

風況シミュレーションソフト「RIAM-COMPACT」を用いた風害発生予測手法の汎用性について^{*1}

谷川直太^{*2} ・ 加治佐剛^{*3} ・ 太田徹志^{*2} ・ 溝上展也^{*3} ・ 吉田茂二郎^{*3}

谷川直太・加治佐剛・太田徹志・溝上展也・吉田茂二郎：風況シミュレーションソフト「RIAM-COMPACT」を用いた風害発生予測手法の汎用性について 九州森林研究 63：151-154, 2010 日本の森林では、過去に台風によって甚大な風害が発生している。被害を最小限に抑えるためには適切な対策が急務であり、まずは被害発生の危険性が高い地域を予測する必要がある。しかし、これまで風況因子から風害の要因解析ならびに被害予測を行った研究は不十分であった。本研究では、「RIAM-COMPACT」と称する風況シミュレーションソフトを利用した風害発生予測手法の有効性を検証するため、大分県玖珠郡九重町および由布市に立地する九州電力株式会社社有林の2地域で、台風9119号による風害を予測した。その結果、全体精度は65%以上と高い精度で予測可能であり、同手法の汎用性は高く、様々な地域にも応用可能であることが示された。また、台風による風害が、ある風向の風が吹いていた時間に集中して発生した可能性が高いことが示唆された。

キーワード：台風, 風害, 風況, 被害予測

I. はじめに

わが国は台風の通り道に位置しており、過去には森林で甚大な風害が発生している。久保山ら(2004)は、針葉樹人工林は加齢とともに風害被害率が上昇し、41年生以上の林分では最も高くなることを明らかにしているが、日本の人工林ではこのような高齢林分が増加傾向にある(林野庁, 2007)。また、将来的に台風を含む熱帯低気圧の強度が増大する可能性が高いとされており(IPCC, 2007)、猛烈な強風が発生する頻度の上昇や、これまでの観測を上回るような風速の風が発生する可能性が高まることが考えられる。そのため、日本の針葉樹人工林は、風害が非常に発生しやすい状況へと向かうことになる。森林のもつ公益的機能や木材生産機能を将来も十分に発揮するには、風害発生の要因を明らかにし、被害発生の危険性が高い地域を特定して、植栽樹種の転換や造林の回避といった適切な対策を施すことが急務である。

これまで、林分構造や立地条件に関して風害の要因を解析した研究は数多く存在する(例えば、諫本・高宮, 1992; 福永ほか, 1993)。しかし、実際に被害地域での台風通過時の風況(風の流れの様子)を再現し、風況と風害との関係性を検証した事例はほとんどみられなかった。そこで筆者らは、大分県日田林業地域での台風による風害被害を対象に、「RIAM-COMPACT (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain)」と称する風況シミュレーションソフトを用いて被害を予測し、高い精度の予測が可能であるとの結論を得た(谷川ほか, 2009)。今後、この風害発生予測手法を日本各地で適用するためには、同様

の手法が他地域に対しても適用可能であることを示す必要がある。

本研究では、台風9119号によって発生した別の地域での風害を、日田での検証と同様の風害発生予測手法を用いて予測した。その被害予測の精度から、同手法の汎用性について検証した。なお、本研究では、根曲りや幹折れといった風倒木被害を風害の対象としており、もめや目回りの発生などは含まれていない。

II. 研究手法

1) 対象地

大分県玖珠郡九重町および同県由布市に位置する九州電力株式会社社有林(以下、社有林とする)を対象地とした。1991年当時、社有林全体の約70%がスギ・ヒノキの人工林であった。このうち解析に使用したのは、13, 14林班(以下、A地域とする)と15-17林班(以下、B地域とする)の2地域である。なお、社有林の実質的な管理は、九州林産株式会社(以下、九州林産とする)によって行われている。

