

治山事業地における海岸防災林の防風・防潮調査

漢那 賢作・清水 晃*・壁谷 直記*・新垣 拓也・伊藤 俊輔

1. はじめに

島嶼からなる本県は、夏季には多くの台風が襲来し、冬季は季節風が卓越する年間を通じて風の強い厳しい環境下にある。さらに、多数の島嶼から構成されている本県は、長い海岸線を有し、この海岸に沿って多くの住居や農地が存在している。このため、農地や居住地等を保全し農林水産業の振興や生活環境の保全を図る上で海岸防災林は不可欠であり、その計画的な造成と機能の充実は極めて重要である。

海岸防災林の樹種はかつてモクマオウを主体に植栽してきたが、樹種の特性等により衰退し、現在は様々な樹種を混植した造成が行われており、今後の造成を計画的に進めるためには、樹種転換から数十年経過した現実林分での防風・防潮機能の観測を行い、データに裏付けされた機能評価を行う必要がある。

防災林が有する諸機能の中でも、減風機能および減塩機能は本県の気象特性上最も重要であり、特に減風機能の働きは減塩機能に密接した関係があり（村井、1992）、各造成地の減風・減塩機能について調査することは重要である。

防災林の造成については、樹種の特性を踏まえた植栽配置を十分考慮し、将来的に汀線から陸側にかけて低木から高木へと流線形となることが望ましいことが報告されている（檜山、1967）、（井上、1952）、（幸喜、1979）、（大仲、1994）。

平田ら（1997）の防風効果を樹木模型（市販のピンブラシを整形）により風洞実験で行った結果では、汀線側に低木を用い、陸側に

高木を用いることで、汀線側の風速を100と仮定すると樹高の3H（樹高の3倍）から減風し始め、20H（樹高の20倍）の距離で40程度まで減風することが報告されている。

防潮調査については、風速が強いほど汀線に比較して陸側の塩分が減少することが報告されている（岩崎、2010）、（幸喜、1998）、（藤原、1962）。

本研究では、治山事業で造成した海岸防災林の現実林分を対象として、毎木調査と海岸防災林前後の風向風速及び飛塩量の実測を行い防風・防潮機能を把握・評価することを目的に行った。

2. 調査地と調査方法

1) 調査地の位置

調査地は、治山事業で造成した海岸防災林を対象とした。調査地の選定は、本島全域を対象に事業履歴（事業年度、植栽樹種）や風向風速計等の設置及び観測可能な場所とし、北部地域3箇所（国頭村安田、名護市宇茂佐、名護市喜瀬）、中部地域1箇所（中城村安里）、南部地域1箇所（糸満市喜屋武）の計5箇所で行った（図-1）。



図-1 調査地位置図

*森林総合研究所九州支所

2) 調査地の概要

安田の事業年度は 2003 年度から 2006 年度で、横断延長は約 300m、縦断幅は約 25m である (図-2)。

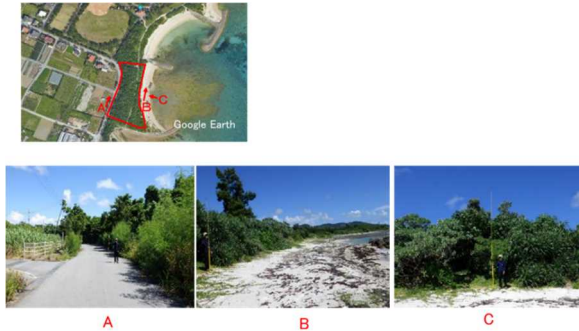


図-2 安田の概要

宇茂佐の事業年度は 1985 年度で、横断延長は約 150m、縦断幅は約 15m である (図-3)。



図-3 宇茂佐の概要

喜瀬の事業年度は 2005 年度で、横断延長は約 700m、縦断幅は約 30m である (図-4)。



図-4 喜瀬の概要

安里の事業年度は 1976 年度から 1977 年度で、横断延長は約 250m、縦断幅は約 30m である (図-5)。



図-5 安里の概要

喜屋武の事業年度は 2011 年度から 2012 年度で、横断延長は約 250m、縦断幅は約 30m である (図-6)。



図-6 喜屋武の概要

3) 調査方法

毎木調査は、全ての調査地に横断幅 20m で統一したプロットを設定し、縦断延長は現地状況に応じて設定した。また、林分内の樹種配置を容易に把握するため、そのプロット内に 5m×5m の方形区を設定した。

風向・風速調査は、2 次元超音波式風向風速計 (図-7: ONSET 社 S-WCG-M003) を使用し、測定地上高は 1.7m、データロガーは ONSET 社 H21-002 を使用した。



図-7 2次元超音波式風向風速計

飛塩調査は、3Dプリンターで製作した縦15cm、横15cm（共に外寸）の枠に、ガーゼ（補足面積：縦10cm×横10cm）を固定し、飛来する塩分を付着させる飛塩トラップ（図-8）を使用し、測定地上高はガーゼの中心を1.7mとした。ガーゼは回収した後、100mlの超純水に24時間浸した後、塩素イオン濃度計（笠原理化学工業：CL-10Z）で塩分量（mg/l）を測定した。

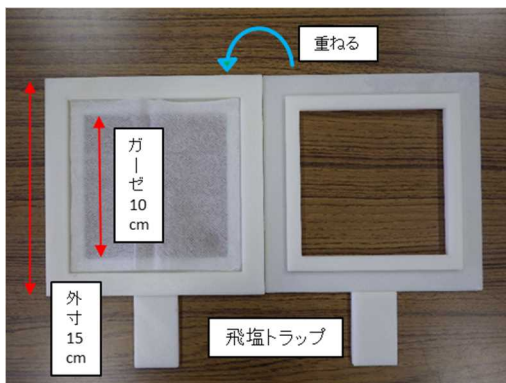


図-8 飛塩トラップ

雨量調査は、転倒マス雨量計（ONSET社：RG3-M）を使用した。

風向風速計の汀線側の設置は台風等の高潮による機器の損傷を避ける位置に設置し、陸側の設置位置は最高樹高の3倍で統一した。

調査は、特に台風等の襲来による強風時のデータを得るため、事前に気象庁等の気象予

報から、調査地毎に、風向のよい条件時に行った。

風向のよい条件の判断基準として、海岸から防災林に対する風向の角度は主風向（中心角度）から 60° （ $\pm 30^\circ$ ）の範囲内とした（図-9）。

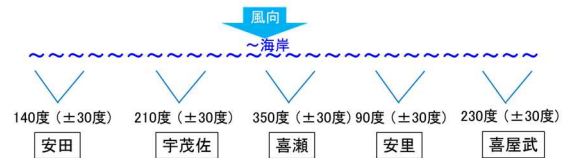


図-9 各調査地の風向角度の範囲

各調査地における調査機器の設置状況を図-10～14に示した。



図-10 安田の調査機器設置状況



図-11 宇茂佐の調査機器設置状況



図-12 喜瀬の調査機器設置状況



図-13 安里の調査機器設置状況

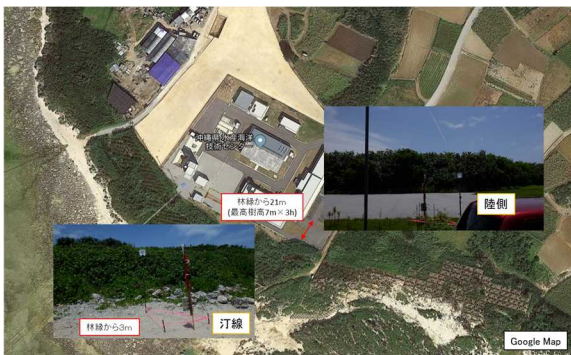


図-14 喜屋武の調査機器設置状況

3. 結果と考察

安田の毎木調査結果（調査時の林齢：11年～13年生）を表-1に示し、縦断模式図を図-15に示した。なお、全ての調査地における毎木調査の樹種の記載は、平均樹高が最も低いものから順とし、本数が1本のみの場合、測定値は平均に記載した。

