

ISSN 2185-9167

林業技術総合センター研究報告

第31号

令和6年7月

宮城県林業技術総合センター

目 次

- 1 ツーバイフォー建築に求められる県産スギ部材の開発・・・・・・・・・・ 1
- 2 しいたけ原木林の利用再開に向けた萌芽枝の放射性物質推移に
関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 2
- 3 生育基盤盛土を伴うクロマツ海岸防災林の健全化に向けた調査・・・・・・・・ 2 8

ツーバイフォー建築に求められる県産スギ部材の開発

大西 裕二

要 旨

宮城県産スギ大径材からディメンションランバー206 材を製造し、歩留りや、品質、強度性能を調査した。乾燥に伴う収縮、変形量を調査し適正な製材歩増し量を求め、歩留りよく製造できる丸太径級を求めた。枠組壁工法製材の日本農林規格に基づく目視等級区分を行った後、枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づく曲げ、引張、縦圧縮試験を行い、県産スギ 206 材の強度性能を調査した。

キーワード：スギ、大径材、ディメンションランバー206 材

1 はじめに

本県民有林人工林面積の齢級構成のピークは 12 齢級 (56～60 年生) となっており (宮城県水産林政部、2022)、年間 85 万 m³ の新たな成長量が毎年ストックされ、本格的な利用が可能な段階となっている (宮城県水産林政部、2018)。

県内における木材需要は、景気後退等により長期的に減少傾向となっており、人口減少による住宅需要の減退などが懸念され、製材・合板用需要の新たな開拓が期待されている (宮城県水産林政部、2018)。また、2021 年以降、世界的な木材不足と価格の急激な上昇が発生、輸入材の供給リスクが顕在化し、国産材の需要が高まる中で、海外市場の影響を受けにくい木材需給構造を構築していくことが重要となっている (宮城県水産林政部、2018)。住宅ビルダーへの聞き取り調査では、輸入材の需給や為替による価格変動では、経営計画が立てられないため、価格の安定した国産材を使いたいという意見も聞かれた。

国の森林・林業基本計画 (農林水産省、2021) では国産材比率が低い部材への国産材の利用拡大策のひとつとして、枠組壁工法用部材に対する供給の強化が謳われている。本県の、木造住宅新設着工戸数の工法別のシェアはツーバイフォー工法が 26%と高位にあり (国土交通省、2023)、これに県産スギが利用できないか検討を行ってきた。ディメンションランバー204 材で、県産スギ材は輸入 SPF (スプルース・パイン・ファー) 材とたて枠で同等に利用が可能であった (大西、2021)。日本ツーバイフォー建築協会宮城県支部の協力により、県内に事業所を置く同会員にアンケートを取ったところ、宮城県産ツーバイフォー材への課題として価格、品質、安定供給と並び寸法対応があり (宮城県林業技術総合センター地域支援部、2020)、204 を超えた断面の要望があった。ツーバイフォー建築の壁厚さに関しては省エネルギー対策に伴う高気密・高断熱仕様の中で 206 材へ展開しており (有馬、2020)、本県の大径化しつつある森林資源から、より幅広の 206 材 (38×140mm) を製造し、利用できないかと考えた。

国産材の大径材からの枠組壁工法構造用製材 (以下「枠組製材」) の製造は、枠組壁工法構造用製材の日本農林規格 (以下「枠組製材 J A S」) (農林水産省、2015) において国産材の樹種群が追加された際に反映された (井道、2018)。「2×4 住宅部材の開発事業」(全国木材協同組合連合会、2011) のデータ収集では、径級 30cm を超えるスギ大径材からの 204 材、206 材の製造は九州地方であった。また、スギ大径材からの 206 材では茨城県産 (井道ら、2017)、新潟県産 (岩崎ら、2017)、石川県産 (石田ら、2022) で製造と強度の報告がなされているが、本県においてさらにデータを収集し、県産スギ 206 材の強度を明らかにする必要がある。

そのため、本研究は、県内の森林資源から供給が増加すると予想されるスギ大径材から、ディメンシ

ンランバー206材を製造し、一定の品質を確保し歩留りのよい効率的製造方法を示すことと、製造された県産スギ206材が、強度性能において利用可能であるのか検証を行った。具体的には県産スギ大径材から206材を製造し、収縮、変形を見込んだ製材歩増し量を求め、歩留りよく利用できる最適径級を明らかにし、また、枠組製材JASによる甲種枠組製材としての等級区分を行い、その利用歩留りを求めた。強度性能においては、これらを曲げ、引張、圧縮試験を行い、甲種枠組製材の基準強度（国土交通省、2006）と比較し、評価を行った。

2 材料及び方法

宮城県登米市産スギ丸太大径材（長さ2.9m、径級34~38cm）25本を供試材とした。丸太の長さ、元口・中央・末口直径を測定し、丸太の径級を素材の日本農林規格（農林水産省、2022）に基づき測定するとともに、区分求積法及び末口二乗法による材積を求めた。

これらを挽き立て寸法、45×155mmとして、送材車付き帯鋸盤で図-1の木取りにより製材を行った。製材順序は側板部を落とし、タイコ材の外層から順次採材した後、タイコ材を回し同様に採材した。側板部からは樹心に近い方の面を基準に1枚ないし2枚を採取し、これらにより粗挽206材237本を得た。

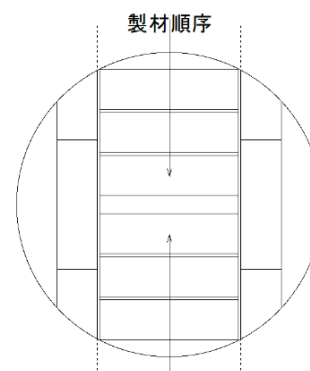


図-1 採材方法の例

乾燥前の状態で、幅、厚さの寸法をノギスで測定した。人工乾燥（最高乾球温度70℃、最高乾湿球差20℃で7~8日間）を行った後、1箇月養生した。それから同様に寸法を測定し、枠組製材JASに示す方法により反り、曲がり、幅反り、ねじれ等の変形量を測定した。その後、モルダー加工を施し、所定の断面寸法（38×140mm）に仕上げた。

これらを枠組製材JASの甲種枠組製材の規格に従って、節、腐れ等の欠点、また、反り、曲り、幅反り、ねじれ等の変形量及び削り残し等の加工上の欠点を測定した。

また、寸法、重量を測定し密度を求めるとともに、FFTアナライザー（小野測器CF-350）により固有振動数を測定し、縦振動ヤング係数を求めた。206材237本から破壊試験を行うため、測定した縦振動ヤング係数で平均値と分散がほぼ等しくなるよう割り振りし、それぞれ、A（曲げ試験用）76本・B（引張・圧縮試験用）73本・C（それ以外）の3グループに区分し（図-2）、破壊試験のための試料材を採取した。

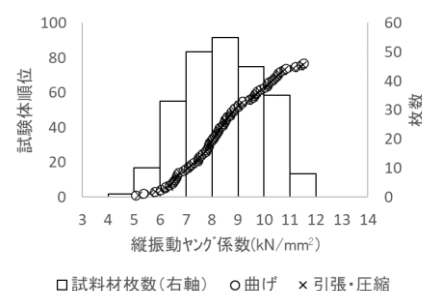


図-2 縦振動ヤング係数分布と試料材

枠組壁工法建築物構造用計算指針（日本ツーバイフォー建築協会、2018）に基づき、狭い面を荷重方向とするエッジワイズ、スパンを試験体の高さ140mmの18倍の2520mmとし、3等分点4点荷重法により曲げ試験を行い、曲げ強さ、曲げヤング係数を求めた。枠組製材JASでは、曲げ試験の支点間距離が標準条件である試験体の高さの21倍に満たない場合は、算出した曲げヤング係数に係数を乗じるとされており、18倍では1.012を乗じた。試験は実大試験機（東京衡機製、容量1000kN）を用い、変位量は試験体中央部下部に設置した変位計（共和電業CDP-50）を用いて測定した。

引張試験は、枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づき、試験体の両端をそれぞれ600mmずつチャック

で掴み、チャック間距離を 800mm として引張方向に単調荷重を与え引張試験を行い、破壊した最大荷重から引張強さを求めた。試験は引張試験機（前川試験機製、容量 700kN）を用いて測定した。

縦圧縮試験は枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づき、試験体の長さを 320mm として、破壊した最大荷重から圧縮強さを求めた。試験は実大試験機（東京衡機製、容量 1000kN）を用いて測定した。

3 試験結果

3. 1 製造方法

丸太の測定の結果は表-1 のとおりである。径級より実測した末口直径が 7~23% 大きい傾向を示した。また、区分求積法で求めた材積は末口二乗法で求めた材積より、平均値で 14% 大きい値を示した。

表-1 丸太測定結果

	材長 (mm)	末口直径 (cm)	材積(m ³)		末口年輪数 (n)
			区分求積法	末口二乗法	
平均値	2918	39.5	0.395	0.347	54
最大値	2993	43.7	0.478	0.404	74
最小値	2883	36.6	0.339	0.324	39
試験体数	25	25	25	25	25
変動係数(%)	0.7	4.4	9.5	8.0	15.6

製品長さを丸太長さとし、製品材積を末口二乗法による丸太材積で除した製材歩留りを径級ごとに表-2 に示す。径級 34cm、36cm の歩留りがよかった。

表-2 径級ごとの製材歩留り

径級 (cm)	丸太単材積 (mm ³)	丸太本数 (n)	丸太材積 (mm ³)	製品枚数 (n)	丸太当たり平均枚数 (n)	製品材積 (mm ³)	歩留り (%)
34	0.324	13	4.208	116	8.9	1.728	41.1
36	0.363	9	3.266	90	10.0	1.341	41.1
38	0.404	3	1.213	31	10.3	0.462	38.1

適正な最小量の製材歩増しを求めめるため、乾燥前後の収縮量と変形を調べた。平均収縮量は幅で 5.0mm、厚さで 1.0mm であった。また、平均の曲がり矢高は 3.6mm、幅反り矢高 0.6mm であった。収縮量と変形量のグラフを図-3 に示す。矢高と収縮量を足したものが仕上げ前の歩増しであり（井阪、1957）、製品寸法からの製材歩増し量は幅 11.9mm、厚さ 3.1mm を歩増しすれば、95% の材料が製品寸法をクリアする。表面仕上げを表裏 2mm ずつとすると、製材歩増しは幅 15.9mm、厚さ 5.1mm とすると、製材挽き立て寸法は幅 156mm、厚さ 44mm である。

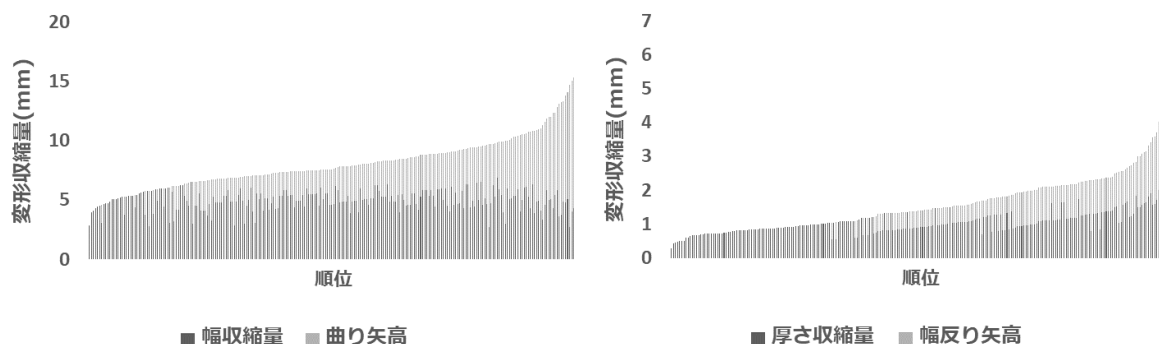


図-3 変形収縮量 (左: 幅、右: 厚さ)

この挽き立て寸法を採材することを想定すると、径級 32cm では 8 枚、34cm では 8 枚、36cm では 9 枚の 206 材を採取することができ (図-4)、製材歩留りはそれぞれ、径級 32cm で 42%、34cm で 37%、36cm で 37%であり、歩留りのよい径級は 32cm である。本試験で 34cm、36cm で計算以上に歩留りがよかったのは、径級より実際の直径が大きかったためと考えられる。

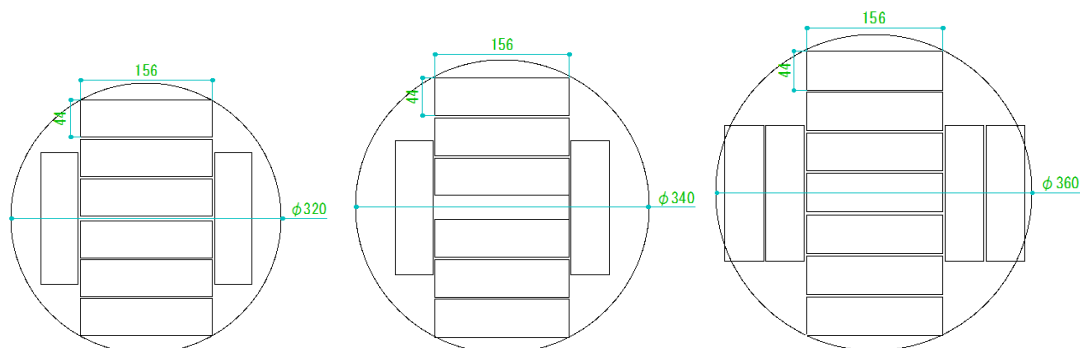


図-4 径級ごとの木取り (左 : 32cm、中 : 34cm、右 : 36cm)

3. 2 目視等級区分

206 材の枠組製材 J A S の甲種枠組材の目視等級区分の結果を表-3 に示す。特級が 66%、1 級が 4%、2 級が 12%、3 級が 5%、格外はなかった。試料材の丸太は、トビクサレに起因する腐れがあり、等級を下げる結果となった。そのほかの等級付ける決定要因は反り、節 (材縁節径、材縁集中節径)、また加工上の削り残しであった。主として利用される甲種 2 級以上 (井道ら、2017) の格付けは 95% であり、県産スギ大径材から採材した 206 材は枠組製材 J A S 目視等級区分材として歩留りよく利用可能である。

表-3 枠組製材 J A S 甲種枠組材目視等級区分結果

等級	枚数	決定要因							
		反り	曲がり	幅反り	ねじれ	腐れ	繊維傾斜	節	削り残し
特級	180	0	0	0	0	0	0	0	0
1級	11	9	0	0	0	0	0	3	0
2級	32	1	0	0	0	28	0	0	3
3級	14	5	0	0	0	8	0	1	2
格外	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3. 3 破壊試験

曲げ・引張・縦圧縮試験はすべての試験体の破壊近傍から試験片を採取し、全乾法により含水率を求め、曲げ・引張・縦圧縮の各強度及び曲げヤング係数を ASTM D1990-07 (ASTM International、2016) に従って含水率 15% の値に調整した。なお、試験体の含水率は 10.3~15.9% の範囲で、全て目視等級区分 2 級以上であった。

曲げ試験の結果は表-4 のとおりである。枠組製材 J A S の目視等級区分甲種各等級の曲げ強さの平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表-5 に、各等級の曲げヤング係数と曲げ強さの関係と基準強度を図-5 に示す。多くを占める甲種特級では、最小値は基準強度を下回ったが、ツール (堀江 1997) により算出した 5% 下限値は基準強度を上回った。基準強度を下回っていた 2 本は荷重点間に材縁部の集中節があり破壊したものである。1 級、2 級では最小値はそれぞれの等級の基準強度を上回った。

