。①日田市 ②九重町 ③宇佐市、中津市の2市 ④①～③の4市町のデータをそれぞれ学習データとして用い、出力されたマップ及び精度について、(1)で作成したマップとの比較を行った。

3. 結果及び考察

(1) 玖珠町における精度検証

玖珠町におけるスギ 40 年生平均樹高の推定値のマップを図-2に示す。推定精度は 87%と高い精度を示した。推定された樹高の範囲は 14.8～26.8mで、大分県収穫予想表⁹⁾の地位Ⅰ～Ⅲにおける樹高の範囲が 14.8～27.1mであることを踏まえると概ね良好な樹高の範囲を示した。重要度が高かった林齢以外の特徴量の上位5つを抽出すると、標高、PISR (50m)、10月最高気温、1月降水量、集水面積 (25m) だった。標高並びに最高気温は温度条件、PISRは光条件、集水面積並びに降水量は水分条件の指標である。今回の結果では、標高が低く、気温が高く、集水面積が広い谷地形で、降水量が多い、つまり温度条件と水分条件の良い場所で成長が良いことが確認された。

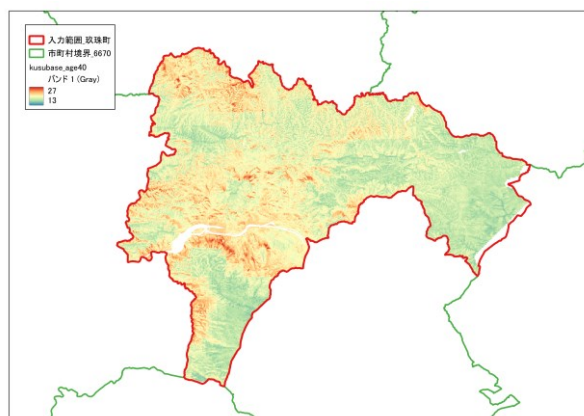


図-2 玖珠町のデータを学習した玖珠町の適地判定マップ

推定精度: $\rho=0.87$

樹高範囲: 14.8～26.8m

一般的に、植物の成長は光条件、水分条件に加え一定の温度が必要であり、玖珠町のような大分県内で比較的冷涼な地域では温度条件による影響が強いと考えられた。一方で、微地形における光条件については PISR の数値が低い、つまり光環境が悪いほど成長が良くなる傾向が確認された。日照条件が良い場所では地表面の蒸散が良く水分条件が悪化する傾向にあることが原因の一つである可能性も示唆されたが、詳細については今後も更なる検討が必要である。

(2) 異なる学習スケールで出力されるマップとの比較

①日田市、玖珠町、九重町の3市町を学習データとした場合の推定結果を図-3に示す。推定精度は 84%で、玖珠町単体を学習データとした場合よりも低下した。地位が高い場所、低い場所の推定については大きな差はなかったが、推定樹高の上限及び下限値が低下した。有効だった特徴量は標高、PISR (25m)、7月降水量、集水面積 (25m)、PISR (50m) と近い傾向だった。