樹種は10種で、本数の多い樹種を上位から順に3樹種示すとオキナワキョウチクトウ、アダン、オオハマボウの順であった。全体の平均胸高直径は4.7cm、平均樹高は3.7mで、最高樹高はオキナワキョウチクトウの8.1mであった。

表-1 安田の毎木調査結果

Plot	樹種	本数	胸高直径(cm)			樹高(m)		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均
P1~20	クサトベラ	4	2.5	3.9	3.2	1.3	2.9	2.2
	クロキ	1	-	-	1.5	-	-	2.5
	マサキ	1	-	-	1.9	-	-	2.8
	モクダチバナ	1	-	-	4.6	-	-	3.1
	トベラ	4	2.2	4.7	3.8	3.1	5.1	3.9
	アダン	39	5.0	12.2	9.8	1.7	5.9	4.0
	オオハマボウ	19	1.7	18.7	6.2	2.0	7.0	4.4
	アカテツ	1	-	-	3.0	-	-	4.5
	オキナワキョウチクトウ	46	1.9	26.5	7.9	2.0	8.1	4.8
	シマグワ	4	1.5	8.9	4.7	2.4	7.1	5.0
種数・平均		10			4.7			3.7

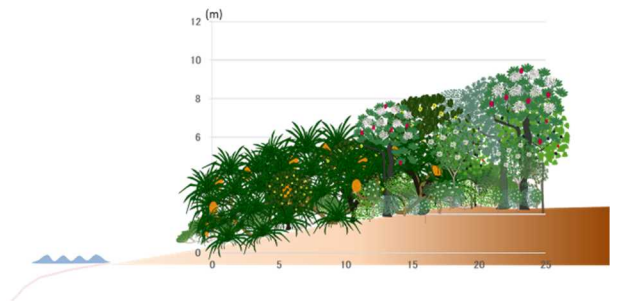


図-15 安田の縦断模式図

宇茂佐の毎木調査結果（調査時の林齢：34年生）を表-2に示し、縦断模式図を図-16に示した。

毎木調査の結果より、樹種は全体的にアダンを主体とし、釘線側に僅かにクサトベラが存在する林分であった。調査では密生したア

ダン林内に進入することで海岸林の林形を乱す恐れがあるため、測定可能な個体のみを対象とした。

表-2 宇茂佐の毎木調査結果

Plot	樹種	本数	胸高直径(cm)			樹高(m)		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均
P1~20	クサトベラ	2	1.9	2.8	2.4	1.2	1.4	1.3
	アダン	-	15.0	15.7	-	1.2	4.7	-

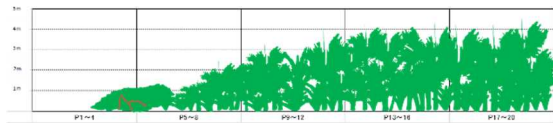


図-16 宇茂佐の縦断模式図

喜瀬の毎木調査結果（調査時の林齢：14年生）を表-3に示し、縦断模式図を図-17に示した。樹種は12種で、本数の多い樹種を上位から順に3種示すとネズミモチとモモタマナが同数、次にアダンとアカテツが同数、次にシマナンヨウスギの順であった。全体の平均胸高直径は7.7cm、平均樹高は4.3mで、最高樹高はモクマオウの16.0mであった。なお、モクマオウの2個体は造成以前にあったものが衰退せず残っているものと思われた。

表-3 喜瀬の毎木調査結果

Plot	樹種	本数	胸高直径(cm)			樹高(m)		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均
P1~20	クサトベラ	15	1.8	9.8	3.2	1.3	2.9	1.7
	クロヨナ	7	1.5	3.1	2.6	1.6	3.5	2.2
	ネズミモチ	27	1.3	4.8	2.6	1.7	4.6	2.7
	トベラ	4	1.4	3.5	2.2	2.2	3.5	2.8
	シャリンバイ	1	-	-	2.3	-	-	2.9
	アダン	19	7.2	15.7	8.4	1.4	5.4	3.0
	アカテツ	19	1.4	5.0	3.3	2.1	4.1	3.0
	モンパノキ	5	2.5	13.2	7.7	2.2	4.5	3.4
	テリハボク	15	1.4	8.7	4.7	1.6	5.3	3.6
	シマナンヨウスギ	18	5.0	12.6	8.5	4.1	9.2	5.8
	モモタマナ	27	1.7	20.7	13.3	2.3	9.7	7.1
	モクマオウ	2	28.9	39.1	34.0	10.2	16.0	13.1
種数・平均	12			7.7			4.3	

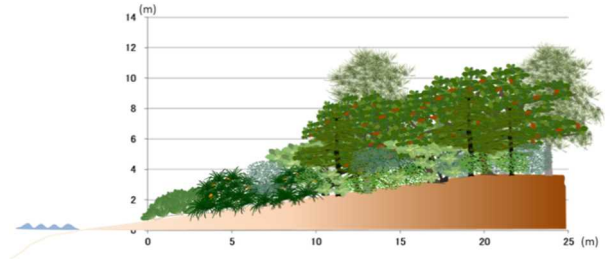


図-17 喜瀬の縦断模式図

安里の毎木調査結果（調査時の林齢：43年～44年生）を表-4に示した。樹種は18種で、本数の多い樹種を上位から順に3種示すとオオハマボウ、モンパノキ、オオバギの順であった。全体の平均胸高直径は7.3cm、平均樹高は4.5mで、最高樹高はモモタマナの7.8mであった。なお、アダン林内での調査は林形を乱す恐れがあるため、測定可能な個体のみ調査した。

表-4 安里の毎木調査結果

Plot	樹種	本数	胸高直径(cm)			樹高(m)		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均
P1~44	クサトベラ	8	2.2	4.9	2.7	1.3	4.0	2.2
	アカテツ	2	0.9	2.2	1.6	2.3	2.9	2.6
	イヌビロ	1	-	-	4.9	-	-	3.4
	モンパノキ	14	4.2	19.0	11.6	2.4	4.8	3.7
	アダン	-	7.6	12.3	10.4	2.3	4.7	3.7
	クスノハガシワ	2	2.6	2.8	2.7	3.3	4.2	3.8
	モクダチバナ	1	-	-	3.5	-	-	4.0
	フクギ	2	3.2	6.2	4.7	3.1	4.8	4.0
	タブノキ	6	1.9	10.8	4.9	3.5	6.6	4.6
	モモタマナ	5	1.8	11.8	6.2	2.8	7.8	4.9
	クロヨナ	1	-	-	12.4	-	-	4.9
	シマグワ	1	-	-	4.8	-	-	5.1
	オオハマボウ	28	2.3	20.0	10.6	2.0	7.7	5.3
	アカギ	4	8.9	18.5	9.1	3.6	7.2	5.3
	ホルトノキ	1	-	-	9.0	-	-	5.6
	オキナワキョウチクトウ	1	-	-	14.4	-	-	5.9
	オオバギ	10	6.7	14.6	9.6	5.2	6.8	6.1
	モクマオウ	4	6.8	10.1	8.6	4.2	7.6	6.2
種数/平均	18			7.3			4.5	

