

# 富山県における雪起こし実施回数推定モデルの作成

図子 光太郎（富山県農林水産総合技術センター森林研究所）

## I はじめに

戦後拡大造林期に植栽された人工林の多くが本格的な利用期を迎え、主伐-再造林のながれが今後さらに加速すると予想される。しかし、木材価格の低迷により主伐収益の大幅な増加が見込めないなか、再造林時の植栽や保育に要する経費は人件費などの上昇に伴い年々増加しており、林業の経営環境はより厳しさを増している。とくに多雪地域や豪雪地域では積雪による樹幹の折れ、割れ、曲がりなどの被害抑制および生育や成林率の向上のために雪起こしを必要とする場合がある。その実施期間は、植栽木が積雪深の2~2.5倍に達するまでとされ（竹内 1998）、実施期間が10年以上に及ぶこともまれではなく、こうした地域での林業採算性の確保をより困難なものにしている。雪起こし実施の多寡は林業経営の成否を左右する要因であるにもかかわらず、それらについて十分な検討や見積もりが行われないまま、主伐や再造林に踏み切る事例も散見される。これは、対象林分における雪起こしの実施履歴や経費に関する記録がない、あるいは記録があっても十分に整理・分析がされておらず、有効活用できないことが一因と考えられる。そこで本研究では、富山県農林水産公社から提供を受けた公社営林の施業記録をもとに、県内人工林における雪起こしの実施回数を地形環境因子から予測するための推定モデルを作成したので報告する。

## II 方法

富山県内における雪起こしの実施回数を把握するため富山県農林水産公社（以下、公社）が管理する分収造林地の施業台帳を用いた。公社の分収造林事業は、1966（昭和41）年から2014（平成26）年にかけて、7,459 ha（350事業地）の森林造成を実施した（図-1）。これは県内民有人工林面積の約15%に相当する。公社の施業台帳には各種保育施業を実施した年度および面積が事業地内の小班毎に記載され、雪起こしについては実施本数割合についても記されている。実施本数割合は数%から100%まで事業地や年によって様々である。本研究では事業地毎の雪起こしの実施回数を以下の式のように定義した。

$$y = \frac{\sum_j \sum_i r_{ij} \cdot a_j}{\sum_j a_j}$$

ここで  $y$  は事業地毎の雪起こし実施回数、 $r$  は雪起こし実施木の本数割合、 $a$  は小班面積、 $i$  は実施年度、 $j$  は小班である。

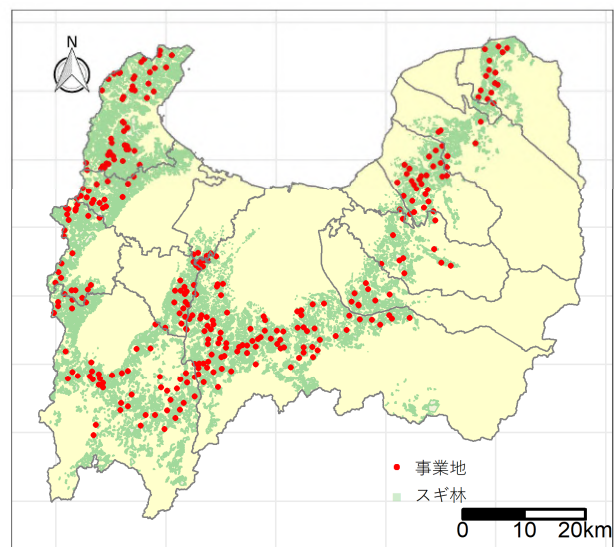


図-1. 公社営林位置図

雪起こし実施回数推定モデルの特徴量として供する地形環境因子として緯度、経度、標高、海岸線からの距離、斜面傾斜、斜面方位（北からの偏差）、縦断曲率、水平曲率、開度、湿潤指数、平均年最深積雪を用いた。このうち、海岸線からの距離、斜面傾斜、斜面方位、縦断曲率、開度（Wilson 1984）、湿潤指数（Beven and Kirkby 1979）はGISに取り込んだ10 mメッシュの数値標高モデルから算出した。平均年最深積雪は相浦ら（2018）が提案したメッシュ気候値2010（気象庁2012）の平均気温と降水量から推定する手法を用い10mメッシュ毎に算出した。各団地の地形環境因子は事業地の範囲ポリゴンに含まれるセル値の平均とした。雪起こし実施回数の推定モデル作成には機械学習の一種であるeXtreme Gradient Boosting（XGBoost）を用いた。XGBoostはGradient Boostingとランダムフォレストを組み合わせたアンサンブル学習であり、他の機械学習手法よりも予測精度において優れているとする結果が報告されている（長谷川・羽森2019）。解析にあたって統計解析ソフトウェアのR version 4.0.2（R Core Team 2020）とそのライブラリーである“xgboost”、“caret”を使用した。