表-4 曲げ試験結果

	密度	平均年輪幅	最大節径比(%)		最大集中節径比(%)		曲げ強さ	曲げヤング係数	含水率
	(kg/m ³)	(mm)	材縁部	中央部	材縁部	中央部	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(%)
平均値	363	3.6	6.0	11.4	9.0	2.9	44.8	8.18	12.6
最大値	500	7.5	43.0	40.0	66.0	38.0	62.0	10.86	15.9
最小値	287	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	18.9	5.67	10.7
試験体数	76	76	76	76	76	76	76	76	76
変動係数(%)	11.0	40.5	156.5	95.2	171.4	311.6	18.5	16.2	6.9

表-5 甲種各等級の曲げ強さと基準強度

	特級	1級	2級
試験体数	60	4	12
平均値	45.1	41.0	44.8
最小値	18.9	25.9	28.1
5%下限値	30.3		
基準強度	23.9	17.1	16.4

単位:N/mm²

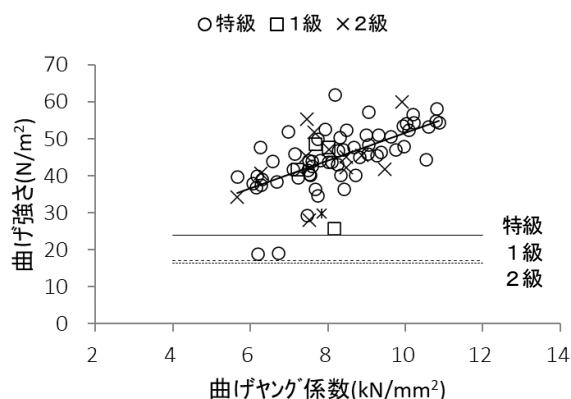


図-5 曲げヤング係数と曲げ強さの関係と基準強度

引張試験の結果は表-6のとおりである。枠組製材 J A S の目視等級区分甲種各等級の引張強さの平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表-7に、各等級の引張強さを全ての順位で並べたものと基準強度を図-6に示す。国土交通省告示の基準強度との比較では引張強さの最小値は全ての等級において基準強度を上回った。

表-6 引張試験結果

	密度	平均年輪幅	最大節径比(%)		最大集中節径比(%)		引張強さ	含水率
	(kg/m ³)	(mm)	材縁部	中央部	材縁部	中央部	(N/mm ²)	(%)
平均値	369	3.6	4.6	8.0	3.9	2.2	33.3	12.5
最大値	481	8.3	31.0	37.0	39.0	36.0	53.6	14.3
最小値	299	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	10.5
試験体数	72	72	72	72	72	72	72	72
変動係数(%)	10.5	48.1	149.5	108.4	249.6	343.7	22.5	6.6

表-7 甲種各等級の引張強さと基準強度

	特級	1級	2級
試験体数	63	3	6
平均値	33.3	37.7	31.3
最小値	17.5	30.7	21.9
基準強度	13.4	10.2	10.2

単位:N/mm²

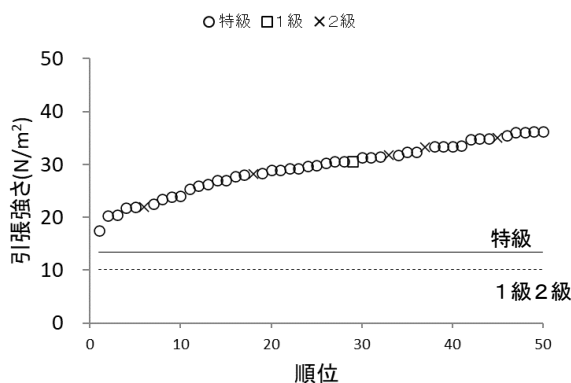


図-6 引張強さの順位と基準強度

縦圧縮試験の結果は表-8のとおりである。枠組製材 J A S の目視等級区分甲種各等級の圧縮強さの平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表-9に、各等級の圧縮強さを全ての順位で並べたものを図-7に示す。国土交通省告示の基準強度との比較ではすべての試験体で基準強度を上回った。

表-8 縦圧縮試験結果

	密度	平均年輪幅	最大節径比(%)		最大集中節径比(%)		縦圧縮強さ (N/mm ²)	含水率 (%)
	(kg/m ³)	(mm)	材縁部	中央部	材縁部	中央部		
平均値	373	3.6	2.0	4.5	2.8	0.0	30.3	11.9
最大値	527	8.3	32.0	20.0	70.0	0.0	39.8	14.1
最小値	297	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	10.3
試験体数	72	72	72	72	72	72	72	72
変動係数(%)	11.3	48.1	253.6	144.7	368.7		13.5	6.1

表-9 甲種各等級の縦圧縮強さと基準強度

	特級	1級	2級
試験体数	63	3	6
平均値	30.4	33.7	27.7
最小値	22.2	26.9	25.1
基準強度	15.1	15.1	15.1

単位:N/mm²

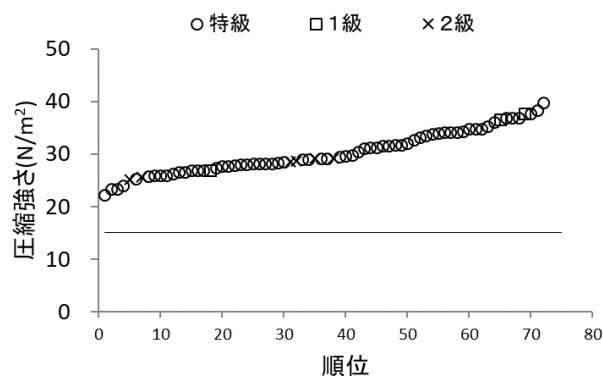


図-7 圧縮強さの順位と基準強度

枠組製材 J A S 甲種特級で、一部の試験体で曲げの基準強度を下回ったが、引張、圧縮では全ての試験体で上回った。「枠組壁工法建築物設計の手引き」(日本ツーバイフォー建築協会、2018)では、鉛直荷重支持機能を担う壁構面の耐荷能力は3つの耐力に支配され、そのひとつにたて枠の座屈耐力があり、これは、材料の縦圧縮応力に関わっている。北米産 S P F の圧縮の基準強度は、206材では甲種特級で 19.6N/mm²、1級で 17.3N/mm² であり、本試験体は S P F 特級を達成する強度であった。

4 おわりに

県産スギ大径材からツーバイフォー材を製造し、乾燥に伴う収縮、変形を調査し、適正な製材歩増し量を求め、歩留りのよい径級は末口直径 32cm であった。また、枠組製材 J A S に基づく目視等級区分を行ったところ、95%が利用できた。強度性能においては、枠組製材 J A S 目視等級区分で甲種特級、1級、2級に区分された県産 206 材は、ほぼ基準強度を満たし、圧縮強度においては現行利用される S P F 甲種特級を上回り同等に利用可能である。

引用文献

ASTM International (2016) ASTM D1990-14 Standard practice for establishing allowable properties

- for visually graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens
- 有馬孝禮(2020)木材工業. 75(11)
- 堀江和美(1997)木材強度データの確率・統計手法
- 井道裕史(2018)森林総合研究所研究報告. 17(1)
- 井道裕史、加藤英雄、長尾博文、原田真樹、伊神裕司、松村ゆかり、松田陽介、齋藤周逸(2017)木材学会誌. 63. (6)
- 井阪三郎(1957)林試研報. 97
- 石田洋二、松元浩、小倉光貴(2022)石川県林試研報. 53
- 岩崎昌一、小柳正彦(2017)新潟県森林研究所研究報告. 58
- 国土交通省(2015)木材の基準強度を F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件 国土交通省告示
- 国土交通省(2023)住宅着工統計
- 宮城県水産林政部(2018)みやぎ森と緑の県民条例基本計画 (中間見直し)
- 宮城県水産林政部(2022)みやぎの森林・林業のすがた
- 宮城県林業技術総合センター地域支援部(2020)みやぎの林業だより
- 日本ツーバイフォー建築協会(2018)枠組壁工法建築物構造用計算指針
- 日本ツーバイフォー建築協会(2018)枠組壁工法建築物設計の手引
- 農林水産省(2015)枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格
- 農林水産省(2020)枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格
- 農林水産省(2021)森林・林業基本計画
- 農林水産省(2022)素材の日本農林規格
- 大西裕二(2021)宮城県林業技術総合センター研究報告. 29
- 全国木材協同組合連合会(2011)2×4住宅部材の開発事業成果報告書

付表－1 丸太調査結果

番号	材長 mm	直径元 cm	直径中 cm	直径末 cm	径級 cm	区分求積法 材積m ³	末口二乗法 材積m ³	末口年輪数	製材枚数	製材歩留り %
1	2936	44.6	39.4	37.7	34	0.375	0.324	43	9	41
2	2920	43.2	40.7	40.3	36	0.390	0.363	39	10	41
3	2924	47.5	44.0	42.4	38	0.455	0.404	49	10	37
4	2905	46.1	41.4	39.9	36	0.408	0.363	50	10	41
5	2924	42.5	41.5	40.5	34	0.396	0.324	68	10	46
6	2920	45.0	44.4	41.8	34	0.443	0.324	59	10	46
7	2993	41.5	38.8	37.1	34	0.359	0.324	57	8	37
8	2904	40.3	39.3	37.8	34	0.350	0.324	51	9	41
9	2928	45.3	43.2	40.4	36	0.427	0.363	59	10	41
10	2948	44.2	39.2	38.8	34	0.379	0.324	57	8	37
11	2911	43.0	39.2	38.4	36	0.365	0.363	62	10	41
12	2932	49.4	44.5	43.7	36	0.478	0.363	74	10	41
13	2916	43.5	38.7	36.6	34	0.356	0.324	60	8	37
14	2883	42.1	40.9	39.2	36	0.376	0.363	45	10	41
15	2916	46.9	41.6	39.6	34	0.414	0.324	54	9	41
16	2893	41.7	40.8	39.5	34	0.377	0.324	42	9	41
17	2908	49.5	43.0	40.6	38	0.445	0.404	59	10	37
18	2929	45.7	42.2	38.4	34	0.410	0.324	61	10	46
19	2931	46.0	45.6	42.7	38	0.465	0.404	62	11	41
20	2903	40.8	39.9	38.5	34	0.361	0.324	56	9	41
21	2915	42.5	39.6	39.2	36	0.371	0.363	58	10	41
22	2891	39.5	38.7	37.7	34	0.339	0.324	40	9	41
23	2913	42.7	40.0	37.7	34	0.369	0.324	52	8	37
24	2901	42.1	41.4	39.9	36	0.387	0.363	46	10	41
25	2920	43.7	40.1	38.8	36	0.380	0.363	55	10	41
平均値		44.0	41.1	39.5		0.395	0.347	54	9	41
最大値		49.5	45.6	43.7		0.478	0.404	74	11	46
最小値		39.5	38.7	36.6		0.339	0.324	39	8	37
試験体数		25	25	25		25	25	25	25	25
変動係数(%)		5.9	4.8	4.4		9.5	8.0	15.6	8.5	6.6