喜屋武の毎木調査結果（調査時の林齢：7年～8年生）を表-5に示した。樹種は10種で、本数の多い樹種を上位から順に3種示すとオオハマボウ、次にハスノハギリとモモタマナ同数、次にテリハボクの順であった。全体の平均胸高直径は4.4cm、平均樹高は4.0mで、

最高樹高はモモタマナの7.1mであった。

表-5 喜屋武の毎木調査結果

Plot	樹種	本数	胸高直径(cm)			樹高(m)		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均
P1~16	アカテツ	7	0.7	2.3	1.2	1.5	2.9	1.9
	テリハボク	15	0.9	3.4	2.1	1.3	3.7	2.4
	クロヨナ	11	1.3	19.0	5.4	1.5	6.0	2.9
	ハスノハギリ	16	1.5	10.0	3.8	1.7	6.4	3.2
	ギンネム	8	3.1	5.5	3.7	3.6	4.8	4.0
	ネズミモチ	1	-	-	3.8	-	-	4.0
	シマグワ	2	3.0	7.6	5.3	3.3	5.4	4.4
	オオハマボウ	97	2.3	13.0	7.2	2.3	6.9	4.8
	モモタマナ	16	2.0	13.1	8.4	4.0	7.1	5.5
	アコウ	1	-	-	3.3	-	-	7.3
種数・平均		10			4.4			4.0

安田の防風・防潮機能調査を2021年に襲来した台風2号について行った。観測期間は4月22日13時から26日10時で、全ての調査地で10秒毎に測定して1分間で平均した値と、10秒毎の瞬間最大風速を測定した。主風向(中心角度)60°(±30°)の範囲における平均風速は16m/sであった。減衰率(陸側/汀線)を求めた結果、平均風速では21%、瞬間最大風速でも28%であった(図-18)。

飛塩量は汀線で870mg/1、陸側で46mg/1で減少率は95%((汀線側の飛塩量-陸側の飛塩量)/汀線側の飛塩量)であった。なお雨量は65mmで飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

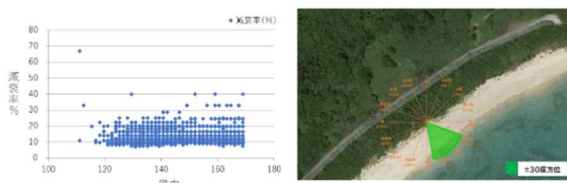


図-18 安田の風速減衰率

次に、宇茂佐の防風・防潮機能調査を2021年に襲来した台風14号について行った。観測期間は9月9日10時から14日9時で、主風向(中心角度)60°(±30°)の範囲におけ

る平均風速は12m/sであった。減衰率を求めた結果、平均風速では14%、瞬間最大風速でも21%であった(図-19)。

飛塩量は汀線で60.1mg/1、陸側で2.3mg/1で減少率は97%((60-2)/60)であった。なお雨量は9mmで飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

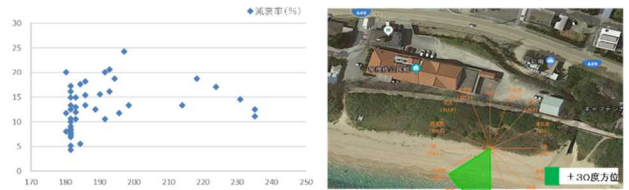


図-19 宇茂佐の風速減衰率

次に、喜瀬の防風・防潮機能調査を2020年に襲来した台風10号と台風14号について行った。

台風10号の観測期間は9月4日11時から9月7日11時で、主風向(中心角度)60°(±30°)の範囲における平均風速は9m/sであった。減衰率を求めた結果、平均風速では12%、瞬間最大風速でも20%であった(図-20)。

飛塩量は汀線で356mg/1、陸側で25.6mg/1で減少率は93%であった。なお雨量は45mmで飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

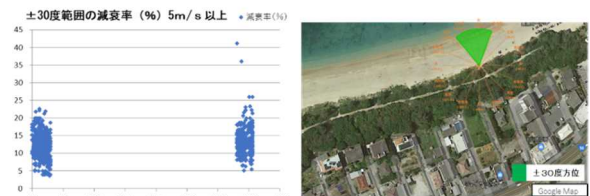


図-20 喜瀬の風速減衰率(台風10号)

台風14号の観測期間は10月7日10時から10月12日10時で、1分間隔で平均風速と瞬

間最大風速を測定した。主風向（中心角度） 60° （ $\pm 30^{\circ}$ ）の範囲における平均風速は 6m/s であった。減衰率を求めた結果、平均風速では11%、瞬間最大風速でも19%の減少であった（図-21）。

飛塩量は汀線で 211mg/l 、陸側で 41mg/l で減少率は81%であった。なお雨量は 8mm で飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

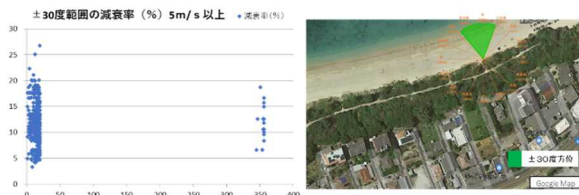


図-21 喜瀬の風速減衰率（台風 14 号）

次に、安里の防風・防潮機能調査を 2021 年に襲来した台風 6 について行った。

観測期間は 7 月 19 日 15 時から 9 月 26 日 15 時で、主風向（中心角度） 60° （ $\pm 30^{\circ}$ ）の範囲における平均風速は 11m/s であった。減衰率を求めた結果、平均風速では15%、瞬間大第風速でも22%であった（図-22）。

飛塩量は汀線で 40.2mg/l 、陸側で 2.2mg/l で減少率は 95%であった。なお雨量は 45mm で飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

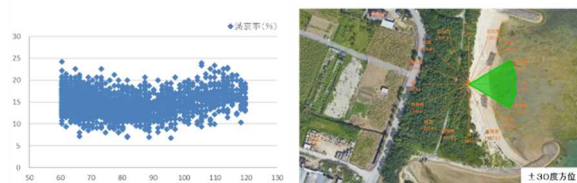


図-22 安里の風速減衰率

次に、喜屋武の防風・防潮機能調査を 2021 年に襲来した台風 9 号について行った。

観測期間は 8 月 5 日 14 時から 8 月 10 日 13 時で、1 分間隔で平均風速と瞬間最大風速を測定した。主風向（中心角度） 60° （ $\pm 30^{\circ}$ ）の範囲における平均風速は 7m/s であった。減衰率（汀線の風速に対する陸側の風速の低減効果）を求めた結果、平均風速では30%、瞬間最大風速でも42%であった（図-23）。

本調査地の減衰率は他の調査地と比較して悪い結果となっている。これは密生した林の効果を風速で観測するためには、他の調査地と同様に防災林の中心部の前後での観測が必要であるが、本調査地は建物や海岸防災林の植栽配置の形状等の関係から汀線の観測地点が防災林の東側になっており、陸側への入力風向に沿った道が観測結果に影響する形になっており、結果的に観測位置の制限が影響したものと考えられる。

飛塩量は汀線で 55.4mg/l 、陸側で 8.8mg/l で減少率は 84%であった。なお雨量は 16mm で飛塩トラップに付着した塩分濃度に影響を与えた事を考慮し、飛塩量の減少は参考値とする。これらの結果より一定の防風・防潮効果を把握することができた。