### Ⅲ 結果および考察

含まれる事業地数が概ね20以上になるよう近隣の市町村（ただし、富山市については旧市町村による）を組み合わせることで県内を12の地域に分け、雪起こしの実施回数を比較した（図-2）。全事業地の平均実施回数は2.9回であったが、地域間での差が大きく、地域間に統計的有意差が認められた（ $p < 0.001$ ）。実施回数が特に多いのは県中央部からやや東寄りに位置する上市・立山町であり（平均4.9回）、次いで県中央部の富山市八尾町（平均4.0回）、県南西部の南砺市（平均3.8回）の順となった。一方、県北西部における実施回数は総じて少なく、射水・高岡市では平均1.6回、小矢部市では平均1.3回、氷見市では平均1.0回であった。ここには示していないが、下刈り、除伐など他の初期保育施業について実施回数を同様に地域間で比較したところ、地域による実施回数の差は小さく、地域間による統計的有意差も認められなかった。このように雪起こしは他の施業種に比べ実施回数や経費の地域差が生じやすい施業といえる。

XGBoostを用いた雪起こし実施回数推定モデルの予測値と実施実績との関係を図-3に示した。予測値は実施回数の多い事業地においてやや頭打ちになる傾向を示したが、推定精度の指標である二乗平均平方根誤差（RMSE）は0.91となり、実用的な精度を有することが示された。XGBoostによる推定モデルは推定値を算出するための具体的な数理モデルをもたないことから、用いられた特徴量がモデル内においてどのような働きをするかについて明示するこ

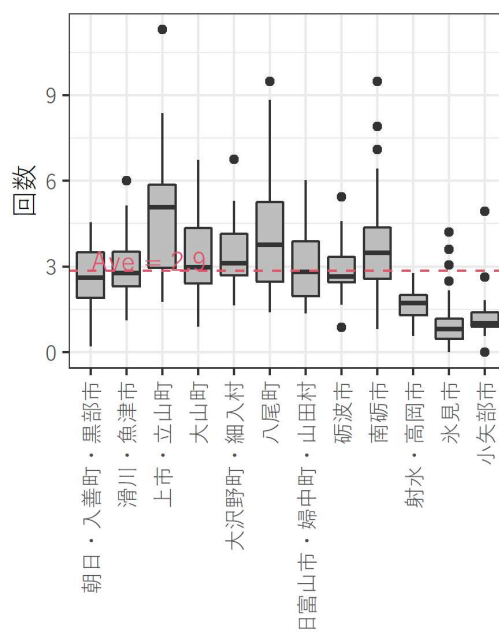


図-2. 地域別の雪起こし実施回数の比較  
箱中の太線が中央値、箱の下端が第一四分位、箱の上端が第三四分位、ひげの両端が箱の長さの1.5倍内にある最大値および最小値、ひげの外の黒丸（●）は外れ値を表す。

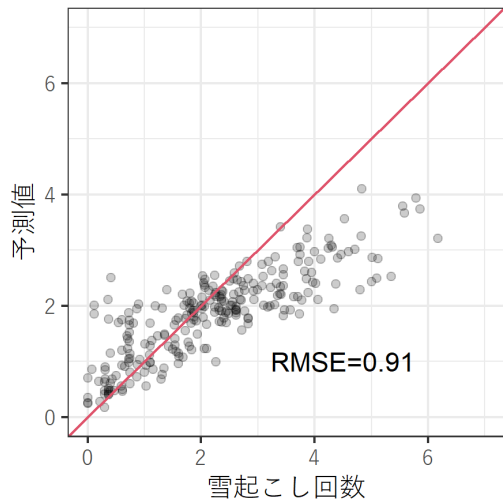


図-3. 雪起こし実施回数の実績と予測値との関係

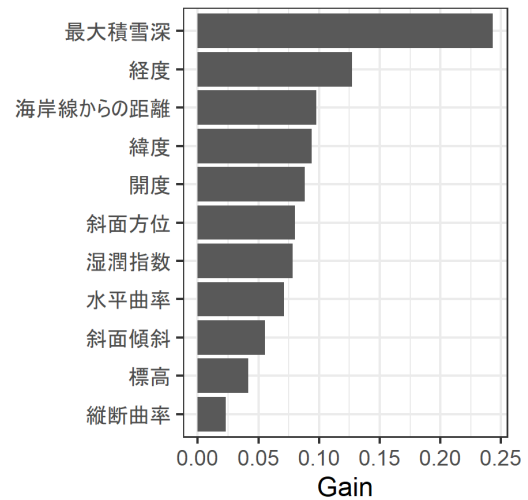


図-4. 推定モデルに投入した特徴量の影響度

とはできない。ただし、作成したモデルに対する各特徴量の影響度については示すことができる(図-4)。それによると雪起こし実施回数に対しては平均最深積雪の影響度が突出した。植栽木の倒伏を引き起こす雪の沈降圧や移動圧は積雪深に応じて連続的に増加することから(石川 1969)、平均最深積雪の影響が顕著となるのは当然の帰結といえる。次いで影響度が高かったのは経度であり、海岸線からの距離、緯度、開度、斜面方位がそれに続く。緯度・経度は積雪深分布推定にはよく用いられる変数である(佐藤 1987; 気象庁 2002)。