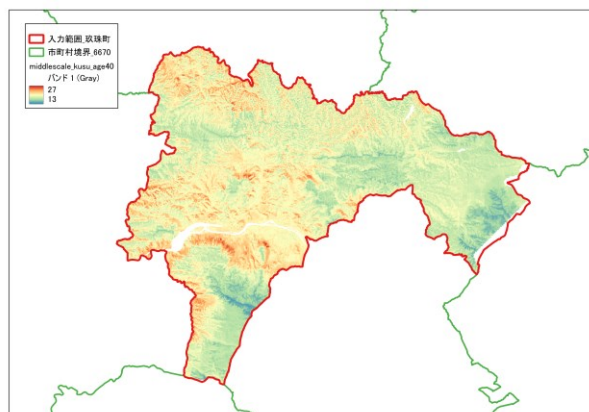


図-3 日田市・玖珠町・九重町のデータを学習した玖珠町の適地判定マップ

推定精度: $\rho=0.84$

樹高範囲: 13.8~25.9m

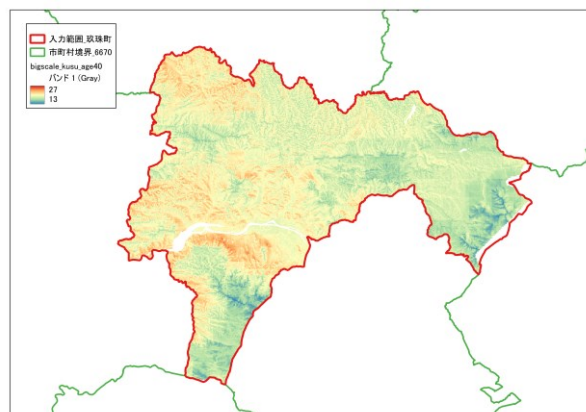


図-4 県内13市町のデータを学習した玖珠町の適地判定マップ

推定精度: $\rho=0.83$

樹高範囲: 13.0~24.5m

②大分市、別府市、由布市、津久見市、姫島村を除く13市町を学習データとした場合の推定結果を図-4に示す。推定精度は83%であり、先の3市町を学習データとした場合と同程度だった。地位の高低に関する傾向は大きな影響はなかったが、推定樹高の上限値及び下限値はさらに低下した。有効な特徴量は4月降水量、4月最高気温、標高、集水面積(25m)、10月降水量と水分条件及び気象条件に偏る傾向が見られた。

学習スケールを大きくするほど精度が低くなり、樹高推定の上限値及び下限値が低くなる傾向が確認されたことから、より精度の高いマップを作成する場合は学習スケールを下げる 것이望ましいと考えられた。

(3) 対象地域外を学習データとして出力されたマップとの比較

図5~8はそれぞれ①日田市、②九重町、③宇佐市及び中津市の2市、④①~③の4市町を学習データとした場合の推定結果である。各条件において推定精度は80~81%であり、精度は(1)(2)の玖珠町を学習データに含めた場合よりもさらに低下し、上限値が1~3m乖離した。地