2) 使用データ

本研究では実際の被害発生の有無を特定するため、九州林産から提供された小班毎の風害被害データを使用した。本データには台風9119号によって発生した小班毎の風倒木被害本数が記録されている。また、1991年当時の林齢、樹種、小班範囲を特定するため、同様に九州林産から提供された森林調査簿を使用した。

風況シミュレーションの風向を、台風通過時の風向に限定するために、気象庁が発表している地域気象観測所で観測された1時間毎の風速・風向データを用いた。参考とした観測所は、湯布院、

^{*1} Tanigawa, N., Kajisa, T., Ohta, T., Mizoue, N. and Yoshida, S. : The validity of the wind damage assessment method using wind synopsis simulator "RIAM-COMPACT".

^{*2} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. and Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

^{*3} 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

玖珠, 大分, 院内, 竹田, 杵築, 日田, 阿蘇山の計8ヶ所であり, 社有林の最近接となる観測所は湯布院である。

3) RIAM-COMPACT の概要

RIAM-COMPACT は九州大学応用力学研究所が局所的な風況の再現を目的として開発した非定常・非線形数値流体シミュレータであり, 風の流れの衝突・剥離・再付着・逆流などといった複雑地形による地形効果を受けた風況を詳細に再現できる (内田・大屋, 2003)。

4) 解析方法

各小班における台風9119号での被害の有無を九州林産の風害被害データから特定した。本研究では, 被害本数1本以上の小班を「被害有」とした。

また, RIAM-COMPACT を使用して台風通過時の対象地での風況を再現し, 各小班での風況に関する数値 (以下, 風況値とする) を求めた。計算格子へと風を流入させる風向毎でシミュレーションを行い, シミュレーションの計算ステップ毎に算出された瞬間風速の平均値および標準偏差を風況値として用いた。本研究では, 瞬間風速の平均値は平均風速の, 標準偏差は乱流強度と呼ばれる風の乱れ具合の尺度として扱った。シミュレーションの流入風向は, 台風通過時の風向に限定することとしたが, 対象地の最近接観測所である湯布院観測所において18~20時の風向のうち19, 20時の風向データは欠測していた。このため, 湯布院の周囲に位置する他の観測所のデータも参考として対象地での19, 20時の風向を推定し, 結果として, 南南東, 南, 南南西, 南西, 西南西, 西の風を流入風向として風況シミュレーションを行った (図-1)。シミュレーションの計算格子はA, B地域でそれぞれ作成し, そのサイズは縦5 km×横5 km×高さ3.3 km, 水平方向は格子幅100 mの等間隔直交格子で格子数が51×51, 鉛直方向は格子幅が地面付近では約1.7 mで上方に行くに従って約340 mまで大きくなる不等間隔格子で格子数が41とした。変数配置は一般曲線座標系のコロケート格子を用いた。この格子を用いることによって陸地の地形の凹凸をシミュレーションに反映できる。べき指数は7, 計算ステップ数は助走計算, 本計算ともに12500ス

テップ, 流入させる風の風速は一律で10 m/sとした。現実に台風通過時に流入した風の速度は10 m/sとは限らない。このシミュレーションでは当時の実際の風速を求めるのではなく, 相対的な風況値を求めているといえる。

次に各小班での被害の有無と風況値を用いて, 風況値による被害の予測を行った。解析の対象とした小班は, 1991年当時に針葉樹人工林が成林しており, かつ, 植栽後10年以上経過している林分とした。A地域では「被害無」38, 「被害有」28の計66小班, B地域では「被害無」28, 「被害有」33の計61小班を選定し, シミュレーションで得られた小班での風況値を説明変数, 被害の有無を2値の目的変数として, A, B地域それぞれでロジスティック回帰分析を行った。なお, 具体的なサンプル点の位置は小班の重心とした。また, 隣接する風向での風況値や平均値・標準偏差間で相関があるものが複数みられたため, 今回の解析では多変量での分析を行わず, それぞれの説明変数を個別に用いて分析した。ロジスティック回帰分析で得られたモデルからあてはまりの良いものを赤池の情報量基準 (AIC: Akaike's Information Criterion) を用いて選択した。得られたモデルで被害の有無を分類し, 分類精度を評価する指標であるKappa係数が最も大きくなる (精度が最も良いと判断できる) ときの確率を最適閾値とした。さらに最適閾値で被害有無の分類を行い, 全体精度を算出して予測手法の精度を評価した。