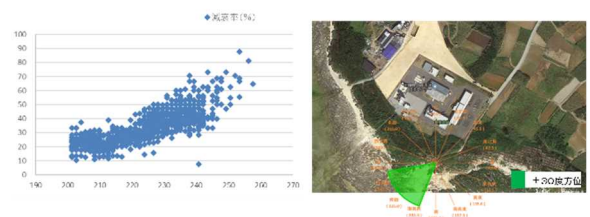


図-23 喜屋武の風速減衰率

4. おわりに

治山事業で造成した海岸防災林の防風・防潮機能を評価するため、本島北部地域から南部地域の縦断する形で5箇所の調査地で台風襲来時の風向風速調査、飛塩調査を行った。

その結果、全ての調査地で海岸防災林に直

交する方向の±30度（60度）範囲からの入力風速は、概ね20%以下（陸側の各調査地の測定位置は最高樹高の3倍に統一）に抑えられている結果となり、本県特有の林帯幅は比較的短く制限されているにも関わらず、非常に高い防風効果が得られていることが分かった。

沖縄県が治山事業で行う海岸防災林造成は沖縄県治山事業実施基準（森林整備編）に則り、植栽本数は原則10,000本/ha、植栽樹種は今回の調査地で確認された潮風に強い樹種で、植栽配置は、樹種の特性を踏まえた上で汀線から陸側にかけて低中木・高木を植栽している。本調査地の模式図でも示したように林冠が流線形となって成林しており、結果的にこのような造成方法が期待する防災林の効果を発揮しているものと言える。

防潮効果については、汀線に比較して陸側の飛塩量は減少していたが、台風に伴う降雨の影響により飛塩トラップに付着した塩分が溶脱している影響があるため、今後調査方法の改善が必要である。

引用文献

- 村井宏（1992）：日本の海岸林、ソフトサイエンス社
- 檜山徳山（1967）：内陸防風林、林業技術、P23-26
- 井上栄一（1952）：地表風の構造、農技研報告
- 幸喜善福（1979）：農業基盤整備と防風・防潮林
- 大仲栄信（1994）：農地防風林の多面的役割評価に基づく選定手法検討調査総括報告書、沖縄総合事務局農林水産部土地改良課、P32-33
- 平田功・山野井克二・河合英二（1997）沖縄県林試研報 40:39-51
- 岩崎栄治（2010）：塩分捕集器具の設置方向と飛来塩分量の関係、構造工学論文集、Vol1156A、P616-629
- 幸喜善福（1998）：南大東島における飛来塩分量に関する研究、沖縄農業 33(1)、P42-46
- 藤原晃一郎・梅島嗣朗（1962）：海岸段丘上における潮風中の塩分分布について、北海道大学農学部演習林研究報告、21(2)、P453-464

海岸防災林の効果向上技術開発事業

—海岸防災林の流体シミュレーションによる減風効果—

伊藤 俊輔・漢那 賢作・新垣 拓也

1. はじめに

海岸防災林は、潮風害や高潮浸水等に対する災害防止機能により農地や住居地等を保全し、農林水産業の振興や生活環境の向上に重要な役割を果たしている。特に、本県は周囲を海に囲まれた地理的特性から台風や季節風による被害を受けやすい環境下にあり、本県の実態に即した海岸防災林の整備・改良手法が求められている。過去に、平田ら(1998)により本県の海岸防災林を対象に、市販のピンブラシを整形したモデルにより風洞実験が行われ、海岸防災林の減風効果が検討された。これまで、実際に造成された林分での減風効果の実測と、ソフトウェアを用いた流体シミュレーションの比較は行われていない。そこで、2005年度に治山事業で名護市喜瀬に造成された海岸防災林を対象に、2020年9月6日に沖縄島に接近した台風10号の実測と流体シミュレーションの比較を行った。



図-1 台風10号の経路図(数字は日付)

2. 方法

風向・風速の実測は名護市喜瀬の海岸防災林(2005年度造成、北緯26.536017、東経127.943912、林帯幅25m、最高樹高12m)で2020年9月4日～6日まで台風10号(図-1 気象庁)を対象に実施した。

風向・風速の実測地点は汀線側の植生から1m程度の海側(図-2上側の白丸)、防風林背後の林縁から30mの地点(図-2下側の白丸)に測器のセンサー高が1.7mになるように設置した。汀線側と陸側風速計間の最高樹高は10m、距離は55mであった。実測当時、図-2中の矢印で示した建物とL字型の庭園樹は撤去



図-2 風速計設置地点の概略図

されていた。風速の実測は、超音波式二次元風向風速計 S-WCG-M003 をデータロガーmicro station H21-002 (いずれも ONSET 社製) に接続し行った。データロガーはサンプリング間隔 10 秒、記録間隔 1 分に設定した (1 分間隔で記録されるデータは、10 秒間隔でサンプリングされる 6 データの平均値、最大値で、本報告では平均値を用いた)。

シミュレーションに用いる 3D モデルは、対象となる防災林周辺を ZENMUSE X3 カメラを装着したドローン Matris100 (いずれも DJI 社製) で撮影し、その写真データから PhotoScan Professional (version 1.4.4 Agisoft 社製) を使用し、マニュアルに従い調製した。シミュレーションの支障となる構造物は、PhotoScan の 3D モデル編集機能を用いて除去した。

シミュレーション用ソフトは Flowsquare+ (version 2019R3.1 Nora Scientific 社製、Minamoto (2013)) を使用した。シミュレーションを行う際の各種パラメータは表-1 のとおりとした。なお、uinB (設定風速) の数値については後述する。シミュレーションの領域サイズは、風が通り抜ける方向は 300m、高さ 200m、横幅 30m とし、数値流体計算が行われる点であるメッシュ数は、領域サイズの 2 倍とした。他のパラメータについてはソフトの初期値を採用した。領域サイズを 300m に設定する際に不足する 3D モデルは Flowsquare+ の機能を用

表-1 主要パラメータと設定値

パラメータ	設定値
lx (x 軸物理サイズ)	300m
ly (y 軸物理サイズ)	200m
lz (z 軸物理サイズ)	30m
nx (x 軸方向メッシュ数)	600
ny (y 軸方向メッシュ数)	400
nz (z 軸方向メッシュ数)	60
uinW (初期風速)	0m/s
uinB (設定風速)	10.69m/s
latts (ステップ数)	5550step

いて補った。

3. 結果及び考察

9 月 4 日から 6 日にかけて実測された汀線側、陸側の風向データを図-3 に示す。汀線側の風向は北東 (45°) から北西 (315°) の北寄りの風が多かったのに対して、陸側の風は様々な方向から吹いていた。海岸防災林の主要な防風範囲は防災林に直行する風向の土