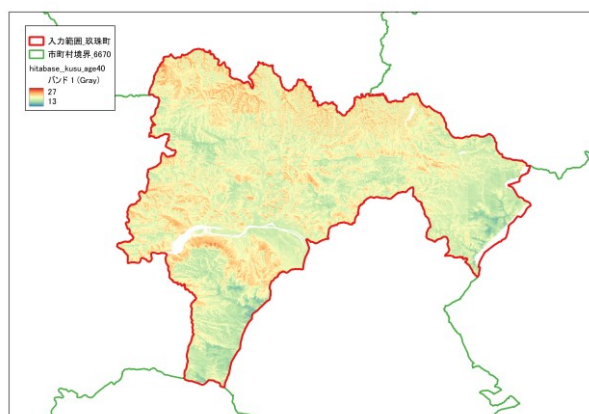


図-5 日田市のデータを学習した玖珠町の適地判定マップ

推定精度: $\rho=0.80$

樹高範囲: 16.1~23.5m

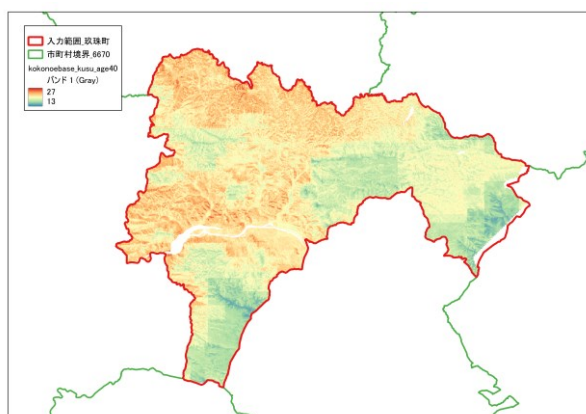


図-6 九重町のデータを学習した玖珠町の適地判定マップ

推定精度: $\rho=0.80$

樹高範囲: 14.0~25.8m

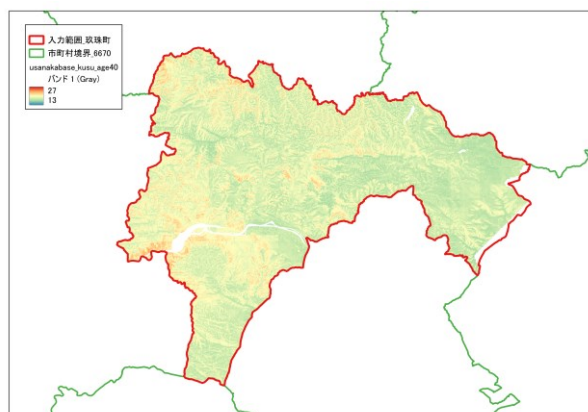


図-7 宇佐市・中津市のデータを学習した
玖珠町の適地判定マップ
推定精度： $\rho=0.81$
樹高範囲：15.2～23.4m

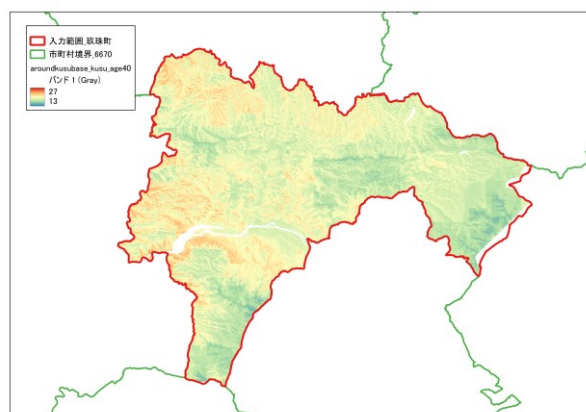


図-8 日田市・九重町・宇佐市・中津市の
データを学習した玖珠町の適地判定マップ
推定精度： $\rho=0.80$
樹高範囲：14.9～24.8m

位の高低の傾向（マップの濃淡）については、学習を行った地域から近い場所では比較的高精度だったが、離れるほど低下する傾向が②九重町、③宇佐市及び中津市の2市を学習データとした場合で確認された。①日田市、及び④玖珠町を囲う①～③の4市町を学習データとした場合は地位の濃淡は概ね再現できていた。

以上のことから、データのない地域において近傍地域の推定モデルを用いて外挿した場合、一定程度の精度は見込めるものの、境界から離れるほど精度が低下する場合があるため、実行する場合は可能な限り標高の分布など立地条件の近いデータを用いる、あるいは対象地域を囲う範囲を学習データとして用いることが望ましいと考えられた。

4. まとめ

より精度の高いスギ適地判定マップの作成に向け、玖珠町をモデルとした精度検証、並びに学習データのスケール、及びデータのない地域への対応を検討した。玖珠町での推定では87%と高い精度を達成できた。一方で、他の市町では推定精度は概ね80%程度となる（未掲載）など、精度に地域差が生じており、その要因の一つとして森林簿記載の林齢の精度が影響している可能性がある。

精度の高い適地判定マップを作成するためには、学習データのスケールを可能な限り小さくすることが望ましいと考えられた。一方で、学習スケールが過小になるとデータ不足により精度が低下することから、必要最小限のスケールを見極めながら処理を進める必要がある。

学習データと対象地域は基本的に同一であることが望ましいが、やむを得ない事情で近傍地域のモデルを用いて推定を行った場合でも一定の精度を有したマップの作成は可能だと考えられた。ただし、対象地域を学習データとした場合よりも精度は確実に低下するほか、学習対象によっては境界から離れるほど判定が困難になるなど課題も多い。また、この場合は対象地域のテストデータを作成できないことから精度を検証する手段が存在しないことも注意が必要である。

今回の研究では玖珠町のデータを用いてマップ作成を行ったが、今後は有効に作用した特徴量についてより詳細な解析を行い、適切な出力方法について検討を行うほか、現場の声も参考にしながら全県下でのマップ作成を行う予定である。併せて、林齢条件の設定変更による成長シミュ

レーション、及び温度条件の設定変更による気候変動の影響についても検討するなど、推定モデルの汎化性能に関する考察を進めたい。

謝辞

本研究の進行にあたり、森林総合研究所関西支所 中尾勝洋主任研究員には多数の有益な助言をいただいたのでこの場を借りて感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 林野庁：森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法；[2025. 3. 1 参照].
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/sotihou.html>
- 2) K.Nakao, et.al:Foret Ecology and Management 506;119953(2022)
- 3) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサイト． 平年値メッシュデータ；[2025. 3. 1 参照].
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 4) WorldClim；[2025. 3. 1 参照].
<https://www.worldclim.org/>
- 5) 国土交通省：国土地理院ウェブサイト；[2025. 3. 1 参照].
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 6) 産総研地質調査総合センター(2023)20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2, オリジナル版；
[2025. 3. 1 参照].
<https://gbank.gsj.jp/seamless/>
- 7) 環境省自然環境局生物多様性センター：生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）の基礎情報；[2025. 3. 1 参照].
<https://www.biodic.go.jp/Eco-DRR/detail.html>
- 8) C.Piani, et.al:Journal of Hydrology 395;199-215(2010)
- 9) 大分県：松本純ほか． 大分県収穫表改訂調査報告書（平成 31 年 3 月）， p. 8；[2025. 3. 1 参照]. <https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2055193.pdf>