III. 結果

表-1に各モデルのAICを示す。A地域では流入風向が南南東のときの平均値のモデルで, B地域では流入風向が西南西の標準偏差のモデルで最もAICの値が小さくなり, それぞれ最適モデルとして選択された。また, B地域では風向が西南西, 西の平均値のモデルにおいてもAICの低下がみられた。

最適モデルによって最適閾値で被害の有無を分類した結果を表-2に示す。実測の「被害無」については予測の正答率が高くなった。しかし, 実測の「被害有」を「被害無」とするものが多くなっていた。図-2は被害分類の結果とサンプル点の位置を示している。全体的には予測の正答した点が塊状に集合していた。一方, A地域の中央部やB地域の南西部のように小班面積が小さく, 実測の「被害有」の点と「被害無」の点が非常に近接するような箇所では予測の誤答が多くみられた。分類の全体精度は, A

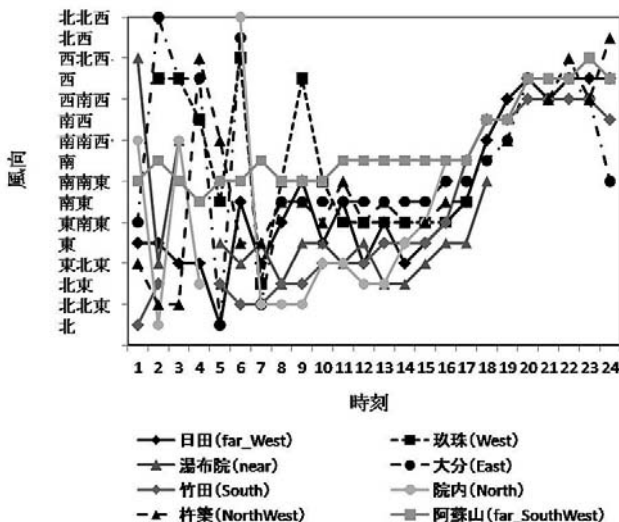


図-1. 台風9119号が通過した日の各気象観測所での1時間毎の風向変化

表-1. 各モデルのAIC

説明変数	A 地域	B 地域
なし	89.97	84.15
平均値	南南東	83.19
	南	93.38
	南南西	92.45
	南西	90.70
	西南西	91.59
	西	90.96
標準偏差	南南東	93.63
	南	92.00
	南南西	93.46
	南西	89.56
	西南西	93.96
	西	90.69