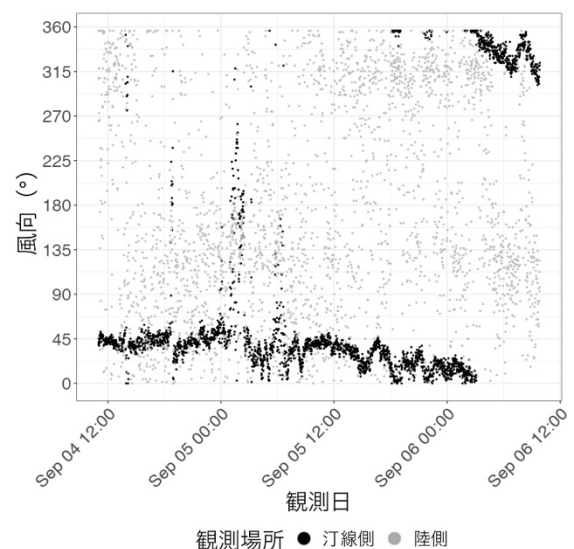


図-3 風向データの散布図

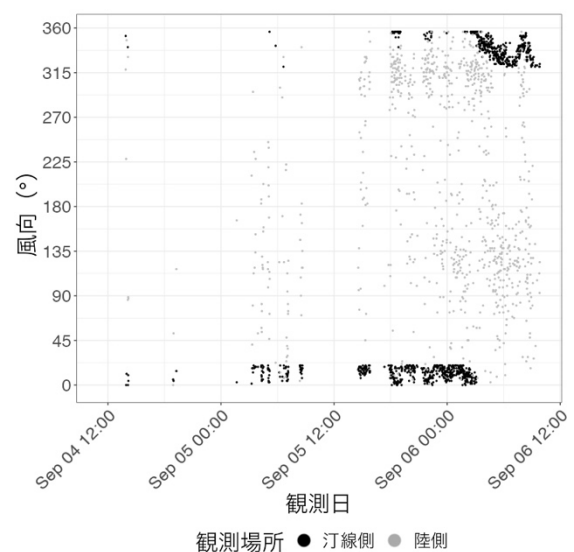


図-4 汀線主風向と同時に観測された汀線側と陸側の風向

30° とみなすことが妥当であることから（漢那ら（2022））、海岸防災林の減風効果とシミュレーションの比較を行う実測データは汀線側の主風向である 350° から±30° の範囲のデータ（以下主風向データ）とした。海岸防災林の減風効果を確認するために汀線側主風向データと同時に観測された陸側の風向風速データをセットで抽出した（以下抽出データ）。抽出データにおいても、陸側の風は様々な方向から吹いていた（図-4）。次に抽出データの風速について汀線側の風速を 100 とし、同時に観測された陸側の風速は、図-5 に示すとおりで、陸側の平均風速は 13.37%であった。すなわち、台風 10 号接近時における喜瀬海岸防災

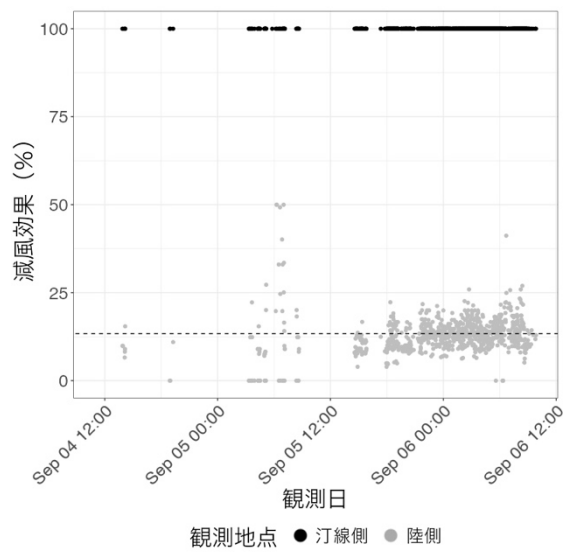


図-5 喜瀬海岸防災林の減風効果

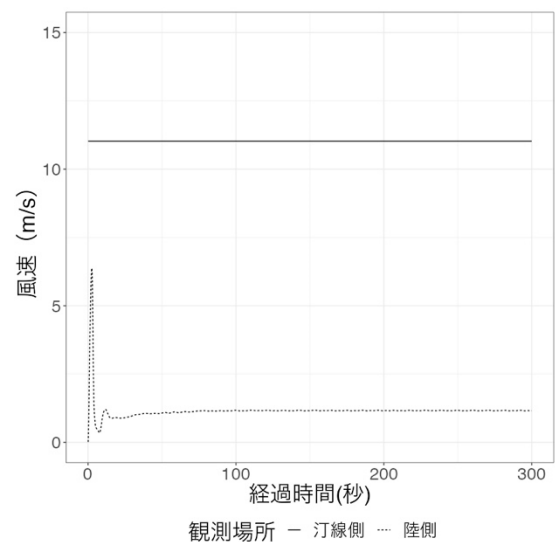
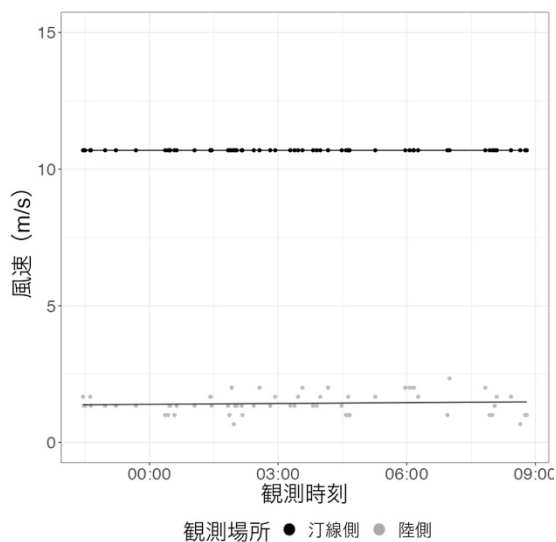


図-6 実測値（左）とシミュレーション結果（右）の比較

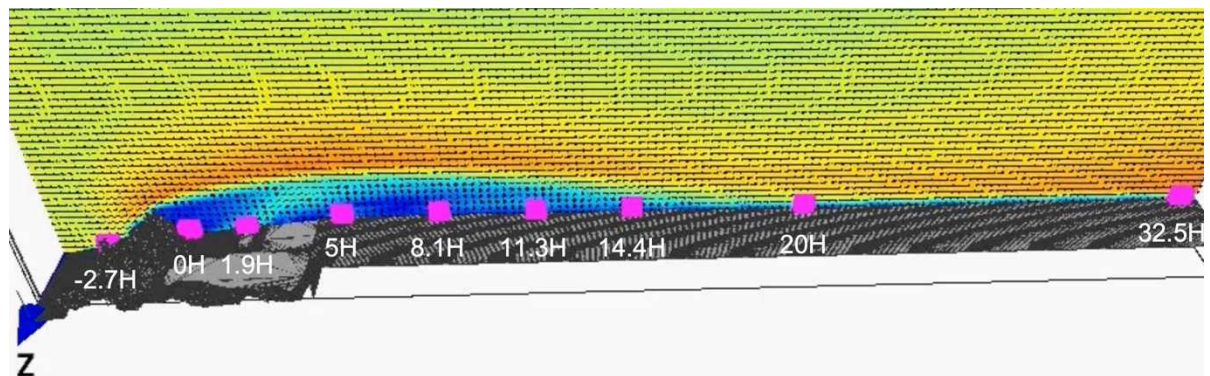


図-7 シミュレーション結果

図中の青の部分は風が弱く、赤の部分は風が強い部分を示す。図中下側の黒とグレーで示した部分が 3D モデル。3D モデル上に一定の間隔で配置された立方体が観測プローブを示す