付表-2 曲げ試験結果

番 号	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m ³	縦振動ヤング 係数N/mm ²	曲り mm	反り mm	幅反り mm	ねじれ mm	削り残し mm ²	平均年輪幅 mm	繊維傾斜 %	腐れ mm	材線節径 mm	中央節径 mm	材線集中 節径mm	中央集中 節径mm	穴径 mm	甲種 級	曲げ強さ N/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²	含水率 %	
1	1	2800.0	140.46	38.16	297	8.46	0	3.5	0	0	3.6	0.3		0	0	0	0	0	特	39.8	5.67	11.9	
1	3	2800.1	140.38	38.22	325	6.02	0	1.5	0	0	5.2	1.1		0	14	0	25	0	特	40.0	6.18	12.4	
1	5	2800.2	140.37	38.20	313	6.36	0	2	0	0	4.3	0.5		0	8	0	0	0	特	37.0	6.15	12.2	
1	8	2800.3	140.54	38.20	337	6.20	0	1.5	0	0	3.4	0.7		0	7	0	0	0	特	47.7	6.25	12.6	
1	9	2800.0	140.43	38.13	287	6.19	0	1	0	0	4.3	1.1		0	0	0	0	0	特	38.0	6.05	12.2	
2	4	2800.4	140.48	38.18	360	8.73	0	0	0	0	4.0	1.1		22	38	0	0	0	特	43.2	8.24	11.9	
3	1	2800.1	140.46	38.14	359	8.11	0	6.5	0	0	2.7	1.1		0	0	0	0	0	1	47.8	8.01	14.2	
3	4	2800.2	140.42	38.13	361	7.08	0	0	0	0	3.2	1.4	変色	0	9	0	0	0	2	55.3	7.47	15.9	
3	7	2800.2	140.36	37.32	378	7.50	0	1.5	0	60620	2.5	2.0		0	0	0	0	0	2	51.9	7.66	15.0	
4	7	2800.1	140.28	38.13	328	8.01	0	4.5	0	0	3.9	2.9		0	10	0	0	0	特	44.0	7.60	11.1	
4	8	2800.0	140.35	38.14	318	8.48	0	4	0	0	3.6	1.5		0	0	0	0	0	特	47.0	8.40	11.6	
4	9	2800.1	140.58	38.19	321	8.71	0	3	0	0	2.9	0.6		3	0	0	0	0	3	47.8	8.67	11.4	
4	10	2800.0	140.43	38.24	325	8.11	0	5.5	0	0	4.1	1.9		16	21	0	0	16	特	40.1	7.54	11.5	
5	2	2800.1	140.34	38.18	335	6.61	0	4	0	0	2.3	5.5		17	40	0	0	0	特	19.2	6.72	12.8	
5	6	2800.1	140.19	38.14	349	6.87	0	0	0	0	5.4	1.5		20	20	52	0	0	特	18.9	6.20	12.3	
5	10	2800.1	140.21	38.15	357	7.86	0	3	0	0	2.2	0.6		30	20	46	0	0	特	29.3	7.46	12.9	
6	1	2800.1	140.40	38.15	380	9.74	0	0	0	0	1.3	4.5		0	0	0	0	0	特	51.0	9.30	12.4	
6	2	2800.1	140.51	38.12	375	9.45	0	4.5	0	0	3.3	5.1		0	18	0	0	0	特	51.1	8.99	12.4	
6	7	2800.0	140.33	38.15	404	11.43	0	0	0	0	1.2	2.8		0	0	0	0	0	特	58.1	10.80	11.9	
7	3	2800.1	140.17	38.09	438	8.54	2	6	0	0	4.4	0.1		3	14	17	33	0	特	62.0	8.19	12.5	
7	4	2800.1	140.37	38.15	391	10.63	0	0	0	0	1.8	0.1		0	0	0	0	0	特	48.0	9.96	12.1	
7	8	2800.0	140.32	38.15	436	10.76	0	3	0	0	4.7	2.0	軽度	8	14	22	0	0	2	60.0	9.91	12.9	
8	1	2800.3	140.39	38.14	364	8.18	0	2.5	0	0	3.0	0.1		0	19	0	0	0	特	49.9	7.73	13.2	
8	4	2800.2	140.27	38.09	339	10.01	0	0	0	0	3.2	0.1		0	0	0	0	0	特	47.2	9.75	12.1	
8	6	2800.0	139.07	37.95	389	9.84	2.5	3.5	0	47576	4.7	0.1	芯持	4	14	10	0	0	2	41.7	9.46	12.7	
8	7	2800.1	140.31	38.13	334	9.69	0	2	0	0	2.5	1.2		0	4	0	0	0	特	46.4	9.37	12.0	
8	8	2800.1	140.32	38.09	360	10.37	0	0	0	0	2.8	2.1	変色	17	34	0	0	0	2	28.1	7.53	12.8	
9	1	2800.1	140.34	38.15	332	8.84	1	3.5	0	0	2.5	0.5		43	0	0	0	0	1	25.9	8.16	13.8	
9	8	2800.0	140.32	38.16	330	9.14	0	0	0	0	2.8	1.8	変色	0	0	0	0	0	2	45.6	8.87	13.5	
9	10	2800.1	140.28	38.03	368	10.53	0	3.5	0	72100	2.4	1.9		0	0	0	6	0	特	53.6	9.94	13.0	
10	1	2800.0	140.28	38.17	370	11.53	0	2.5	0	0	1.4	6.1		0	0	0	0	0	特	54.4	10.86	12.9	
11	1	2800.2	140.23	38.20	344	9.56	0	2	0	0	2.0	1.8		0	0	0	0	0	特	45.5	9.26	13.1	
11	6	2800.0	140.24	38.16	356	7.30	0	5	0	0	6.0	1.3		0	16	0	0	0	特	44.1	7.79	12.4	
12	2	2800.1	140.51	38.16	333	7.45	0	5.5	0	22134	4.3	1.6		20	18	0	0	0	特	40.3	7.53	13.5	
12	6	2800.1	140.29	38.17	348	6.97	0	1.5	0	0	4.9	0.1		14	21	0	0	0	特	44.3	7.49	13.2	
12	8	2800.0	140.34	38.17	320	7.87	0	3.5	0	11461	5.8	2.7		0	27	0	0	6	特	46.8	8.26	12.5	
13	1	2800.0	140.27	38.16	374	10.12	0	3	0	0	2.5	1.9		0	0	0	0	0	特	52.4	10.08	12.6	
13	4	2800.0	140.18	38.12	427	8.68	0	0	0	0	2.8	0.9		14	24	37	0	0	特	36.4	8.41	13.3	
13	5	2800.4	140.17	38.08	439	8.59	0	3.5	0	0	3.6	1.5		15	9	33	0	0	特	40.2	8.32	13.1	
13	6	2800.5	140.19	38.11	372	8.39	0	0	0	0	2.4	2.1		0	35	0	0	0	特	52.6	7.93	12.3	
13	8	2800.1	140.07	38.14	389	8.04	0	0	0	0	3.3	3.0		12	31	66	0	0	1	48.6	7.68	13.6	
14	5	2800.0	140.32	38.14	399	7.83	0	3	0	0	4.7	5.4		23	19	42	0	23	特	34.6	7.73	11.7	
14	7	2800.2	140.37	38.20	393	10.44	0	1.5	0	0	4.0	1.9		0	0	0	0	0	8	54.3	10.03	11.8	
15	4	2800.1	140.22	38.13	363	10.85	0	1	0	0	1.7	1.9		0	0	0	0	0	特	53.3	10.59	12.8	
15	9	2799.9	140.28	38.16	333	9.17	0	3.5	0	35700	2.9	1.0		0	0	0	0	0	特	45.2	8.81	12.6	
16	3	2799.9	140.21	38.07	399	7.78	0	4.5	0	0	4.6	1.2		3	11	14	0	0	特	52.5	8.48	12.6	
16	6	2800.1	140.25	38.10	351	7.45	0	2	0	0	4.3	2.8		0	34	0	0	0	特	48.0	7.14	12.3	
16	9	2800.2	140.09	38.11	389	9.62	0	0	0	0	4.5	0.1		19	11	30	0	0	特	48.4	9.06	12.5	
17	1	2800.0	140.20	38.13	340	7.56	0	6	0	0	2.6	1.8		16	9	0	0	0	特	42.7	7.59	14.3	
17	4	2800.0	140.20	38.15	322	7.88	0	0	0	0	1.9	0.5	変色	0	0	0	0	0	2	45.3	7.44	13.4	
17	5	2799.9	140.16	38.12	322	7.95	0	3	0	0	4.0	0.8	変色	0	0	0	0	0	2	47.1	8.02	13.1	
17	6	2800.0	140.19	38.12	307	6.62	0	3	0	0	7.2	1.5		0	7	0	0	7	特	38.4	6.68	11.8	
18	6	2800.1	140.22	38.13	328	7.20	0	3	0	0	5.0	4.5		0	12	0	0	0	特	41.9	7.11	11.5	
18	8	2800.2	140.17	38.15	345	8.47	0	0	0	0	3.1	5.2		0	0	0	0	0	特	43.8	8.09	11.7	
18	10	2800.0	140.10	38.11	326	7.75	0	8	0	0	3.850	2.9	1.1		0	0	0	0	0	1	41.7	7.20	11.7
19	1	2799.9	140.40	38.16	312	8.14	0	3.5	0	0	2.2	2.3		0	7	0	0	7	特	43.8	8.02	12.1	
19	2	2800.1	140.31	38.18	328	8.23	0	3	0	0	2.8	1.5		9	15	24	0	17	特	41.6	7.48	11.6	
19	11	2800.3	140.37	38.17	316	6.55	0	0	0	0	2.8	4.1		0	0	0	0	0	特	43.9	6.58	11.4	
20	3	2800.1	140.26	38.15	350	5.06	0	0	0	0	5.8	1.5		24	10	30	20	0	特	37.5	6.28	13.4	
21	3	2799.9	140.28	38.15	368	5.80	0	0	0	0	5.2	1.2		6	16	22	0	0	特	38.2	6.29	10.7	
21	7	2800.3	140.20	38.12	336	9.00	0	3	0	0	2.3	3.2		3	12	15	0	0	特	40.3	8.70	11.2	
21	10	2800.7	140.14	38.10	348	8.25	0	2.5	0	0	2.8	3.5		20	21	36	0	22	特	36.5	7.68	10.9	
22	2	2800.0	140.20	38.09	413	10.18	0	2	0	0	6.8	0.5		3	19	22	0	0	特	54.5	10.21	12.3	
22	3	2800.0	140.17	38.12	500	10.32	0	0	0	0	3.3	5.0	変色	22	28	38	34	0	特	50.7	9.62	13.1	
22	8	2800.1	139.98	38.06	458	9.00	0	0	0	0	6.6	0.4		7	30	35	0	28	2	42.2	8.48	13.0	
23	1	2800.0	140.21	38.12	395	10.14	5	0	0	0	2.2	1.5		0	8	0	0	0	特	56.7	10.18	12.6	
23	2	2800.3	140.23	38.09	389	8.71	0	5	0	0	4.0	2.0		0	14	28	0	16	特	39.5	7.22	12.3	
23	3	2800.1	140.20	38.11	424	6.66	0	1.5															

付表-3 引張試験結果

番号	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m ³	縦振動ヤング 係数kN/mm ²	平均年輪幅 mm	繊維傾斜 %	材縁節径 mm	中央節径 mm	材縁集中 節径mm	中央集中 節径mm	引張強さ N/mm ²	含水率 %	
1	4	2164	140.47	38.17	312	7.08	2.7	1.4	0	0	0	36.2	12.2	
1	6	2164	140.15	38.11	340	5.80	5.8	1.1	0	18	0	25.9	12.4	
1	7	2164	140.49	38.14	299	6.93	3.4	0.9	0	0	0	36.3	11.9	
2	10	2164	140.54	38.17	373	7.75	4.4	1.7	10	29	39	29.3	11.4	
3	5	2164	140.35	38.15	370	6.58	4.7	0.6	0	19	0	36	28.2	13.9
4	1	2164	141.31	38.66	303	6.65	2.9	0.9	0	0	0	26.2	11.8	
4	3	2164	140.30	38.25	376	7.81	3.9	1.8	12	19	31	30.7	11.7	
4	4	2164	140.55	38.16	319	8.32	3.4	1.2	0	13	0	34.7	11.5	
4	6	2164	140.40	38.21	371	6.35	6.9	0.3	5	7	0	23.5	12.1	
5	4	2164	140.29	38.13	365	9.62	1.4	3.2	12	0	0	30.6	12.5	
5	5	2163	140.41	38.17	363	8.48	2.6	1.3	0	30	0	24.1	12.5	
5	7	2164	140.51	38.17	341	7.58	1.7	0.5	0	9	0	17.5	12.1	
6	3	2165	140.55	38.17	356	8.03	4.9	4.3	6	16	22	31.5	11.7	
6	4	2165	140.37	38.15	401	11.13	1.4	2.9	0	8	0	53.6	12.8	
6	5	2165	140.48	38.21	375	9.15	3.8	2.8	0	14	0	41.0	11.2	
7	1	2163	140.16	38.10	406	8.85	1.6	2.0	0	10	0	19	41.3	13.9
7	2	2164	140.33	38.10	452	9.84	3.7	1.2	0	18	0	33	42.7	13.1
7	6	2165	140.42	38.10	397	10.54	1.9	0.7	0	7	0	49.2	11.8	
8	5	2165	140.36	38.14	369	10.50	3.5	1.2	0	9	0	35.4	11.6	
8	9	2164	140.50	38.16	359	7.96	3.1	2.0	6	8	12	36.2	12.3	
9	4	2164	140.44	38.15	316	8.57	2.3	1.8	0	0	0	31.3	13.4	
9	6	2162	140.24	38.13	385	10.79	3.3	1.9	5	14	15	28	30.3	12.6
9	7	2163	140.44	38.15	344	6.74	3.7	2.1	0	0	0	29.9	12.7	
10	2	2164	140.28	38.07	386	11.39	3.2	0.5	0	0	0	39.7	12.8	
10	4	2164	140.08	38.14	392	11.96	3.4	2.1	18	0	0	44.4	12.5	
10	5	2164	140.26	38.05	400	10.33	8.3	3.0	23	16	32	20	37.8	12.4
10	7	2165	140.09	38.11	379	10.73	3.5	3.9	0	17	0	42.5	12.5	
10	8	2165	140.07	38.02	400	11.50	3.7	3.9	0	8	0	36.1	12.9	
11	5	2164	140.12	38.13	356	8.72	3.1	2.4	10	13	0	28.1	13.1	
11	9	2165	140.24	38.12	363	9.47	3.3	1.1	10	0	0	34.8	12.9	
11	10	2165	140.17	38.08	345	8.81	3.2	0.6	0	9	0	31.8	12.8	
12	1	2162	140.50	38.16	380	10.24	0.9	2.4	0	8	0	39.0	13.7	
12	9	2164	140.35	38.15	355	9.03	1.6	2.3	0	19	0	32.4	13.5	
13	3	2163	140.14	38.14	368	8.45	2.3	1.0	0	14	0	33.5	13.4	
13	7	2164	140.49	38.13	379	10.07	2.6	3.3	0	0	0	36.3	13.4	
14	1	2164	140.51	38.18	394	9.93	2.5	0.9	0	14	0	33.5	12.4	
14	4	2164	140.51	38.16	396	9.38	2.7	3.6	31	0	38	27.8	12.3	
14	6	2164	140.25	36.78	432	6.19	5.9	1.0	8	0	19	21.9	11.9	
14	8	2164	140.62	38.17	398	7.46	2.8	3.7	0	37	0	20.5	12.4	
15	10	2163	140.08	38.06	388	9.68	2.0	0.7	0	7	0	37.6	13.2	
16	1	2164	140.32	38.16	355	10.12	3.1	1.0	6	0	0	29.2	13.2	
16	4	2164	140.33	38.10	413	9.00	4.2	1.8	16	0	0	30.6	13.0	
16	5	2164	140.21	38.12	361	8.59	4.0	0.8	14	0	0	22.6	13.0	
17	2	2165	140.25	38.11	338	8.27	1.5	1.3	0	0	0	37.4	13.8	
17	3	2169	140.20	38.14	320	5.17	5.0	0.4	14	11	0	23.8	12.0	
17	9	2165	140.35	38.15	320	7.88	3.0	4.8	0	0	0	33.2	13.4	
18	3	2164	139.23	38.14	356	6.48	8.3	1.6	0	0	0	21.9	12.0	
19	3	2163	140.23	38.14	318	6.36	7.6	2.3	0	9	0	21.8	11.4	
19	4	2164	140.45	38.16	320	8.25	2.5	1.9	0	0	0	38.8	11.6	
19	6	2164	140.31	38.16	319	5.60	8.2	1.1	11	11	0	25.5	11.0	
19	7	2164	140.39	38.10	312	7.86	1.6	1.7	0	0	0	36.5	10.5	
20	4	2164	140.16	38.08	318	8.11	2.3	2.5	0	0	0	34.9	11.8	
20	5	2165	140.26	38.12	340	8.71	3.3	4.3	0	8	0	35.1	12.5	
20	6	2165	140.29	38.12	329	7.51	4.9	1.6	8	9	0	29.7	11.9	
20	9	2164	140.12	38.08	330	8.12	2.6	3.5	0	6	0	31.7	12.9	
21	4	2163	140.49	38.15	315	8.16	2.7	0.7	0	0	0	33.5	11.3	
21	5	2164	140.31	38.13	333	8.21	4.3	1.7	16	14	0	28.9	10.9	
21	6	2164	140.36	38.15	349	6.52	4.3	2.0	13	11	24	20.3	11.2	
21	8	2163	140.34	38.11	327	8.92	2.0	1.2	0	0	0	43.0	10.9	
22	1	2164	140.17	38.14	403	9.73	5.1	1.5	0	0	0	43.1	12.7	
22	4	2163	140.21	38.14	458	8.48	7.8	3.2	5	0	0	28.3	12.2	
22	5	2164	140.30	38.11	440	7.05	6.0	0.4	19	18	24	27.0	12.0	
22	6	2164	140.33	38.11	424	10.59	4.0	1.8	0	0	0	41.4	12.3	
22	7	2164	140.18	38.11	477	9.59	4.3	1.9	15	0	0	29.0	13.2	
23	5	2165	140.26	38.12	406	7.91	5.0	0.1	7	20	0	32.3	12.6	
23	8	2164	140.12	38.11	381	7.26	5.1	1.4	13	19	0	31.4	12.6	
24	4	2161	140.31	38.14	362	7.45	2.7	0.7	0	7	0	41.8	14.3	
24	10	2165	139.87	38.04	390	6.69	3.5	0.6	15	25	28	27.1	14.1	
25	2	2164	140.18	38.12	404	6.62	1.0	0.5	0	0	0	33.3	13.0	
25	4	2165	140.20	38.08	400	10.40	1.4	0.7	0	0	0	49.3	13.3	
25	5	2165	140.20	38.03	428	10.15	2.7	1.7	4	0	0	45.6	13.1	
25	8	2164	140.38	38.12	358	8.45	3.1	3.4	0	0	0	45.1	12.3	
平均値					368	8.51	3.6	1.8				33.3	12.5	
最大値					477	11.96	8.3	4.8				53.6	14.3	
最小値					299	5.17	0.9	0.1				17.5	10.5	
試験体数					72	72	72	72				72	72	
変動係数(%)					10.6	18.1	48.1	62.1				22.5	6.6	