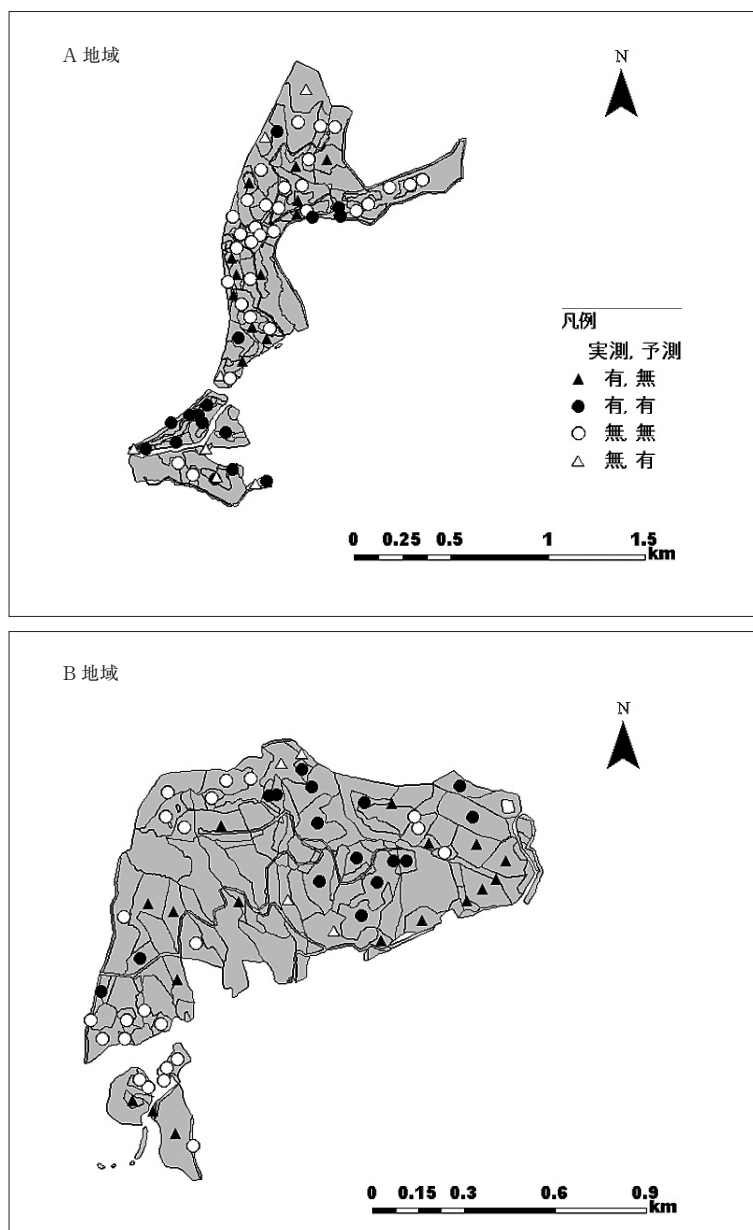
表-2. 最適モデルによる被害分類結果

A 地域				B 地域			
モデルによる 分類結果	実測結果			モデルによる 分類結果	実測結果		
	被害無	被害有	合計		被害無	被害有	合計
被害無	31	12	43	被害無	24	17	41
被害有	7	16	23	被害有	4	16	20
合計	38	28	66	合計	28	33	61

表-3. 最適モデルによる最適閾値での被害分類時の全体精度と Kappa 係数

対象地	モデル	Kappa 係数	全体精度(%)
A 地域	南南東・平均値	0.40	71.2
B 地域	西南西・標準偏差	0.33	65.6
日田* ¹	南南西・標準偏差	0.45	72.6

* 1 : 谷川ほか (2009)

図-2. 被害分類結果とサンプル点の位置. 灰色の部分は対象地域
黒塗りは実測被害有, 白抜きは実測被害無を, 丸は予測正答, 三角は誤答を表す

地域で71.2%, B地域では65.6%となった(表-3)。

IV. 考 察

最適モデルによる被害有無の分類精度は、全体精度がA、B両地域で65%以上であった。日田での分類精度は72.6%であり(谷川ほか, 2009), これと同レベルの精度の予測が可能であったといえる。Kamimura and Shiraishi (2007) は, ForestTYPHOONと称する, 林分構造や立地条件, 風害発生 of 物理的プロセスなどを加味した風害発生予測システムを構築し被害を予測している。このときの最高精度は72.6%である。したがって, RIAM-COMPACTを用いた風害発生予測手法は, 汎用性が高く様々な地域で応用可能であり, また, 少ない入力データで高い精度の予測が可能である点から, 非常に有効な予測手法だといえる。