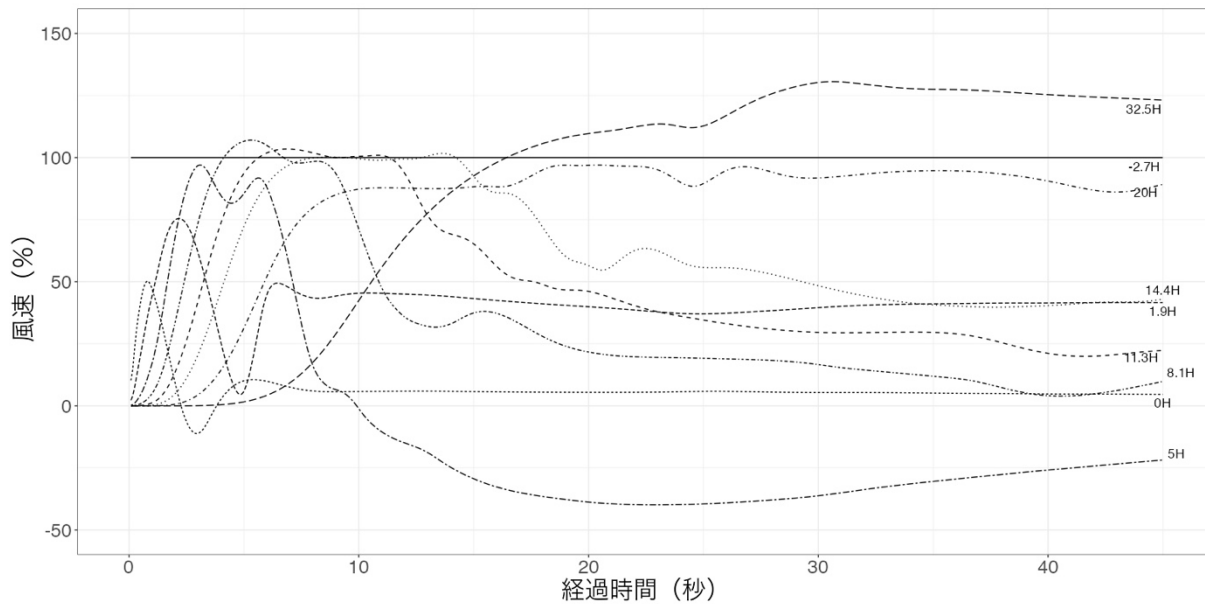


図-8 風速シミュレーションの奥行方向の測定結果

林は、主風向の風に対して陸側では 13.37%まで減風する効果があった。

シミュレーションを行う際の設定風速は、抽出データの汀線側風速の最頻値である 10.69m/s を採用した。他のパラメータは、表-1 のとおり設定した。シミュレーション結果と実測データを確認するために、シミュレーションを行う際に風速の実測地点と対応する点に観測プローブ（シミュレーション結果を記録する点）を設置し結果を記録した。図-6 に示すとおり、実測値とシミュレーション結果が概ね一致しており、シミュレーションの有効性が確認できた。

次に、3D モデルの奥行方向に樹高の-2.7、0、1.9、5.0、8.1、11.3、14.4、20、32.5H の位置に観測プローブを設置しシミュレーションを行った。-2.7 倍は、汀線側の林縁付近である。シミュレーションは、風速が安定し、準定常化したと思われる 5550step で終了した。図-7 はシミュレーション終了時点での風速分布を示す。図-8 は汀線側（-2.7H）風速を 100 とした場合の各測点の風速（%）の経過を示す。また、表-2 にシミュレーション終了時点での

表-2 各観測プローブのシミュレーション終了時の風速

測点名	風速 (%)
-2.7H	100
0H	4.6
1.9H	41.6
5H	-21.9
8.1H	9.8
11.3H	22.3
14.4H	43.0
20H	89.2
32.5H	123.2

汀線側風速を 100 とした場合の各観測プローブの風速（%）を示す。50%の減風効果は 14.4H 地点まで確認された。また、5H 地点ではマイナスの風、すなわち設定風向とは逆の風が記録された。逆の風は渦が発生したことが原因であると考えられた（図-7 の 1.9H と 5H のプローブの間）。32.5H 地点では汀線側風速よりも強風が記録された。今回のシミュレーションでは減風効果は樹高の概ね 15 倍程度までであった。

平田ら（1998）はピンブラシを使った 1/60 スケールでの風洞実験を行い、3 種類のモデルについて等風速線図を示した。これらの等風速線図では、50%の減風効果は概ね樹高の 23～26 倍まで及ぶことが示されており、今回のシミュレーション結果よりも減風効果の範囲は広い。両者の結果に違いがある要因には、平田らの実験で用いられたピンブラシは、風が透過するモデルであるのに対して、Flowsquare+の 3D モデルは風を透過しないことや、しなりのないことあげられる。3D モデルの風の透過率を設定できないことで、風速が強くなるにつれ実測とシミュレーションに乖離が発生する可能性がある。特に台風時の強風により防風林の構成樹木が強風によりしなることで風の透過量が多くなったり、構造が破綻したりするような場合は、その乖離が顕著になると思われる。

おわりに

Flowsquare+によるシミュレーションの利点は、ドローン空撮画像から作成した実測の 3D モデルでシミュレーションができる点で、3D モデルを加工することで防災林の樹高や構

造を比較的自由に改変しシミュレーションが可能となる。

本研究の実施にあたって公益社団法人沖縄県緑化推進委員会の古堅公氏、春日大輔氏に多大な協力をいただきました。

引用文献

平田 功、山野井克巳、河合英二（1998）防風林の造成技術に関する研究（II）-風洞実験による防風林模型の減風効果-。沖縄県林業試験場研究報告 No40, 39-52

漢那賢作、新垣拓也、壁谷直記、清水貴範、清水晃（2022）沖縄県における海岸防災林の森林構造把握と機能。海岸防災林の効果向上技術開発業務総括報告書 96-148

台風 10 号経路図出典（気象庁）
https://www.data.jma.go.jp/yoho/typhoon/route_map/bstv2020.html

Yuki Minamoto（2013）Flowsquare 4.0: Theory and Computation, (<http://flowsquare.com>).

イジュの成長特性と立地環境に関する研究

井口 朝道・久高 梢子・伊藤 俊輔・玉城 雅範

1. はじめに

イジュ (*Schima wallichii*(DC.)Korth. subsp. *noronhae*(Reinw. ex. Blume)Bloemb)は、ツバキ科の常緑高木で、沖縄本島北部地域では、イタジイに次ぐ資源量を有し(沖縄県農林水産部、1984)、沖縄島北部の森を代表する樹種の一つである。広葉樹としては、比較的通直で成長も早く、大径木になる(天野、1985)ことから、用材生産を目的として本島北部地域を中心に、造林事業において広く植栽されている(沖縄県農林水産部森林管理課、2022)。

そのような中、復帰後造林した7~8 齢級のイジュ人工林においては、良好な成長を示す優良な林分がある一方で成長が著しく悪い林分も確認されている。沖縄島の樹木の成長に関する既往の研究としては、沖縄島北部地域の亜熱帯性二次林において、複数の数量的地形因子を用いて、地形が林分構造に与える影響について検討した事例があり、尾根地形と比較して谷地形で個体サイズや林分材積が大きくなることが報告されている(井口ら、2008)。また、高嶋・大島(2018)による、沖縄島やんばる地域の約65年生二次林における大径木の分布と地形の関係を評価した研究では、谷を中心にサイズの大きな個体が確認されたことが報告されている。しかしながら、沖縄島の広葉樹人工林の樹木の成長に地形が与える影響については、これまで十分な検討がなされていない。

そこで、本研究は、8 齢級のイジュ人工林を対象に、立地環境が成長に与える影響を把握することを目的に実施した。

2. 調査地および方法

調査地は、国頭村字辺野喜地内に位置する県営林58林班い準林班5小班内に斜面方位を変えて2箇所、同準林班10小班内に1箇所、いずれも尾根部から斜面下部までを包括するように方形区を設置した(表-1)。これらはいずれもイジュ造林地の一部であり、調査時点で38~39年生の林分である。

表-1 調査区の概要

調査区	サイズ(斜面長×幅)	斜面方位	調査年	林齢
い5_SW	80m×15m	南西	2020	38
い5_NE	40m×10m	北東	2021	39
い10_NW	50m×10m	北西	2021	38