付表-4 縦圧縮試験

番号	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m ³	材縁節径 mm	中央節径 mm	材縁集中 節径mm	中央集中 節径mm	圧縮強さ N/mm ²	含水率 %	
1	4	321.2	140.01	38.06	317	0	0	0	23.4	11.7	
1	6	321.5	140.06	37.95	355	0	10	0	26.9	11.7	
1	7	321.4	139.73	38.01	297	0	0	0	26.0	11.0	
2	10	324.6	140.31	38.13	368	10	7	17	0	29.1	11.8
3	5	325.8	140.21	38.08	370	0	17	0	0	25.1	13.8
4	1	321.4	141.05	38.59	318	0	0	0	0	25.9	11.2
4	3	321.4	140.05	38.13	423	32	19	70	0	26.9	11.0
4	4	321.9	139.97	38.06	314	0	0	0	0	29.4	10.6
4	6	321.3	140.07	37.96	368	0	4	0	0	27.9	11.2
5	4	321.3	139.96	38.07	364	0	0	0	0	31.2	11.9
5	5	321.8	140.11	38.14	359	0	0	0	0	31.7	12.0
5	7	320.9	140.12	38.11	342	0	0	0	0	28.1	11.4
6	3	323.6	140.17	38.10	362	0	15	0	0	28.2	11.3
6	4	324.7	140.23	38.04	399	0	5	0	0	38.3	11.8
6	5	323.7	140.15	38.08	370	0	10	0	0	31.7	11.2
7	1	324.5	140.02	38.14	415	0	8	0	0	34.8	12.7
7	2	324.5	140.12	38.05	443	0	17	0	0	36.5	12.7
7	6	323.9	140.17	38.07	405	0	0	0	0	37.0	11.5
8	5	323.9	140.12	38.05	375	0	0	0	0	35.2	11.5
8	9	325.1	140.14	38.05	370	6	6	12	0	31.6	11.7
9	4	324.6	140.04	38.12	317	0	0	0	0	29.8	12.4
9	6	324.9	140.01	38.08	400	5	10	0	0	34.2	12.3
9	7	325.7	140.22	38.07	349	0	0	0	0	25.9	12.5
10	2	235.2	139.82	37.73	527	0	0	0	0	37.8	12.1
10	4	325.5	139.95	38.07	413	13	0	0	0	37.8	12.1
10	5	325.4	140.01	38.00	388	14	0	0	0	31.3	11.5
10	7	325.1	139.78	37.98	374	0	0	0	0	34.2	11.5
10	8	325.2	139.58	37.84	408	0	0	0	0	39.8	11.6
11	5	324.9	139.93	38.10	355	0	8	0	0	29.0	12.2
11	9	325.2	139.93	38.06	354	0	0	0	0	31.0	12.1
11	10	325.4	139.69	37.96	348	0	0	0	0	30.5	11.6
12	1	324.8	140.05	38.04	378	0	8	0	0	33.6	12.6
12	9	324.5	140.11	37.66	363	0	19	0	0	28.5	12.8
13	3	325.1	139.96	38.06	392	0	0	0	0	34.8	12.7
13	7	324.5	140.22	38.11	400	0	0	0	0	36.9	11.9
14	1	321.6	140.19	38.11	384	0	0	0	0	34.3	11.9
14	4	321.3	140.00	38.05	405	8	0	38	0	36.0	11.7
14	6	322.0	140.25	37.63	413	0	0	0	0	27.3	11.5
14	8	320.8	140.15	38.14	406	0	20	0	0	29.6	12.0
15	10	324.8	139.71	38.02	378	0	0	0	0	34.9	12.4
16	1	324.7	139.99	38.06	348	0	0	0	0	32.1	11.9
16	4	324.5	140.08	38.05	404	10	0	0	0	31.5	12.2
16	5	325.3	140.01	38.13	377	0	0	0	0	28.2	12.4
17	2	323.7	139.97	38.04	338	0	0	0	0	29.2	12.6
17	3	324.8	140.17	38.06	331	0	13	15	0	22.2	11.5
17	9	325.5	140.08	37.96	326	0	0	0	0	29.1	12.5
18	3	325.1	139.99	38.01	334	6	0	0	0	28.6	10.8
19	3	320.6	140.05	38.02	338	0	12	0	0	23.4	11.0
19	4	322.4	139.88	38.05	322	0	0	0	0	28.2	10.7
19	6	321.5	140.16	38.07	334	0	0	0	0	24.0	10.7
19	7	321.1	140.10	38.00	324	0	0	0	0	28.0	10.9
20	4	325.0	139.98	38.02	321	0	0	0	0	26.8	11.6
20	5	325.3	140.13	38.08	349	0	7	0	0	28.5	11.8
20	6	325.3	139.84	38.03	348	0	13	0	0	26.8	11.8
20	9	323.7	139.92	37.98	333	0	10	0	0	25.6	12.3
21	4	325.0	140.10	38.08	316	0	0	0	0	26.2	10.9
21	5	324.4	140.10	38.08	314	0	0	0	0	26.5	10.3
21	6	324.4	140.02	38.04	357	12	10	22	0	25.8	10.9
21	8	325.5	140.20	37.82	332	0	0	0	0	29.2	10.6
22	1	321.3	139.92	38.06	397	0	0	0	0	33.3	12.0
22	4	321.1	140.06	38.08	436	0	11	0	0	32.7	12.0
22	5	321.1	140.19	37.95	446	5	16	0	0	27.7	12.0
22	6	321.2	139.98	37.81	435	0	0	0	0	34.2	12.2
22	7	321.2	139.84	38.03	477	6	10	0	0	36.9	12.3
23	5	324.8	140.06	38.08	411	0	20	0	0	28.1	12.3
23	8	324.5	139.84	37.94	394	13	0	0	0	29.1	12.2
24	4	326.1	140.02	38.08	354	0	0	0	0	26.5	13.3
24	10	325.3	139.87	37.89	427	0	19	28	0	25.3	14.1
25	2	323.6	140.01	38.04	387	0	0	0	0	27.8	12.7
25	4	324.3	140.00	38.04	390	0	0	0	0	33.9	12.4
25	5	323.8	139.97	38.04	413	4	0	0	0	34.1	12.8
25	8	323.7	140.03	38.06	338	0	0	0	0	28.3	11.6
平均値				373					30.3	11.9	
最大値				527					39.8	14.1	
最小値				297					22.2	10.3	
試験体数				72					72	72	
変動係数(%)				11.3					13.5	6.1	

しいたけ原木林の利用再開に向けた萌芽枝の放射性物質推移に関する研究

目黒 渚、玉田 克志、渡邊 広大^{※1}

要 旨

東京電力福島第一原子力発電所の放射性物質拡散事故によって放射性物質が降下した宮城県内のしいたけ原木林において、伐採後発生した萌芽枝等の放射性セシウム濃度について前課題から継続して調査したところ、原木林再生実証事業追跡調査では、萌芽枝 3 年目頃まで減少し、その後最大 8 年目まで概ね横ばいに推移する傾向が見られた。また、萌芽枝と葉と同様に萌芽枝と当年枝でも非常に強い相関関係が見られ、いずれにおいても萌芽枝の放射性セシウム濃度を推定する上で有効な手段であることが確認された。加えて、萌芽枝定点状況調査では、萌芽枝の放射性セシウム濃度は 10 年以上経過しても同程度の推移が継続する可能性が示唆された。

キーワード：放射性物質、土壌、萌芽枝、葉、当年枝

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所（以下福島原発）の放射性物質拡散事故により、宮城県内のしいたけ原木林や原木しいたけ栽培現場では多大な影響を受け、その経営は甚大な損害を被っている。平成 24 年 4 月には厚生労働省により一般食品に含まれる放射性セシウムの基準値（以下食品基準値）が 100Bq/kg とされ、これに基づききのこ原木の当面の指標値（以下指標値）は 50Bq/kg（乾重量）以下に改正された（農林水産省、2012）。

宮城県内の原木林においては、平成 23 年度に実施されたモニタリング（宮城県、2015）から指標値以下の原木を調達することが困難な状況とされ、令和 2 年度に実施されたモニタリング（宮城県、2021）でも依然として 4 割の原木林が指標値を上回る結果となり、利用が厳しい状況が続いている。このような状況を踏まえ、萌芽更新を行うことで、元の原木林よりも低濃度の原木を仕立てられるか検討を行うこととした。

本調査では、前課題「原木しいたけ生産再開に向けた生産実証試験と原木林及びほだ場の汚染状況・生産物への放射性物質移行に関する基礎調査」（目黒ら、2018）に引き続き、萌芽枝及び周辺環境等の放射性物質調査を行い、放射性物質濃度が既知の原木から発生する萌芽枝への移行状況及び周辺環境等との関係性を把握することを目的とした。

2 調査方法

2.1 萌芽枝定点状況調査

宮城県栗原市花山地内の広葉樹林において、原発事故前の平成 22 年と事故後の平成 23 年に伐採した伐根から発生したそれぞれのコナラ萌芽枝について、放射性セシウムの濃度を調べた。

^{※1} 普及・研修部

調査は平成 25 年 10 月から開始し、萌芽枝はそれぞれ同一の伐根から採取するほか、平成 30 年度以降は伐採区ごと 3 検体ずつ追加することとした。萌芽枝は土ばかま等を考慮して切り株から 5 cm 以上を対象とし、萌芽枝と併せて着葉も採取した。また、検体量が確保できる場合は、萌芽枝の一部を樹皮と木部に分けそれぞれを検体とした。

試料は 50℃に設定した乾燥機で 3 日間以上乾燥させた後、20mL バイアルに充填し、NaI シンチレーション（パーキンエルマ製ガンマカウンタ）にて測定した。測定値が検出下限値以下の場合は検出下限値を測定結果として取り扱い、測定値は各試料の含水率から 12%の値で補正を行った。加えて、放射性セシウム 134 については、放射性セシウム 137 と合算すると放射性セシウムの動態が把握しづらくなることから、本報告ではとりまとめの対象外とした。



写真 1 調査地全景

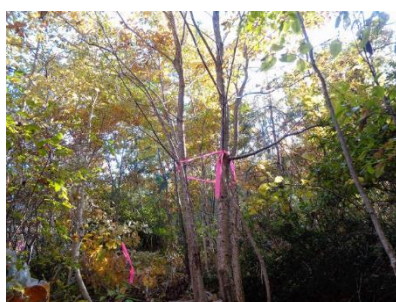


写真 2 萌芽枝



写真 3 20mL バイアル充填後

2. 2 原木林再生実証事業追跡調査

宮城県内 25 箇所の広葉樹林において、表 1 に示したとおり平成 26 年度、27 年度、28 年度に約 2 ha を皆伐し、その中に 25m 四方の調査地を設け、毎年萌芽枝等の検体を採取した。前課題（目黒ら、2018）に引き続き、伐採の翌年度以降に発生した萌芽枝とその着葉、土壌を採取し、検体の採取時には空間線量率の測定を行った。なお、対象樹種はコナラを前提としているが一部調査地ではミズナラも含んでいる。

原木は地際から 120cm 以上 240cm までの位置を対象とし、原木全体のおが粉はチェーンソーを用いて採取、9 本の原木のうち 3 本は厚さ 5 cm ほどの円盤状にした上で樹皮はノミ等を用いて、辺材及び心材はボール盤とインパクトビットを用いて採取した。

萌芽枝の選定は原木調査を行った株を原則とし、萌芽が認められなければ調査地内から代替木を設定し、1 調査地につき 6 株分の萌芽枝を採取した。萌芽枝は土ばかま等を考慮して切り株から 5 cm 以上を対象とし、その切断面の直径を計測した。着葉がある場合には併せて採取を行い、また、令和元年度調査から、萌芽枝のうち当年枝の一部を別検体とし、調査対象として追加した。土壌は 1 箇所につき斜面上部・中部・下部から A₀層、A 層（0～5 cm）、A 層（5～10cm）を採取した。空間線量率は土壌採取箇所の地表から高さ 100cm を、NaI (TI) シンチレーション式サーベイメータ（日立アロカメディカル、TCS-172B）を用いて測定し、同一箇所で 1 分おきに 5 回記録し平均値を算出した。萌芽枝等及び土壌の放射性セシウム濃度と含水率の測定は業者への委託で実施し、萌芽枝等は粒径 3 mm 以下に粉碎処理を行うこととして、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定を行った。測定値が検出下限値以下の場合は検出下限値を測定結果として取り扱い、測定値は各試料の含水率から 12%の値で補正を行った。加えて、放射性セシウム 134 については、放射性セシウム 137 と合算すると放射性セシウムの動態が把握しづらくなることから、本報告ではとりまとめの対象外とした。なお、萌芽枝発生 3 年目までの調査は、林野庁事業「ほだ木等原木林再生のた

めの実証」により実施している。



写真4 萌芽枝



写真5 空間線量率の測定



写真6 土壌の採取

表 1 伐採年度と経過年数

	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	
伐採	1年目	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧		(6か所)
	伐採	1年目	②	③	④	⑤	⑥	⑦		(10か所)
		伐採	1年目	②	③	④	⑤	⑥		(9か所)

3 結果・考察

3. 1 萌芽枝定点状況調査

本調査地における萌芽枝等の放射性セシウム濃度の推移を図1に示す。

平成 30 年度以降の代替木を含んだ萌芽枝、樹皮、木部、葉についてそれぞれ前年度との比較を t 検定により行ったところ、令和 4 年度木部以外の項目に有意な差は確認されなかった ($p < 0.05$)。全体の傾向としては小さな増減が見られるものの急激な濃度変化はなく、概ね横ばいに推移している状況が確認できた。

また同様の内容について調査年度ごとに H22 伐採区及び H23 伐採区間での比較を t 検定により行ったところ、萌芽枝及び葉、樹皮について例年ではないものの複数年度で H23 伐採区の濃度が有意に高いことが確認された ($p < 0.05$)。両調査地は面的に連続し、方位や斜度に違いが見られない土地であることから、この有意差は事故前後での伐採時期が関与しているものと考えられる。

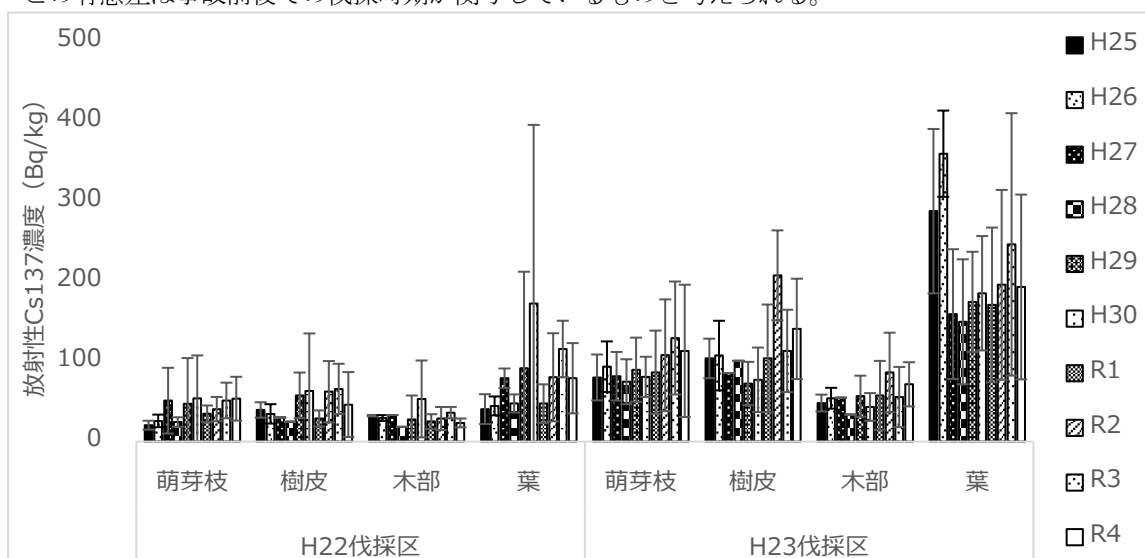


図 1 萌芽枝等の放射性セシウム濃度 (エラーバーは標準偏差を示す (以下同様))