また, ロジスティック回帰分析で得られたモデルのうち, モデルのあてはまりが良くなるのは特定の流入風向に限られていた。この結果は, 日田での検証とも一致している。これらより, 台風による風害はある風向の風が吹いていた時間に集中して発生した可能性が高いと考えられる。

被害分類での誤答については, いくつかの解析時の問題の影響が考えられる。本研究では小班の中心をサンプル点としているが, 被害データは小班全体での値なので, サンプル点と実際の被害個所が正確に一致していないものが多くあると思われる。このように, サンプル抽出の際にすでに問題が生じている可能性が高い。今後, より正確に検証するためには, サンプル点の取り方や被害の特定方法などについて, より注意を払うことが求められる。また, 実際の被害のスケールに対して, シミュレーションの解像度が十分でなかったことも一因と考えられる。これについては, 後述するようにシミュレーションのスケール・解像度と被害のスケールの関係性について検証する必要がある。

IV. 今後の課題

本研究では, RIAM-COMPACTを用いた風害発生予測手法の汎用性について検証した。その結果, 同手法は, 汎用性が高く, また, 少ない入力データで高い精度の予測が可能であり, 非常に有効な被害予測手法であることが示された。今後, この手法を実際の施業計画や土地利用計画で利用するためには, いくつかの課題が残されている。以下にそのうちの3点について言及する。

1) モデルの風向

被害予測を展開していく上では, ①いくつかの流入風向のモデルを独立に組み合わせる方法か, ②一つのモデルの中に複数の風向を組み合わせる方法が考えられる。今回の検証では, 各説明変

数で個別のモデルを構築し, 単一風向のモデルでは良い予測ができることが明らかとなった。今後, 上記①, ②のどちらの方法を選択すべきかについては, 多重共線性が生じないように各風向の説明変数を組み合わせさせたモデルを構築し, その精度を検証して判断する必要がある。

2) モデルに用いるシミュレーションのスケール

今回のシミュレーションでは水平方向に5 km × 5 km, 水平格子幅100 mの計算格子を用いたが, これより拡大した計算格子を用いると, 今回対象とした地形のスケールよりもさらに大きなスケールの地形の影響により, 大局的な風況の中にも風の強弱が発生する。また, 逆に計算格子を小さくするとより詳細なスケールの地形の影響で, 非常に細かい風況変化が再現される。このようなスケールの異なる風況は, 被害予測の精度に影響するものと考えられる。そのため, 対象とする森林の空間区分(流域, 林班, 小班など)や被害のスケールに対して, どのようなスケール・解像度の風況シミュレーションを用いた時, 良好な予測精度となるかを検証する必要がある。

3) 被害発生の閾値となる風速

今回は相対的な風況値を用い, 台風19号という特別な場合について予測した。将来の被害を予測するには, 前例のない様々なパターンの台風について対応できるシステムでなければならない。それには, 具体的にどれくらいの風速, または乱流強度がもたらされたときに被害が発生しはじめるかを特定し, 予測モデルにおける被害分類の閾値として設定する必要がある。あるいは, 風況値から被害率を推定するモデルを用いることも有効であると考えられる。その前段階として, シミュレーションの結果から得られた相対的な風況値を観測データで補正して絶対値を算出し, 実際の風況値と被害あるいは被害率との関係を明らかにする必要がある。

引用文献

- 福永寛之ほか(1993) 九大演報 69: 13-30.
 IPCC (2007) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書.
 諫本信義・高宮立身(1992) 森林立地 34: 98-105.
 Kamimura, K. and Shiraishi, N. (2007) J. For. Res. 12: 162-176.
 久保山裕史ほか(2004) 日林誌 85: 191-198.
 林野庁(2007) 平成19年度版森林・林業白書 参考付表. 4pp, 日本林業協会, 東京.
 谷川直太ほか(2009) 日林学術講 120: 534.
 内田孝紀・大屋裕二(2003) ながれ 22: 417-428.
 (2009年10月29日受付; 2009年12月23日受理)