現地調査では、DBH5cm以上の立木を対象にDBH、樹高を計測し、目視により上層木の識別を行った。なお、単木材積の算出には、広葉樹立木幹材積表による幹材積式(沖縄県林業試験場)を用いた。

立地環境調査の手法については、調査区内をさらに5mメッシュで区切ったサブプロット(3plot計84箇所)毎に、GIS(地理情報システム)を活用し、沖縄県森林管理課および沖縄防衛局から提供を受けた1mメッシュのDEM(数値標高モデル)から算出された標高(m)、露出度(°)および尾根谷度(rad)を抽出し、平均値を採用した。露出度をDEMから算出するアルゴリズムは、村上ら(2000)により作成されているが、今回使用した露出度は、「平成23年度やんばる型森林業構築事業」(森林管理課、2012)により算出されたものであり、検索半径100m、仰角3°の場合に、ある地点から水平方向に1度ずつ視準した場合

の、地形によって遮蔽されなかった角度の累積値である。値が大きいほど開放(尾根地形)、小さいほど閉鎖(谷地形)されている状態を示す。よって、露出度は風と関連のある蒸発散条件、すなわち乾燥条件を示す指標とされる(福島ら、1974)。また、尾根谷度は、(地上開度-地下開度)/2 で算出される尾根や谷の度合いを表す指標(千葉・鈴木、2004)であり、Qgis の SAGA2.3.2 の topographic openness により算出した。なお、尾根谷度は正の値が尾根、負の値が谷、0 が平衡斜面を示す指標となる。

3. 結果及び考察

はじめに、調査区毎の毎木調査の結果を、全樹種とイジュのみ、さらにそれぞれ上層木のみに着目して整理したものを表-2 に示す。イジュ上層木の平均胸高直径は約 11~12 cm 程度、樹高は約 8~9m となった。材積は、全樹種合計で、およそ 200~300m³ であった。

表-2 調査区毎の毎木調査結果

調査区 (面積)	区分	立木密度 (本/ha)	平均胸高 直径(cm)	平均 樹高(m)	林分材積 (m ³ /ha)
い5_SW (0.12ha)	全樹種合計	5,175	10.2	7.9	275.6
	イジュ計	2,475	9.5	7.4	102.0
	イジュ上層木計	1,083	11.7	9.2	73.4
い5_NE (0.04ha)	全樹種合計	4,550	9.5	7.0	206.6
	イジュ計	3,125	9.3	6.7	126.6
	イジュ上層木計	1,475	11.5	8.2	96.5
い10_NW (0.05ha)	全樹種合計	5,000	9.0	7.6	194.7
	イジュ計	3,360	8.9	7.6	124.7
	イジュ上層木計	1,560	10.7	9.0	88.8

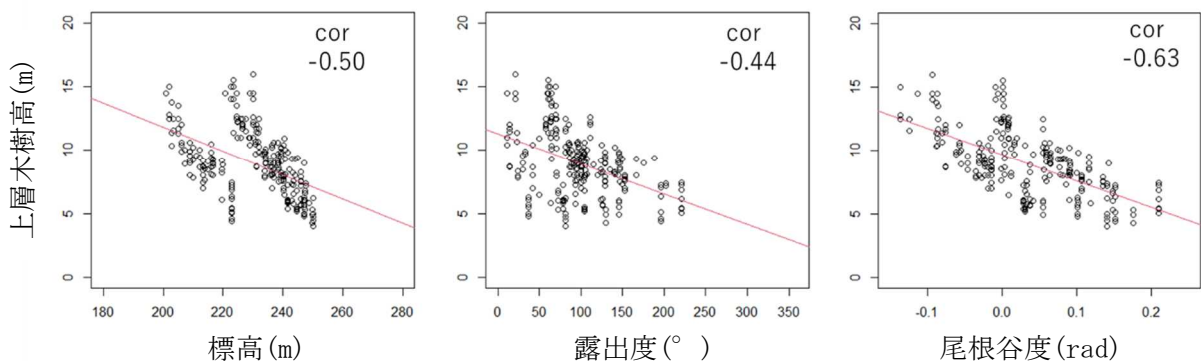


図-2 立地環境とイジュ上層木樹高の関係

次に、全サブプロットにおける今回使用した地形因子それぞれの関係性を図-1 に示す。標高-尾根谷度、標高-露出度間の相関係数はそれぞれ 0.69, 0.28 であった。また尾根谷度-露出度間の相関係数は 0.68 であり、いずれの因子間においても正の相関が確認された。

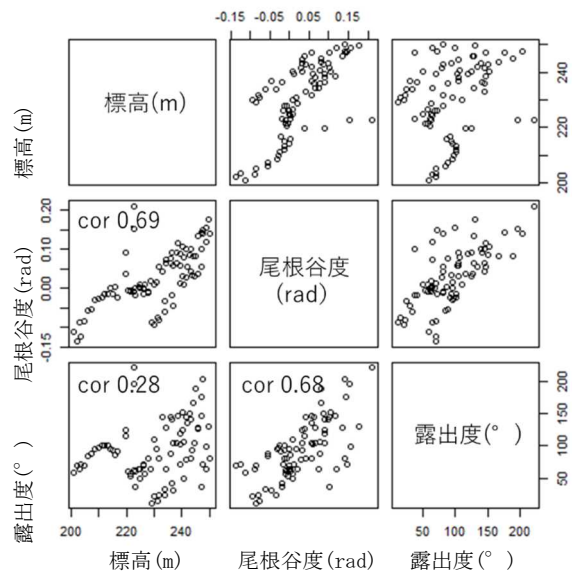


図-1 地形因子間関係

続いて、サブプロット毎の立地環境とイジュ上層木樹高(267本)の関係性を図-2 に示す。なお、本研究では立地のポテンシャルが樹高成長に与える影響を評価する事を目的に、個体間同士の競争による被圧の影響を低減するため、上層木に着目して解析を行った。

標高、露出度および尾根谷度のいずれも上層木樹高に有意な負の影響を与えていることが確認され、特に、尾根谷度では相関係数が-0.63と3つの因子の中では最も強い負の相関がみられた。ここで、今回使用した地形因子間にはそれぞれ相関が確認され、同時に複数の因子を用いて解析する場合には、多重共線性が生じ、それぞれの効果を誤って評価してしまう恐れがあることや、また、極力単純なモデルとすることを目的として、説明変数を1つとする単回帰モデルを選択した。

さらに、3調査区間の差異を加味して評価するために、上層木樹高を目的変数とし、尾根谷度を固定効果、調査区を切片のみランダム効果とした線形混合効果モデル(GLMM)による解析を行ったところ、尾根谷度が上層木樹高に影響を及ぼしており、尾根部に比べて斜面下部で成長が良好であることが明らかとなった(図-3)。

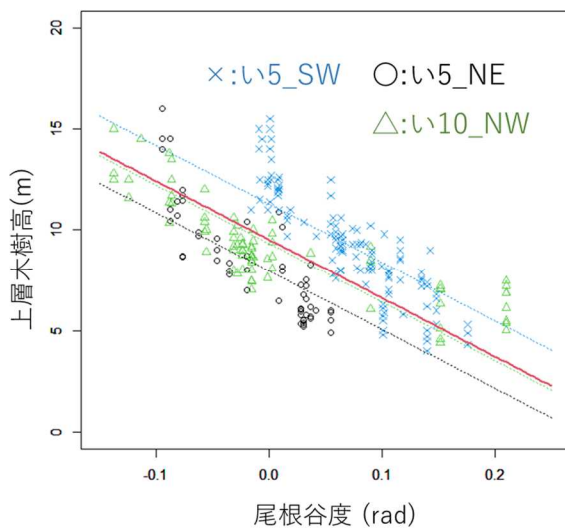


図-3 立地環境とイジュ上層木樹高の関係 (GLMM)