図 1 のうち、萌芽枝のみを抜粋した放射性セシウム濃度の推移を図 2 に示す。前述のとおり調査年度ごとに H22 伐採区及び H23 伐採区間での比較を t 検定により行っており、有意差が確認された年度についてはグラフ上に※を記載している ($p < 0.05$)。

伐採区を比較すると、先に記載のとおり H23 伐採区は H22 伐採区よりも高い濃度で推移していることがわかる。標準偏差が示すとおり両区ともにばらつきはあるものの、有意差が見られる年度もあることから、福島原発事故前後で発生した萌芽枝は、異なる濃度で推移していることが推測される。すなわち、事故当時に既に伐採されていたか立木であったかでその状況の影響を強く受けており、依然としてその差が継続していると考えられる。その要因の一つとしてコナラの資源分配様式が挙げられ、事故当時に立木であったコナラは養分と共にセシウムを地下部に転流・蓄積しており、その後発生した萌芽枝の放射性セシウム濃度に影響を与えた可能性がある。

これらのことから、周辺環境に大きな変化がなければ、萌芽枝等の放射性セシウム濃度は 10 年以上経過しても急激な変化はなく横ばいに推移が継続し、萌芽更新木でも伐採時期が福島原発事故前後で傾向が異なる可能性が示唆された。

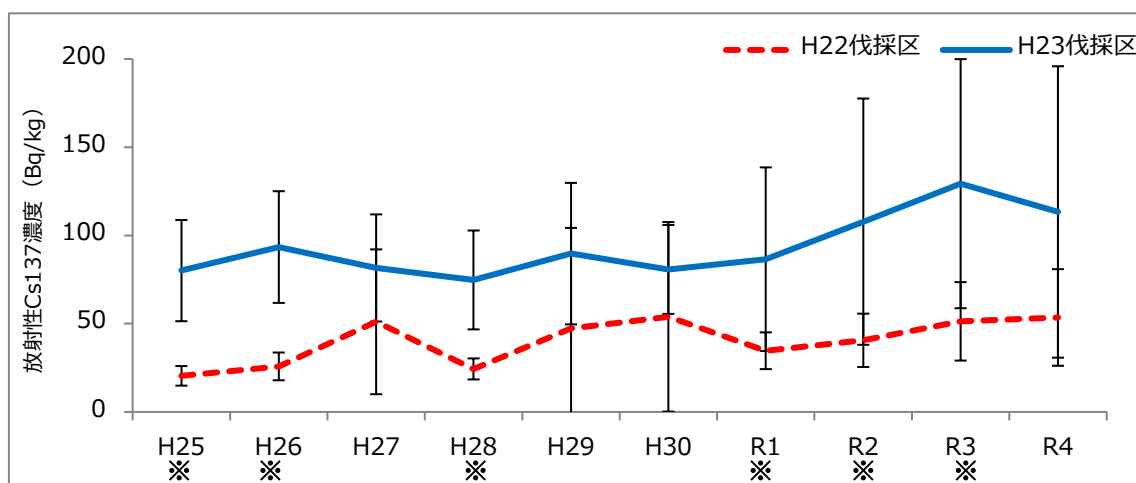


図 2 萌芽枝の放射性セシウム濃度推移 (※は有意差が認められた年度を示す)

3. 2 原木林再生実証事業追跡調査

3. 2 (1) 土壌

各調査地における原木伐採時から令和 4 年度までの土壌 A 層 0-5cm の放射性セシウム濃度の推移を図 3、4、5 に、伐採時を 1 とした場合のその後の増減率及び前年度比を表 2、3、4 に示す。

表 2、3、4 に示した前年度比については、0.5 から 2.0 程度の増減を繰り返しているものの増加または減少が続く箇所は少なく、paired t 検定を行った際に有意差が見られる場合も非常に限られている ($p < 0.05$)。令和 4 年度の調査時点では、前年度と同程度の値を示す箇所が多く見られた。同じく表 2、3、4 に示した伐採時を 1 としたときの比については、こちらも調査年度によって 0.3 から 2.0 程度の増減が見られるものの、paired t 検定を行った際に有意差が見られる場合も非常に限られている ($p < 0.05$)。令和 4 年度の調査時点では、伐採時と同程度か下回る箇所が多く見られた。図 3、4、5 に示した土壌 A 層 0-5cm の推移については、他とは異なる挙動を示す箇所もあり、すべての箇所で確実に一律の傾向を示すと断言することは難しい。しかし前年度比や伐採時を 1 としたときの濃度比から、全体としては一定程

度の増減がありつつ概ね横ばいあるいはわずかな減少傾向を示す箇所が多数を占めていることから、調査地以外の土壌 A 層 0-5cm においても、類似した推移を示す可能性が考えられる。

ここで、全調査地における原木伐採時から令和 4 年度までの土壌 A₀ 層及び土壌 A 層 5-10cm の放射性セシウム濃度の推移を図 6、7 に示す。

A₀ 層については、調査地全体の推移として伐採時から著しい減少傾向が見られ、伐採時を 1 としたときと令和 4 年度調査時点との比率は全体平均で 0.21 程度となり、伐採当初と比べ非常に低い濃度となっている。一方で A 層 5-10cm については、A 層 0-5cm と同様に伐採時からの濃度変化は乏しく、伐採時を 1 としたときと令和 4 年度調査時点との比率は全体平均で 0.96 程度となり、概ね横ばいで推移している傾向が見られた。

土壌の放射性セシウム濃度については、萌芽枝等他の測定項目よりも値が大きく、また、調査地全体の土壌は傾斜や植生等の周辺環境の状況が一律ではないため等しく均一な状態とは言えず、同一調査地内でも測定結果には大きなばらつきが生じる。そのため、全体の傾向としては概ね横ばいで推移していても、測定ごとにある程度の増減は発生するものと考えられる。また、A₀ 層の減少傾向と A 層 0-5cm、A 層 5-10cm の横ばいの傾向については既存の報告（森林総合研究所、2022）でも示されており、本調査の結果もそれらと同様の結果となった。

A 層 0-5cm、A 層 5-10cm については、(山口ら、2012) で示されているとおり、土壌表層付近のセシウムイオン吸着メカニズムによる極めて強固な吸着が成立し、その状況が継続しているものと考えられる。そのため、本調査地内に特段の環境変化がない場合はセシウムの固定が安定したまま、放射性セシウム濃度としては概ね横ばいの推移が続くことが予測される。

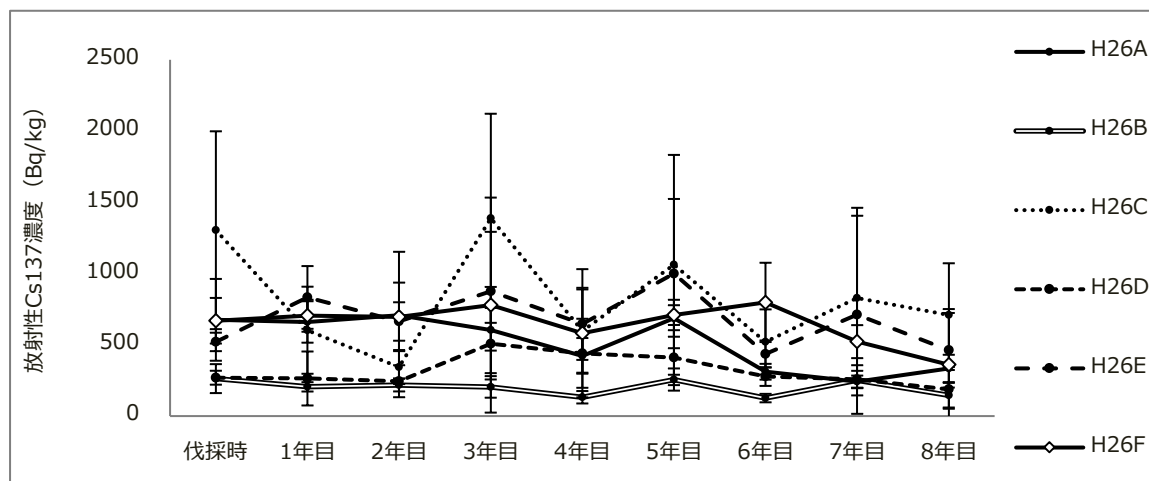


図3 H26 伐採地土壌 A 層 0-5cm の放射性セシウム濃度推移

表2 土壌 A 層 0-5cm 放射性セシウム濃度増減率及び前年度比 (Paired t-test: 有意差があるものは下線)

伐採地	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	伐→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7	7→8
H26A	0.98	1.05	0.89	0.63	1.02	0.46	0.36	0.49	0.98	1.07	0.85	0.70	1.62	<u>0.45</u>	0.78	1.38
H26B	0.78	0.83	0.78	0.50	0.98	0.48	0.95	0.56	0.32	1.39	1.67	0.58	1.79	1.62	1.99	0.58
H26C	0.46	0.26	1.06	0.46	0.81	0.40	0.64	0.54	0.44	0.39	6.13	0.40	2.64	0.67	1.59	0.85
H26D	0.98	0.91	1.89	1.64	1.52	1.03	0.96	0.70	3.88	0.59	2.23	0.97	0.80	1.44	0.93	0.73
H26E	1.60	1.28	1.68	1.24	1.92	0.84	1.37	0.89	1.60	0.80	1.32	0.74	1.55	0.44	1.63	0.65
H26F	1.05	1.04	1.16	0.87	1.06	1.19	0.78	0.54	1.05	0.99	1.12	0.75	1.22	1.13	0.65	0.69
平均	0.98	0.89	1.25	0.89	1.22	0.73	0.84	0.62	1.38	0.87	2.22	0.69	1.60	0.96	1.26	0.81

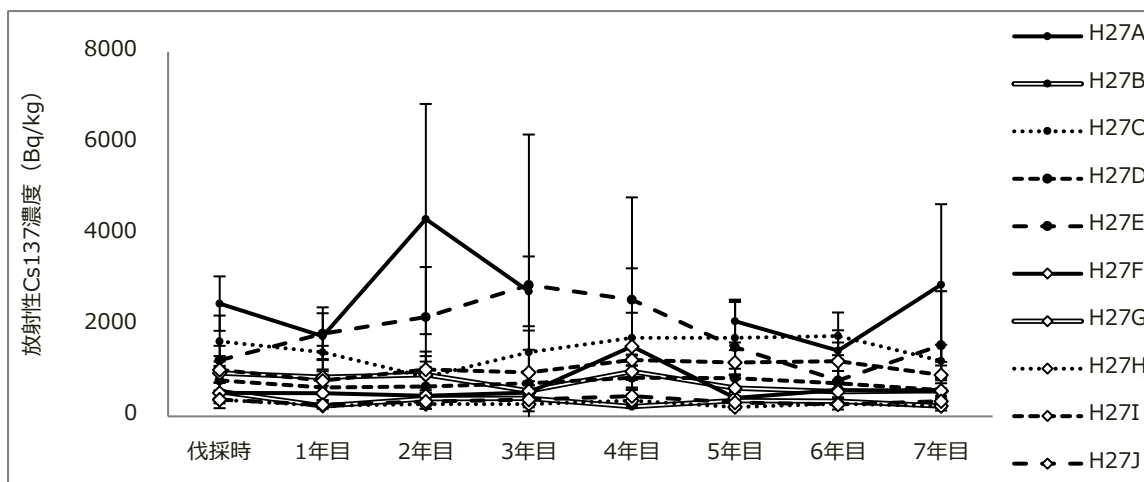


図4 H27 伐採地土壌 A 層 0-5cm の放射性セシウム濃度推移

表3 土壌 A 層 0-5 cm 放射性セシウム濃度増減率及び前年度比(Paired t-test:有意差があるものは下線)

伐採地	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	伐→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7
H27A	0.71	1.75	1.11	—	0.85	0.58	1.17	0.71	2.46	0.63	—	0.76	0.69	2.00
H27B	0.42	0.71	0.73	0.39	0.63	0.61	<u>0.41</u>	0.42	<u>1.68</u>	1.02	0.54	1.62	0.97	0.67
H27C	0.86	<u>0.53</u>	0.86	1.05	1.05	1.07	0.74	0.86	0.61	1.63	1.23	1.00	1.02	0.69
H27D	0.81	0.83	0.92	1.07	1.06	0.92	0.73	0.81	1.03	1.11	1.17	0.99	0.87	0.79
H27E	1.47	1.76	2.34	2.07	1.23	0.64	1.26	1.47	1.20	1.32	0.89	0.59	0.52	1.98
H27F	0.98	0.88	1.01	2.99	0.79	1.12	1.07	0.98	0.90	1.14	2.96	0.26	1.43	0.95
H27G	0.90	0.96	0.58	1.04	0.66	0.57	0.59	0.90	1.06	0.61	1.78	0.63	0.87	1.04
H27H	0.63	0.73	0.73	0.95	0.56	0.75	0.62	0.63	1.16	1.00	1.29	0.59	1.35	0.83
H27I	0.77	1.00	0.94	<u>1.21</u>	1.16	1.18	0.88	0.77	1.31	0.94	1.28	0.96	1.02	0.75
H27J	<u>0.70</u>	0.89	1.01	1.21	0.84	<u>0.71</u>	0.90	0.70	1.28	1.13	1.20	0.69	0.85	1.27
平均	0.83	1.01	1.02	1.33	0.88	0.82	0.84	0.83	1.27	1.05	1.37	0.81	0.96	1.10

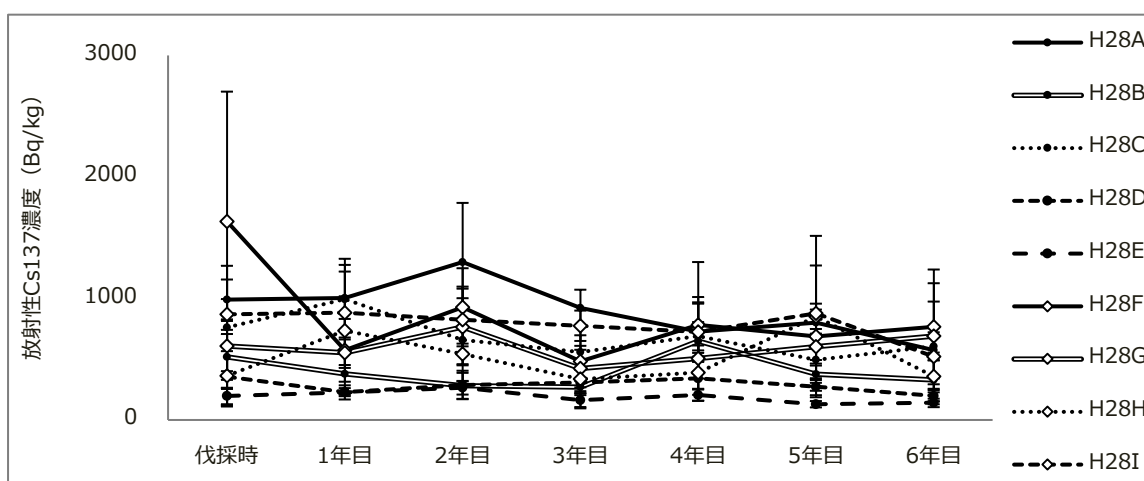


図5 H28 伐採地土壌 A 層 0-5cm の放射性セシウム濃度推移

表 4 土壌 A 層 0-5cm 放射性セシウム濃度増減率及び前年度比 (Paired t-test: 有意差があるものは下線)