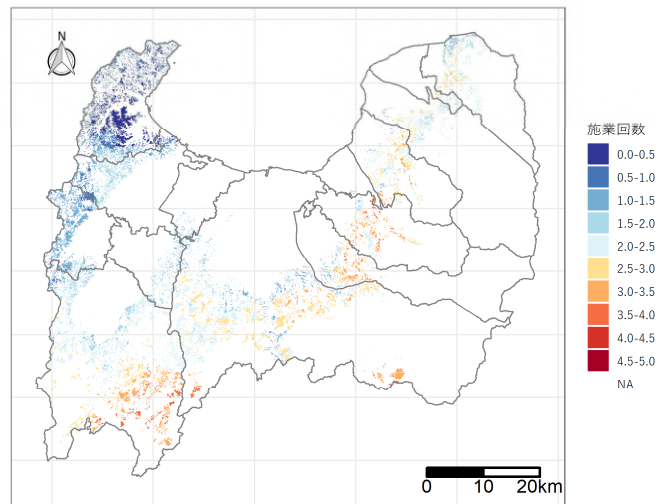


図-5. モデルから推定した県内スギ林における雪起こし回数

また、中峠・北川(1976)は同じ北陸地域の福井県における積雪深を海岸線からの距離と標高とを変数に用いることによってよく説明できるとしている。開度は風の影響を介して生じる積雪深の局所変動をよく説明するとされている(Winstral et al. 2002)。さらに、斜面方位によって積雪深が変化することもよく知られている(岡本ら 2004)。このようなことから、比較的影響度の高かった特徴量は相浦ら(2018)のモデルでは表現しきれない積雪深分布の変動を補完的に説明している可能性がある。そうした一方で、これらの地形環境因子は気温、日射量、降水量、土壌水分量などの分布変動を介し、植栽木の生育に支配的な影響を及ぼすことが知られている(Zushi 2007)。雪起こしの実施回数は積雪深と植栽木の樹高との関係によって決まることを考えると、ここで作成した推定モデルは積雪深分布とスギの樹高生長の双方を反映した結果といえるかもしれない。

作成した推定モデルを用い、県内スギ林における雪起こし実施回数を推定し、マップ化した(図-

5)。県南西部の高標高地帯に実施回数が4回を上回るエリアが広く分布している。雪起こしの実施時における本数割合は平均38%であることから、実施回数が4回を上回る地域では概ね10年以上にわたり雪起こしが必要であることを意味する。その一方で、県北西部の低標高地帯では実施回数が総じて少なく、一部には雪起こしがほとんど必要ないエリアも存在する。雪起こしは労力および経費が他の保育施業と比べても非常に大きい施業であることから、経営的にはできるだけ実施回数を抑えるべきであるのはいうまでもないが、雪起こしの省力はしばしば形質や成林率の低下を招く(平 1987)。したがって、ここで作成した推定モデルやマップを利用し、雪起こしの実施回数や経費を見積もり、採算性の面から経費の妥当性を検討したうえで、主伐や再生林の可否を判定することが重要である。

**謝辞** 本研究の実施にあたり、富山県農林水産公社の皆様にも多大な協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 相浦英春・中島春樹・石田仁 (2018) : 富山県内を対象としたメッシュ平年値の気温と降水量による平均年最深積雪の推定. 日林誌 100 : 174~177
- Beven K. J., and Kirkby M. J. (1979) : A physically based variable contributing area model of catchment hydrology. Hydrol. Sci. Bull. 24 : 43~69.
- 長谷川博康・羽森茂之 (2019) : アンサンブル学習とニューラルネットワーク”じゃらん”データを使った分析. 国民経済雑誌 220 : 17~29
- 石川政幸 (1969) : 多雪地帯の造林と雪. 北方林業 239: 1~3
- 気象庁 (2002) : メッシュ気候値 2000 解説
- 気象庁 (2012) : メッシュ気候値 2010 解説
- 中峠哲朗・北川茂 (1976) : 福井県における積雪深分布の一次近似. 雪氷 37 : 14~21
- 岡本隆・黒川潮・松浦純生・浅野志穂・松山康治 (2004) : 山地の積雪深分布計測における航空レーザスキャナの適用性に関する検討. 水文・水資源学会誌 17 : 529~535
- R Core Team (2020) : The R project for statistical computing (online). <https://www.r-project.org/>. 2021年3月22日参照
- 佐藤啓祐 (1987) : 山形県における積雪環境に関する研究 (1). 山形林試研報 17 : 1~22
- 平英彰 (1987) : スギ根元曲がりの形成機構と抑制方法に関する研究. 富山林研報 12 : 1~80
- 竹内郁雄 (1998) : 初期保育. (林業技術ハンドブック. 林野庁監修, 全国林業改良普及協会), 824~848
- Wilson J. D. (1984) : Determining a topex score. Scot. For. 38 : 251~256
- Winstral A., Elder K., Davis R. E. (2002) : Spatial snow modeling of wind-redistributed snow using terrain-based parameters. J. Hydrometeorology 3 : 524~538
- Zushi K. (2007) : Regional estimation of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) productivity by use of digital terrain analysis. J. For. Res. 12 : 289~297