なお、回帰直線を求めると次式となった。
 $y = -28.9679 \times x + 9.5259$ (実線)
 y : 上層木樹高(m), x : 尾根谷度(rad)

続いて、目的変数を上層木樹高とし、説明変数に尾根谷度を用いた決定木分析により、上層木樹高に対応した尾根谷度による分類を試みた(図-4)。今回は4区分となるように条件を設定したが($cp=0.04$)、使用したデータの関係上、一部に尾根谷度が及ぼす影響の逆転現象がみられ、5区分となったが、当該部分を1区分とみなすこととした。その結果、最初に尾根谷度が-0.0835未満(A区)・以上で分岐し、次に0.0235未満(B区)・以上、さらに0.1375未満(C区)・以上(D区)で分岐される結果となり、尾根谷度が低い斜面下部の地形ほど良好な成長を示した。

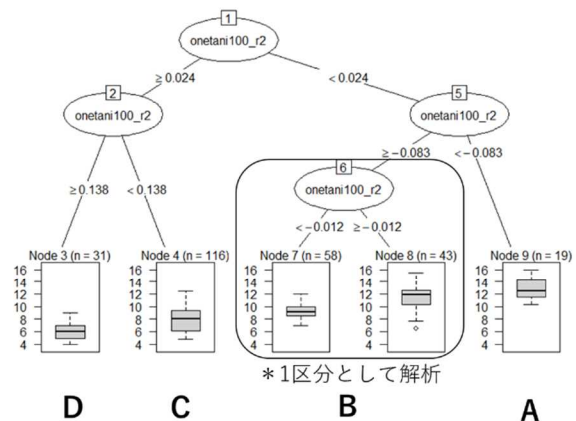


図-4 決定木分析における尾根谷度による分類

さらに、これらの4区分間において、上層木樹高を目的変数として多重比較(ホルム)を行ったところ、全ての区分間に有意差($p < 0.01$)が確認され(図-5)、尾根谷度による分類が適地の判定に有効な方法であることが示唆された。

今回、回帰モデルの結果と決定木分析の結果のいずれにおいても、斜面下部において良好な成長を示す結果となった。既往の研究においては、尾根部では、風の影響により蒸発散が促進され乾燥する傾向があること(福島ら、1974)、また斜面下部では、土壌が厚く水分・養分の保持能力が高いことが報告(Enoki et al., 1996)されていることから、これら

の要因が、尾根部に比べ斜面下部においてイジュの成長を促進させたと考えられた。また、同じ沖縄島北部地域で、天然林を対象にした既往の研究においても同様の傾向が示されており(井口ら、2008)、イジュ人工林の場合も、樹木の成長に地形が及ぼす影響については共通することが明らかとなった。

B区を中心に施業を行っていくことがよいと判断された。少なくとも、平均樹高が6m程度と予測される最も成長の見込めないD区については、今後は施業地から除外することについて検討が必要である。

4. おわりに

本県では、やんばる地域や名護市の一部において1mメッシュのDEMが整備されている。これらの地域においては、尾根谷度を算出することで、良好な成長を期待される箇所への抽出が可能となることから、傾斜や林道からの距離を併せて考慮しつつ、今後、林業地を選択する際に活用されることを期待する。

一方で、良好な成長が期待される斜面下部については、沖縄県の定める、やんばる型森林業の推進(施策方針)(2019)の中では、貴重な野生生物の多くが生息する谷部の下層植生の保全によって、伐採中の動物の避難経路を確保し、伐採中及び伐採跡の生息地の確保に努めることとしている。そこで、森林の利活用と自然環境の保全の両立を図るべく、引き続き各方面から検討を続けていく必要があるだろう。

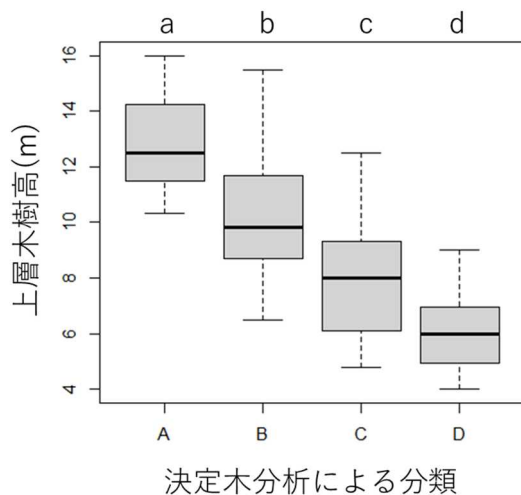


図-5 決定木分析における尾根谷度による分類毎の上層木樹高

図上部のアルファベット(小文字)は多重比較による有意差($p < 0.01$)

最後に、決定木分析の閾値を用いて、調査地とした2小班を5m×5mに分割した地点を4区分に分類したところ、図-6のとおりとなり、理想的には、良好な成長が期待されるA及び

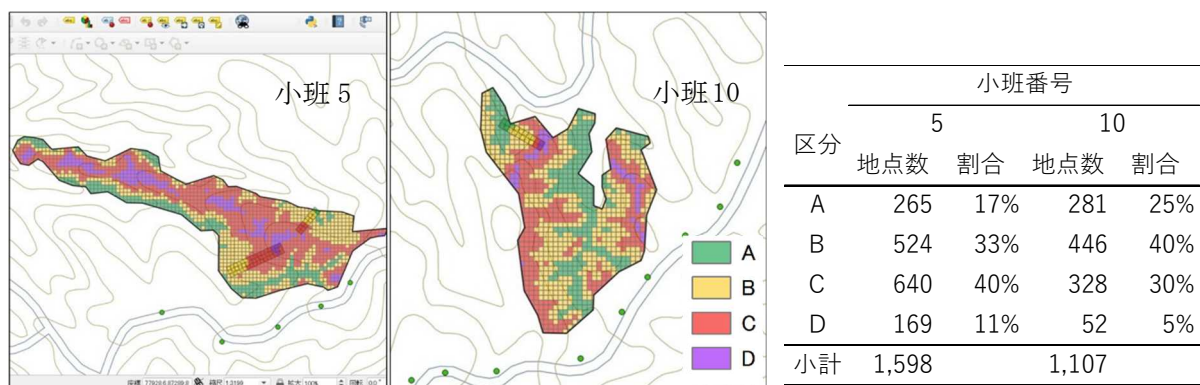


図-6 決定木分析による尾根谷度の閾値を用いた2小班の分類図

謝辞

本研究の調査は、林業普及情報システム化の一環として実施しており、調査に協力した林業普及指導員には感謝申し上げます。

引用文献

天野鉄夫(1985) 沖縄産有用木材の性質と利用:75

千葉達朗・鈴木雄介(2004) 応用測量論文集 15:81-89

Enoki, T. et al. (1996) Ecol. Res. 11:299-309

福島敏彦ら(1974) 福岡県林試時報 23:1-34

井口朝道ら(2008) 九州森林研究 61:140-143

村上拓彦ら(2000) 森林計画誌 34:13-26

沖縄県農林水産部(1984) 県産材利用開発調査報告書

沖縄県農林水産部森林管理課(2022) 沖縄の森林・林業 令和4年版:17

沖縄県農林水産部森林管理課(2019) やんばる型森林業の推進(施策方針) 令和元年:17

沖縄県農林水産部森林管理課(2012) やんばる型森林業報告書

高嶋敦史・大島順子(2019) 森林計画学会誌 52:59-65