伐採地	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	伐→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6
H28A	0.62	1.31	0.93	0.73	0.81	0.58	1.01	1.29	0.71	0.79	1.10	<u>0.72</u>
H28B	0.34	0.54	0.52	1.25	0.73	0.64	0.73	0.74	0.96	2.40	0.58	0.88
H28C	1.27	0.87	0.73	0.90	0.65	0.80	1.31	0.66	0.85	1.23	0.72	1.23
H28D	0.11	0.81	0.87	0.96	0.77	0.56	0.64	1.26	1.07	1.11	0.80	0.73
H28E	0.40	1.34	0.83	1.04	0.66	0.72	1.15	1.17	<u>0.62</u>	1.25	0.63	1.09
H28F	0.27	0.57	0.30	0.48	0.42	0.47	0.35	1.62	0.52	1.62	0.88	1.12
H28G	0.56	1.26	0.70	0.83	0.99	1.14	0.91	1.38	0.55	1.19	1.19	1.15
H28H	0.58	1.50	0.93	1.07	2.35	0.99	2.03	0.74	0.62	1.16	2.19	0.42
H28I	0.41	0.95	0.89	0.83	1.01	0.60	1.02	0.94	0.94	0.93	1.21	0.59
平均	0.51	1.02	0.74	0.90	0.93	0.72	1.02	1.09	0.76	1.30	1.03	0.88

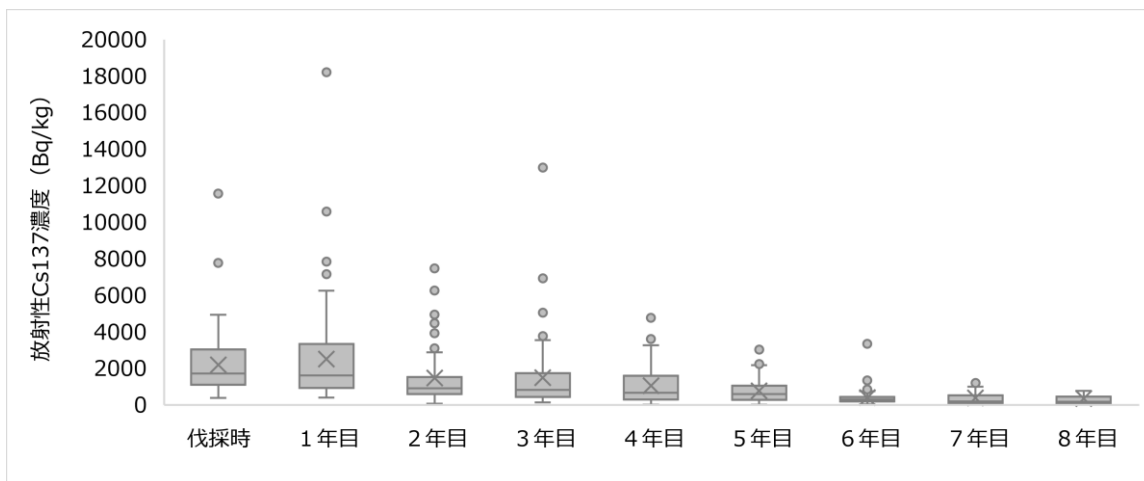


図 6 土壌 A 層の放射性セシウム濃度推移

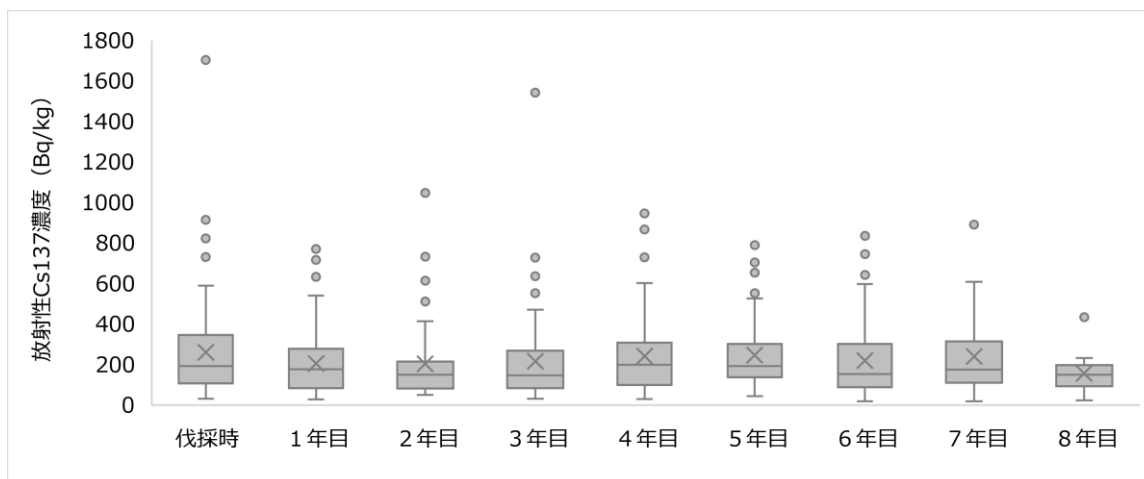


図 7 土壌 A 層 5-10cm の放射性セシウム濃度推移

3. 2 (2) 萌芽枝推移

各調査地における原木伐採時から令和 4 年度までの萌芽枝の放射性セシウム濃度の推移を図 8、9、10 に、原木を 1 とした場合のその後発生した萌芽枝の濃度増減率及び前年度比を表 5、6、7 に示す。

原木と令和 4 年度時点の萌芽枝の放射性セシウム濃度を比較すると、25 箇所の調査地中 24 箇所で萌芽枝の濃度が原木を下回り、うち 17 箇所では paired t 検定により有意差も確認された ($p < 0.05$)。また、このときの放射性セシウム濃度の低減率は一律ではないものの、20 箇所で萌芽枝の濃度が原木の濃度のおよそ半分以下となっており、萌芽更新によりその後発生する萌芽枝の濃度が低減される傾向が確認された。

経過年数ごとに前年度との放射性セシウム濃度を paired t 検定により比較すると、原木から萌芽枝 3 年目頃まで濃度の変動が大きく、特に 1 年目から 2 年目には 25 箇所中 22 箇所で有意差が確認された ($p < 0.05$)。一方で、それ以降の変動は調査地ごとに増減はあるものの、萌芽枝 8 年目までのうち有意差が見られる箇所は僅かで、前年度との著しい濃度変化は限定的となっている ($p < 0.05$)。

原木伐採時から令和 4 年度までの萌芽枝の放射性セシウム濃度の全体推移を見てみると、原木よりも萌芽枝 1 年目の濃度が高くなる傾向が見られたのは 25 箇所中 15 箇所であり、調査地の半数以上を占めている。その後、それ以外の傾向を示す箇所も含め、すべての調査地で 1 年目から 3 年目程度までの萌芽枝発生初期には著しい減少傾向が見られ、1 年目と 3 年目を比較すると多くの箇所で半減以下にまで濃度が低下した。それ以降の推移は前述のとおり緩慢で、萌芽枝 8 年目までは概ね横ばいあるいは僅かな減少傾向を示す箇所が多く見られている。

萌芽枝の放射性セシウム濃度については、部位別に分けたいずれにおいても 3 年目まで減少し続けること (伊藤、2016) や、3 年目萌芽枝が元の原木の 40% 程度まで低減したこと (今井ら、2019)、1 年目萌芽枝から 2 年目・3 年目萌芽枝の濃度が減少していく傾向 (當間ら、2020) などが報告されている。原発事故後に伐採されその後発生した萌芽枝 3 年目までの傾向は、前回報告 (目黒ら、2018) 時から追加した測定結果と併せた本調査においてもこれら報告と同様であり、宮城県内に限った傾向ではないことが示唆される。そのため、萌芽枝 4 年目以降、最大 8 年目まで概ね横ばいの推移が続いていることについても、同様の萌芽更新地で共通して見られる傾向であることが推測される。

ただし、本調査における前年度比や詳細な推移などは、単木あるいは調査地単位で必ずしも完全に一致するわけではない。それらの差異は元の原木や発生初期の萌芽枝の放射性セシウム濃度だけで説明できるものではなく、調査地の立地要因で明確にすることも困難である。萌芽枝の放射性セシウムの吸い上げのメカニズムは依然として不明瞭であり、本研究でも判然としない点は多くあるものの、これまでの結果を積み上げ、共通する傾向を見極めながらも、萌芽更新により成林した原木時点の状況を把握できるよう、継続した調査が求められる。

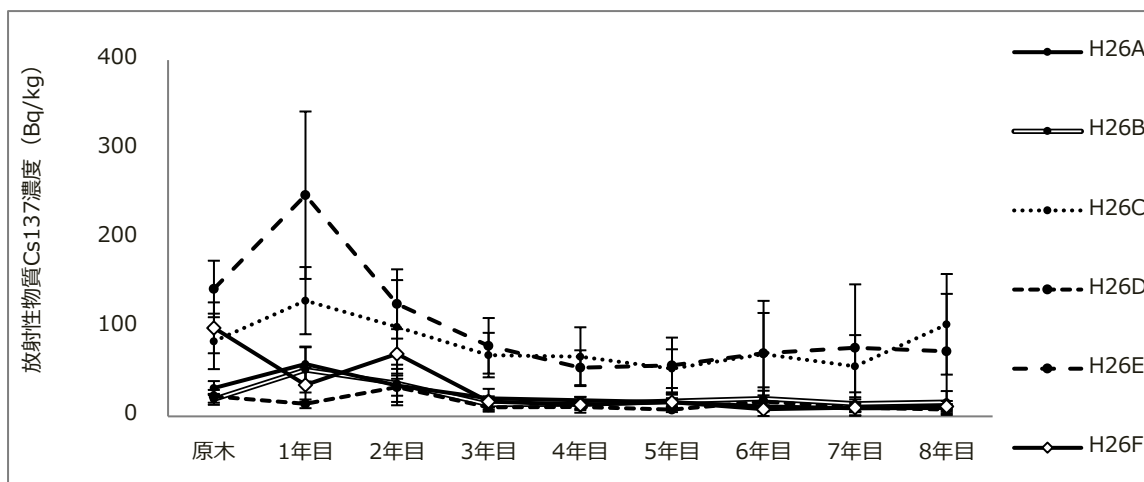


図 8 H26 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度推移

表 5 H26 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度増減率及び前年度比(Paired t-test:有意差があるものは下線)

伐採地	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	原→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7	7→8
H26A	0.59	0.35	0.31	0.27	0.19	0.15	0.16	1.85	0.59	0.59	0.90	0.86	0.71	0.81	1.06
H26B	0.71	0.26	0.27	0.33	0.38	0.27	0.31	<u>2.73</u>	0.71	0.36	1.04	1.23	1.16	0.71	1.13
H26C	0.77	0.53	0.52	0.41	0.54	0.43	0.80	1.54	<u>0.77</u>	<u>0.68</u>	0.97	0.80	1.30	0.81	1.83
H26D	2.33	0.73	0.75	0.54	1.17	0.70	0.55	<u>0.63</u>	<u>2.33</u>	<u>0.31</u>	1.03	0.72	2.17	0.60	0.78
H26E	0.51	0.32	0.22	0.23	0.29	0.31	0.29	<u>1.74</u>	<u>0.51</u>	<u>0.63</u>	0.69	1.05	1.24	1.08	0.95
H26F	1.98	0.47	0.37	0.45	0.23	0.28	0.32	<u>0.36</u>	<u>1.98</u>	<u>0.24</u>	0.79	1.23	<u>0.50</u>	1.22	1.14
平均	1.15	0.44	0.40	0.37	0.47	0.36	0.40	1.47	1.15	0.47	0.90	0.98	1.18	0.87	1.15

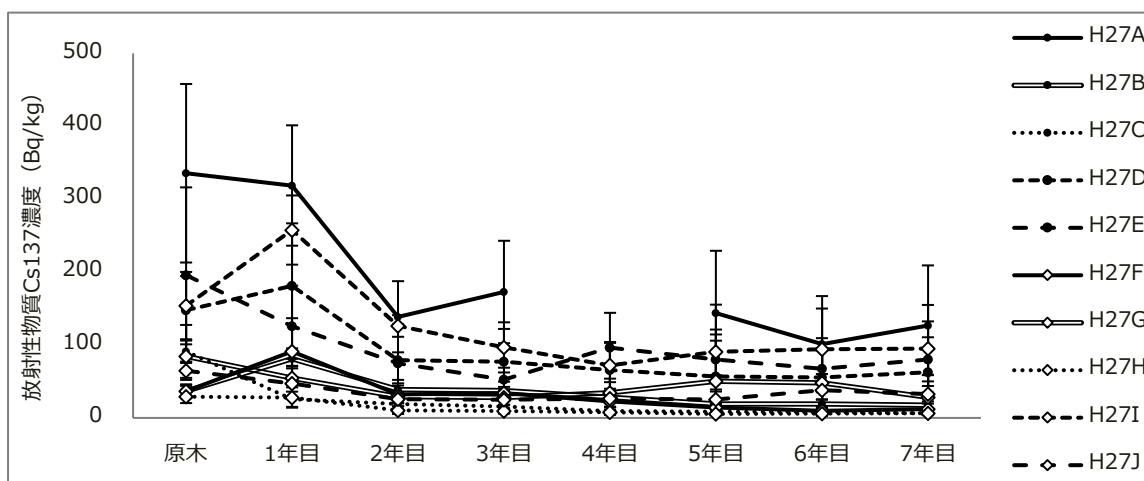


図 9 H27 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度推移

表 6 H27 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度増減率及び前年度比(Paired t-test:有意差があるものは下線)

伐採地	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	原→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7
H27A	0.44	0.54	—	0.45	0.32	0.40	0.95	0.44	1.24	—	0.83	0.70	1.25
H27B	0.48	0.46	0.35	0.24	0.24	0.22	<u>2.22</u>	<u>0.48</u>	0.96	0.76	0.68	1.01	0.91
H27C	0.74	0.60	0.38	0.34	0.31	0.25	<u>0.28</u>	<u>0.74</u>	0.81	0.62	0.89	0.94	0.79
H27D	0.44	0.42	0.36	0.31	0.31	0.35	1.23	<u>0.44</u>	0.97	0.86	0.87	0.98	1.13
H27E	0.59	0.42	0.77	0.64	0.54	0.64	<u>0.64</u>	<u>0.59</u>	0.70	<u>1.84</u>	0.83	0.84	1.19
H27F	0.35	0.37	0.25	0.15	0.11	0.13	<u>2.49</u>	<u>0.35</u>	1.06	0.66	0.62	<u>0.69</u>	1.23
H27G	0.54	0.51	0.63	0.92	0.88	0.52	0.65	<u>0.54</u>	0.95	1.23	1.47	0.96	<u>0.59</u>
H27H	0.37	0.34	0.28	0.20	0.21	0.23	0.96	<u>0.37</u>	0.92	0.82	0.69	1.08	1.07
H27I	0.49	0.38	0.28	0.35	0.37	0.37	<u>1.67</u>	<u>0.49</u>	0.77	<u>0.75</u>	1.26	1.04	1.01
H27J	0.54	0.53	0.56	0.53	0.81	0.70	0.73	<u>0.54</u>	0.98	1.06	0.95	1.51	0.86
平均	0.47	0.45	0.33	0.41	0.41	0.38	1.18	0.50	0.94	0.95	0.91	0.97	1.00

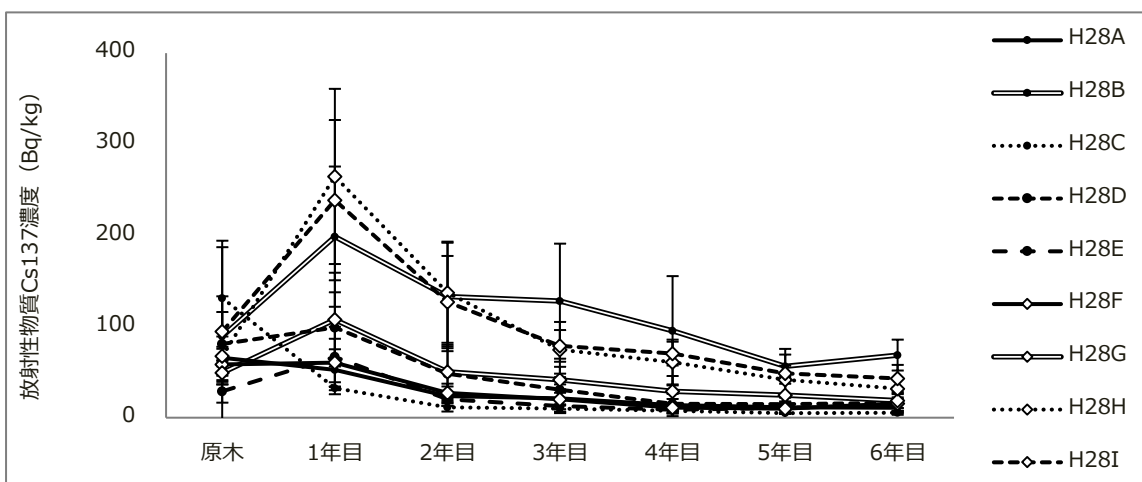


図 10 H28 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度推移

表 7 H27 伐採地萌芽枝の放射性セシウム濃度増減率及び前年度比(Paired t-test:有意差があるものは下線)

伐採地	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	原→1	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6
H28A	0.45	0.40	0.21	0.22	0.29	0.80	<u>0.45</u>	0.89	0.66	0.83	0.95
H28B	0.67	0.64	1.07	0.28	0.37	2.22	<u>0.67</u>	0.96	0.75	0.59	1.22
H28C	0.35	0.30	0.06	0.15	0.29	<u>0.25</u>	<u>0.35</u>	0.87	0.76	<u>0.67</u>	1.06
H28D	0.49	0.31	0.19	0.15	0.21	<u>1.22</u>	<u>0.49</u>	<u>0.64</u>	0.49	0.98	1.10
H28E	0.30	0.19	0.30	0.16	0.27	<u>2.31</u>	<u>0.30</u>	<u>0.64</u>	0.68	1.21	1.32
H28F	0.45	0.34	0.19	0.16	0.34	1.03	<u>0.45</u>	0.75	0.54	0.92	1.57
H28G	0.47	0.39	0.59	0.23	0.22	<u>2.18</u>	<u>0.47</u>	0.83	0.70	0.86	0.76
H28H	0.52	0.28	0.90	0.16	0.14	<u>3.92</u>	<u>0.52</u>	<u>0.55</u>	0.82	0.68	0.77
H28I	0.53	0.33	0.74	0.20	0.20	<u>2.52</u>	<u>0.53</u>	<u>0.62</u>	0.89	<u>0.69</u>	0.88
平均	0.47	0.35	0.25	0.19	0.26	1.83	0.47	0.75	0.70	0.82	1.07

3. 2 (3) 濃度度数分布

各調査地における原木伐採時から令和 4 年度までの調査結果から、原木及び萌芽枝の放射性セシウム濃度を 4 段階（～25Bq/kg、～50Bq/kg、～100Bq/kg、100Bq/kg～）に分け、発生年度ごとに検体数を計上した度数分布図を図 11 に示す。なお、平成 28 年度伐採地は 6 年目まで、平成 27 年度伐採地は 7 年目まで、平成 26 年度伐採地は 8 年目萌芽枝までを含んでいる。

6 割以上が指標値を超過している原木から発生した萌芽枝について、濃度度数分布図を経過年数ごとに比較すると、萌芽枝 1 年目については高い濃度になるにつれて検体数が増加する傾向を示し、指標値を下回る検体数は 3 割程度、25Bq/kg 以下の濃度のものは 1 割程度となっている。萌芽枝 2 年目については低い濃度を示す検体が増え分布図上横並びになり、指標値を下回るものは半数程度となった。萌芽枝 3 年目では分布がさらに変化し、高い濃度の検体数は減少する傾向を示し、指標値を下回る検体数は 6 割程度まで増加した。萌芽枝 4 年目ではさらに低い濃度の検体数が増え、25Bq/kg 以下の濃度の萌芽枝が 6 割程度を占め、以降同等の割合が継続している。

これらのことから、萌芽更新を行うことで原木の半数以上が指標値を超えていても、その後発生した萌芽枝は経過年数とともに低い濃度の分布が増え、4 年目時点で半数以上が 25Bq/kg を下回ることがわかった。一方で全体の割合としては少ないものの、指標値を超える萌芽枝も一定割合で確認され続けていることから、一度の萌芽更新で次世代すべての萌芽枝が原木として利用できるとは限らない可能性が考えられる。

現在確認できている萌芽枝は最大で 8 年目であり、原木の利用適期とされる約 15 年とは些か差があるため、今後もこの濃度分布の傾向が継続していくのか、引き続き注視していく必要がある。

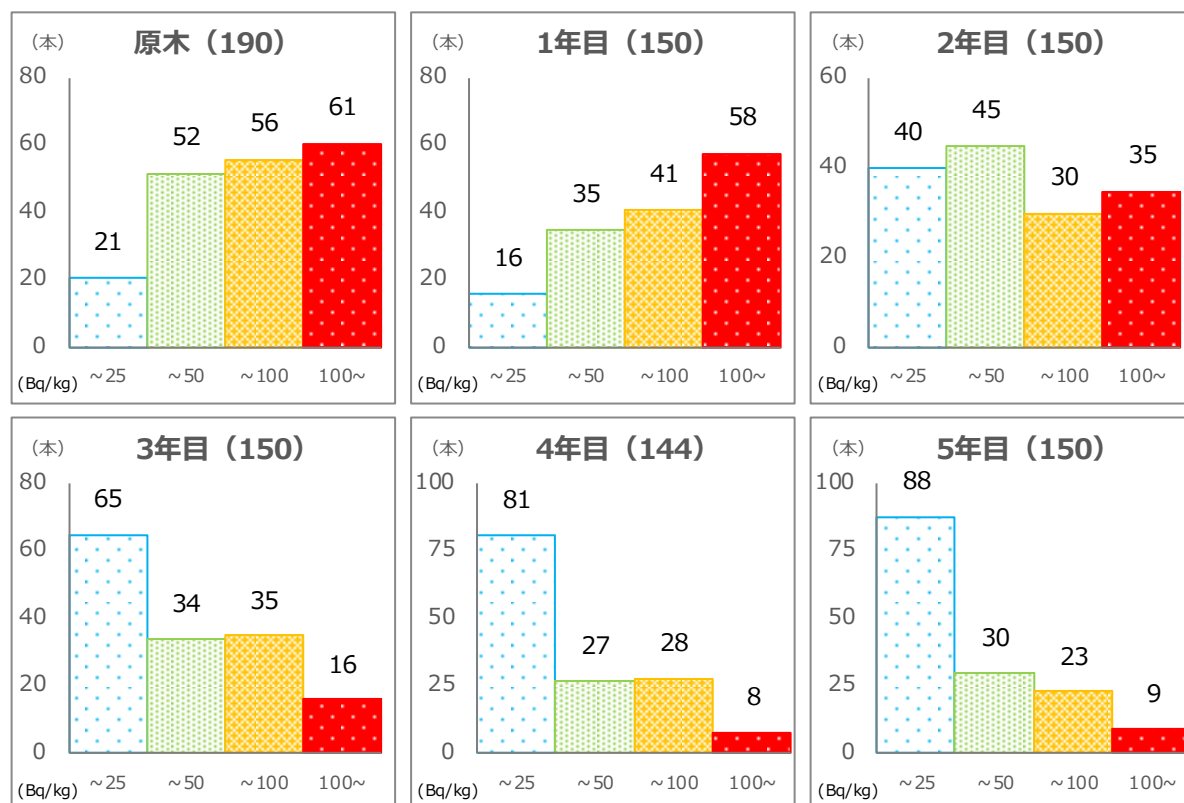


図 11 原木及び 5 年目萌芽枝までの放射性セシウム濃度度数分布図（タイトル及びグラフ上部の数字は検体数を示す）

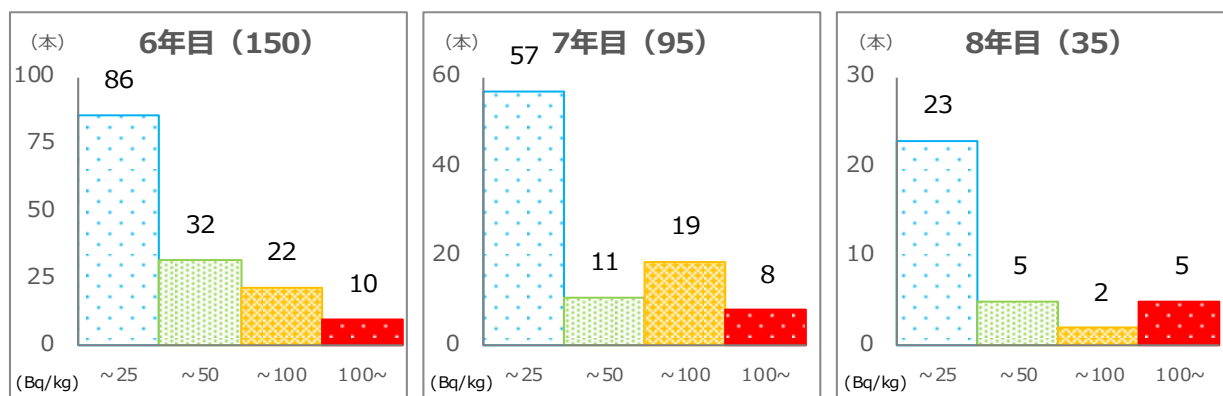


図 11 8年目萌芽枝までの放射性セシウム濃度度数分布図 (タイトル及びグラフ上部の数字は検体数を示す)

3. 2 (4) 濃度比 (萌芽枝を1としたときの葉と当年枝の濃度比)

これまでの調査結果について、単木ごとに萌芽枝の放射性セシウム濃度を1としたときの葉及び当年枝の濃度比を求め、発生年度単位で平均したものを表8、図12に示す。なお、当年枝の調査は令和元年度から実施しているため、対象としている伐採年度は表8下部に記載したとおり発生年度によって異なる。

図及び表で示したとおり、発生年度に関わらず、平均した濃度比は葉、当年枝、萌芽枝の順に低くなっており、葉及び当年枝は萌芽枝のおよそ2倍前後の濃度で推移している。福島県で実施された調査(橋本、2018)でも汚染程度によらず葉や当年枝といった梢端側の放射性セシウム濃度が高い傾向が見られたとの報告があり、本調査でも同様の傾向を示した。単木単位では葉と当年枝の濃度が逆転する場合や、稀に萌芽枝の濃度よりも低い場合もあるが、調査地や発生年度での傾向は見られなかった。

また、葉も当年枝も濃度比にばらつきが見られているものの、発生年度によらず一定の比率を保っていることから、後述する年度ごとの相関関係だけでなく、年度を跨いだ推測等も検討できると考えられる。

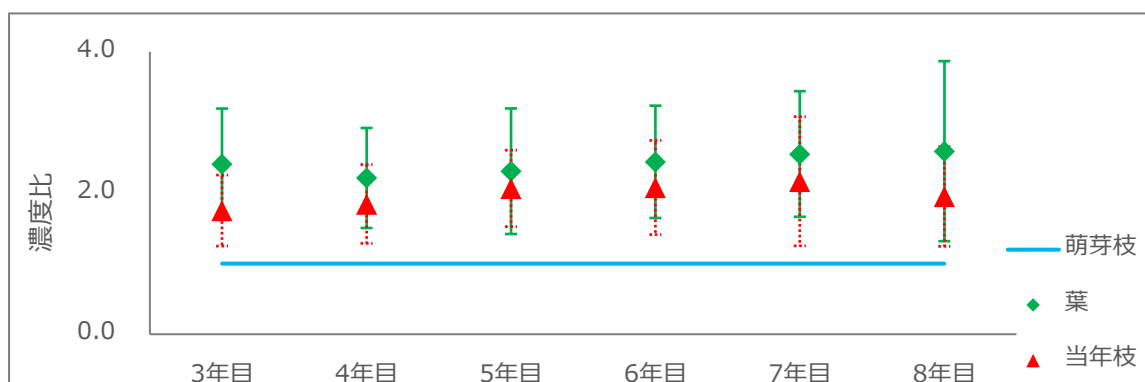


図 12 萌芽枝の放射性セシウム濃度を1としたときの葉及び当年枝の濃度比

表 8 萌芽枝の放射性セシウム濃度を1としたときの葉及び当年枝の濃度比と検体数

	【3年目】		【4年目】		【5年目】		【6年目】		【7年目】		【8年目】	
	比	検体数	比	検体数	比	検体数	比	検体数	比	検体数	比	検体数
萌芽枝		54		108		150		150		95		35
葉	2.41	54	2.21	107	2.31	149	2.44	149	2.55	95	2.59	35
当年枝	1.75	43	1.84	70	2.06	122	2.08	122	2.17	82	1.95	30
	(H28)		(H27・H28)						(H26・H27)		(H26)	

3. 2 (5) 相関関係

これまでの調査結果において検体数が多く最も長い経過年数である 6 年目萌芽枝と、各調査項目における相関係数 (Spearman の順位相関係数) について、表 9 に示す。なお、土壌及び空間線量率については調査地平均ごとでの算出、直径及び葉、当年枝については単木ごとに算出した結果となっており、いずれも同一年度での比較である。また、原木及び樹皮、辺材及び心材については、伐採時の原木と同一の切り株から発生した萌芽枝ごとに相関係数を求めている。

土壌各層及び空間線量率と 6 年目萌芽枝の放射性セシウム濃度については、前課題における報告 (目黒ら、2018) と同様に、目立った相関関係は見られず、これまでの経過年度でもほとんど相関関係は認められないことから、これらの項目を萌芽枝の放射性セシウム濃度を推定するための指標として用いることは非常に困難であることが再度確認された。

採取した萌芽枝の最大直径と 6 年目萌芽枝の放射性セシウム濃度については、相関関係はほぼ見られず、これまでの発生年度において相関係数は同様に低いまま正負が逆転してしまう年度も見られた。また、調査地単位に区切って相関関係を見ると、年度によって相関係数に大きな幅が見られる上に正負が逆転することもあるなど一定の傾向は認められず、最大直径についても萌芽枝の放射性セシウム濃度を推定するための指標として用いることは非常に困難であることが確認された。

伐採した際の元の原木及びその各部位と 6 年目萌芽枝の放射性セシウム濃度について見てみると、萌芽枝と樹皮の相関は弱く、原木及び心材では相関は見られるが強いものではない結果となった。辺材については他の部位よりもやや強い相関が見られ、これまでの発生年度でも同水準の値を示していることから、元の立木からその後発生する萌芽枝の濃度を推定しようとするのであれば、辺材の濃度を把握することが有効である可能性が考えられる。

着葉及び当年枝と 6 年目萌芽枝の放射性セシウム濃度について図示したものが図 13、14 である。着葉については前課題における報告 (目黒ら、2018) と同様に非常に強い相関関係が見られており、令和 4 年度の調査時でもその傾向は続いている。当年枝については、當間ら (2020) の当年枝と旧年枝に高い正の相関関係が認められたとの報告と同様に、当調査地においても非常に強い相関関係が見られている。また、着葉及び当年枝と萌芽枝の相関関係は、これまでの発生年度でも同等の結果が得られている。萌芽枝を傷付けずに採取可能な着葉と、着葉よりも採取適期が長い当年枝のどちらについても、萌芽枝の放射性セシウム濃度を推定する上で有効な手段であると推測されることから、求められる状況に応じて有用な手法を選択できるものと考えられる。

表 9 6 年目萌芽枝と各調査項目における相関係数

	相関係数	検体数	p値		相関係数	検体数	p値
土壌A ₀ 層	0.41	25	0.045	樹皮	0.36	40	0.023
土壌A層0~5cm	0.10	25	0.638	辺材	0.67	40	0.000
土壌A層5~10cm	0.12	25	0.561	心材	0.52	40	0.001
空間線量率	0.17	25	0.427	着葉	0.93	149	0.000
最大直径	-0.03	149	0.738	当年枝	0.93	121	0.000
原木	0.46	104	0.000	葉と当年枝	0.95	121	0.000

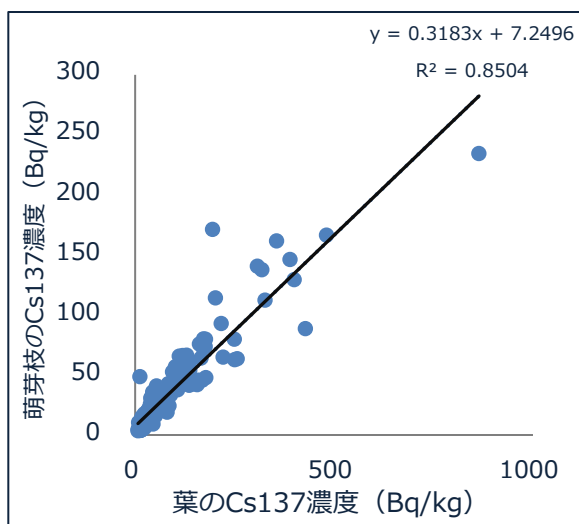


図 13 6年目萌芽枝と葉の相関関係 (n=149)

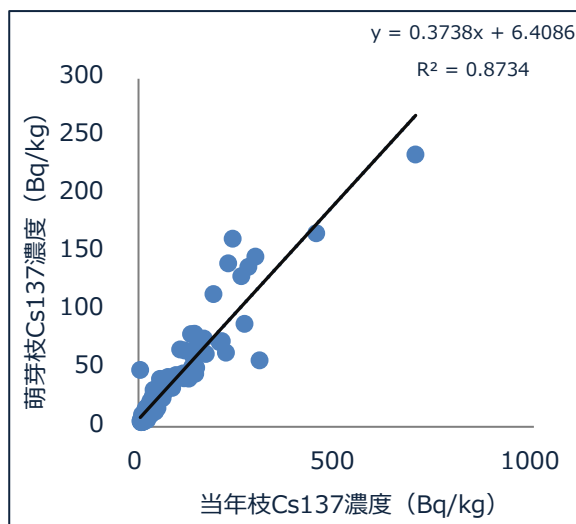


図 14 6年目萌芽枝と当年枝の相関関係 (n=122)

3. 2 (6) 予測区間

前述の図 13 に示した 6 年目萌芽枝とその着葉の数値を対数変換し、さらに 95% 予測区間を点線で追記したものが図 15 である。

3. 2 (5) で記載したとおり、萌芽枝と葉には高い相関関係が見られ、葉から萌芽枝の放射性セシウム濃度を推定することが期待される。実際に図 15 で求めた回帰式を用いて、萌芽枝が仮に指標値である 50Bq/kg である場合の葉の値を求めると、127Bq/kg と算出される。この場合、葉が 127Bq/kg を下回ると萌芽枝の値は平均的に 50Bq/kg を下回ると推定されるが、95% 予測区間から葉の値が 127Bq/kg のときに萌芽枝がとり得る値の範囲を求めると、25Bq/kg から 101Bq/kg となり、指標値を超過する値まで範囲に含まれていることがわかる。そのため、95% 予測区間の範囲上限を萌芽枝の指標値である 50Bq/kg と設定して再度計算すると、葉の値が 58Bq/kg のときに萌芽枝のとり得る値の範囲は 12Bq/kg から 50Bq/kg となる。今回求めた結果は 6 年目の萌芽枝と葉によるものだが、これまでの発生年度ごと、7 年目及び 8 年目の萌芽枝と葉の結果、さらに複数あるいは全ての年度を合わせて同様に計算した場合のいずれにおいても、萌芽枝の上限 50Bq/kg を満たす葉の値は 50Bq/kg 前後として算出された。

今回算出された値はあくまで本調査における結果によるものであり、含水率を 12% に補正した場合の数値であるが、福島原発事故後に伐採した萌芽更新木の利用を検討する際に、萌芽枝に展開した葉の濃度が明らかにこの値を超過している場合は不適と判断するなど、一つの目安として検討できる可能性がある。

ただし、今回の算出には予測区間を 95% としたが、点線の範囲外の点は今回の萌芽枝の上限 50Bq/kg の範囲には当てはまらず、葉の値に対して萌芽枝の値が高くなってしまいうものも含まれている。また、予測区間を 90% にすると図 15 に点線で示した予測区間の範囲が狭まり、指標値を下回ると算出される検体は多くなるが、逆に 99% にするとその範囲が広まり、指標値を下回るとされる検体は少なくなるため、任意で設定できる予測区間については十分な検討を要する。

なお、相関関係による推定はあくまでこれまでの測定結果から算出されたものであり、実測値を保証するものではない。また、今回の結果は最大 8 年目萌芽枝までの計算結果であり、原木の利用適期の濃度を正確には反映できていないことから、引き続き調査を継続し、推定の精度を向上させていくこととしたい。

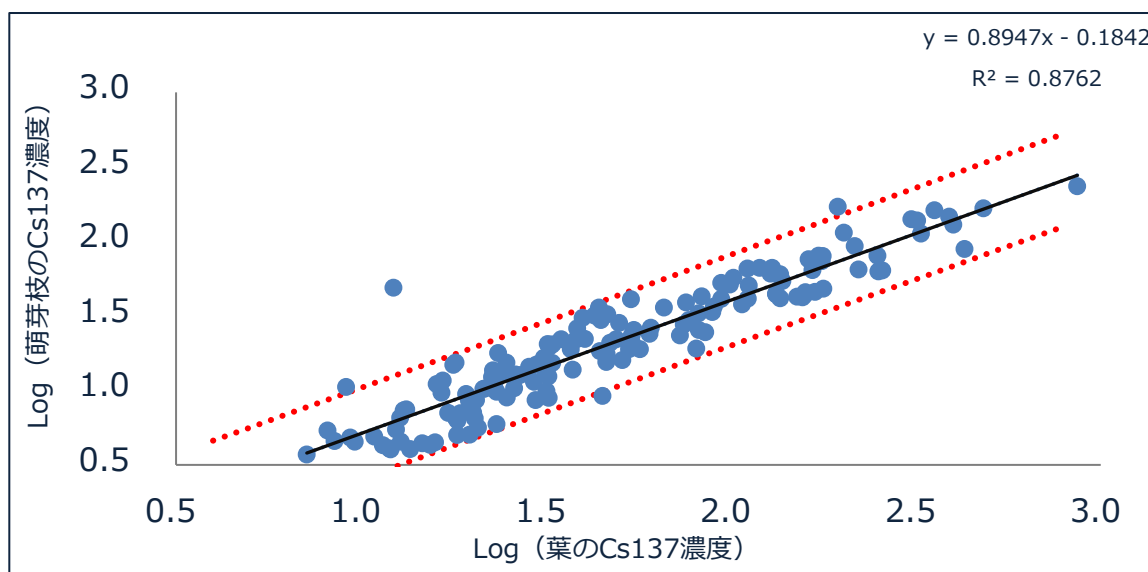


図 15 6 年目萌芽枝と葉の相関関係 (対数変換) 予測区間 95%追記

4 おわりに

しいたけ原木林における放射性セシウムの影響は依然として色濃く残っており、宮城県内だけでなく東日本各地の生産者や関係者にとって苦しい状況が続いている。

今回の調査では萌芽枝が原木の伐採から 8 年経過した段階でも著しい増加に転じることなく推移しており、萌芽更新による原木の放射性セシウム濃度低減効果の有用性が期待できる結果となった。また、葉あるいは当年枝と萌芽枝の非常に高い相関関係から間接的な濃度推定ができる可能性があり、試験的ではあるが葉の濃度から萌芽枝の利用可否の検討について一材料となる目安の算出を行うことができた。

しかし、本調査対象の萌芽枝では原木の利用適期には届かず、その時点の状況を正確に捉えられているとは言い難い。これからも横ばいの推移が継続していくのか、葉と萌芽枝の相関に変わりはないのか、推測の範囲を超えない。そのため、さらに原木の利用適期に近い萌芽枝の放射性セシウム濃度やその関係性を把握し、目安となる数値の精度向上を図るため、今後の萌芽更新によるしいたけ原木林の利用再開に向けた一助となるよう、継続した調査が必要だと考える。

最後に、本調査では、放射性物質濃度の測定及び試験地について、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター長の小倉振一郎教授をはじめとした皆様には多大なるお力添えをいただいた。深く感謝申し上げます。

引用・参考文献

- 橋本正伸 (2018) 森林内における放射性物質の動態等の把握 福島県林業研究センター業務報告 No.51、p17-18
- 今井芳典・石川洋一・齊藤佳緒里 (2019) 放射性セシウムで汚染された原木林の萌芽更新による再生 栃木県林業センター業務報告 No.51、p13
- 伊藤博久 (2016) 除染した森林における森林再生施業技術の開発 福島県林業研究センター業務報告 No.49、p25

- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 (2022) 原発事故後 10 年間の森林土壌中の放射性セシウム動態を解明 ―ほとんどが鉱質土層表層に移動し、留まり続ける― プレスリリース
目黒渚・渡邊広大・今埜実希 (2018) 原木しいたけ生産再開に向けた生産実証試験と原木林及びほだ場の汚染状況・生産物への放射性物質移行に関する基礎調査 宮城県林業技術総合センター研究報告第 27 号、p37-54
- 宮城県 (2015、2021) しいたけ原木林放射性物質現況調査の結果について
<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/ringyo-sk/genbokurin.html> (2023.3.28 取得)
- 農林水産省 (2012) 平成 24 年 3 月 28 日付け 23 生産第 6231 号・23 林政経第 388 号農林水産省生産局農産部園芸作物課長・林野庁林政部経営課長・木材産業課長通知「きのこ原木及び菌床用培地の当面の指標値の設定について」の一部改正について
- 當間博之・和南城聡・坂田春生 (2020) きのこ原木林再生に向けたコナラの調査 (II) 群馬県林業試験場研究報告 No.25、p57-63
- 山口紀子・高田裕介・林健太郎・石川寛・倉俣正人・江口定夫・吉川省子・坂口敦・朝田景・和穎朗太・牧野知之・赤羽幾子・平舘俊太郎 (2012) 土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因 国立研究開発法人農業環境技術研究所 農業環境技術研究所報告第 31 号、p75-129

生育基盤盛土を伴うクロマツ海岸防災林の健全化に向けた調査

名取史晃[※]・田中一登

要 旨

本県の海岸防災林は、生育基盤盛土を造成することで根系の生育空間を保つ形で植栽が行われた。植栽から年数が経過するにつれ、生育基盤盛土造成工区間の生育差や保育管理で必要となる本数調整伐の実施が課題となっていることから、クロマツと生育基盤盛土（特に土壌物理性）との関係及び初回本数調整伐による残存木への影響の検証を行った。クロマツの生育に影響を与える土壌物理性の要因を4つの工区で検証した結果、土壌硬度や滞水、土壌空隙が生育に影響を与える要因であると考えられたが、工区によって要因が異なり、植栽木に対して複合的に影響を与えていると推定された。このため、土壌物理性の改善には工区ごとの要因調査と対策が必要になると考えられた。初回本数調整伐では、異なる列状間伐の方法（1伐3残区、1伐2残区）と対照となる無間伐区で生育状況調査を行ったところ、本数調整伐を行ったことによる残存木の気象害等の発生はいずれの調査区でも見られなかったため、本県南部での本数調整伐は実施可能であり、生育が良い場所では伐採率を高く設定することも可能であると確認された。これは植栽木の根系が十分に発達していたことや太平洋側の気候が関係しているものと考えられた。

キーワード：海岸防災林、生育基盤盛土、土壌物理性、クロマツ、本数調整伐

1 はじめに

東日本大震災による津波被害の発生により、東日本沿岸を中心として壊滅的な被害を受けた。本県沿岸に整備されていたクロマツ (*Pinus thunbergii*) 海岸防災林も大きな被害を受け、多くが幹折れや根返りにより流出した。海岸防災林は飛砂防止、防風、津波の波力減殺効果などの複数の公益的機能を有していることから、早期の復旧が計られた。一方で、被害を受けた海岸防災林の調査では地下水までの深度が浅く、深根性であるクロマツの根が十分に生育できず根返りが起こりやすい場所が存在することが明らかになった。このため、根の生育空間を確保する目的で生育基盤盛土（高さ2～3m）（以下、「盛土」と



図1 生育基盤盛土

いう）が造成され、その上部にクロマツが植栽されることにより海岸防災林の復旧が進められた（東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会、2012）（図1）。しかし、クロマツの植栽後、造成された工事区画（以下、「工区」という）によりクロマツの生育に差異が発生した。これまでの各研究機関での結果から、盛土造成時の強度な締め固めや雨水の排水不良などがクロマツの生育不良の原因であると考えられているが（図2）、植栽木の生育との関係を検証したものは少ない。土壌硬度の改善による植栽木の生育の変化が検証されてきており（野口ら、2021）、公益的機能を改善するためには現在生育不良となっている工区の原因を検証することが今後の海岸防災林の生育改善に繋がると考えられる。このため、クロマツの成長を経年で計測するとともに、土壌環境を調査することで生育不良となる要因の検証を行い、併せてその改善方法を検討した。

一方で、造成初期に植栽され、良好な生育を示している工区では、保育管理を行う段階に移行している。保育管理の中で重要とされるのが本数調整伐であり、海岸防災林としての機能を発揮させるためには、林

※1 大河原地方振興事務所

内の鬱閉状態を適度に保ちつつ立木密度を段階的に減少させることで、適切な形状比等を保った林分に誘導する必要があると示されている(森林総合研究所, 2011)。しかし、これまで本県では本数調整伐を行った事例は少なく、残存させた個体の気象害の発生などが懸念されている。また、今回のように大面積に一斉造林された場合では、労力面から適切な時期に適切な管理を行うことができない可能性があることから、伐採率を高める等、効率的に実施できる管理方法を検証する必要がある。本研究では初回本数調整伐による残存木への影響を調査するとともに、異なる伐採率による生育状況の差異を検証した。



図2 盛土上の排水不良

2 試験方法

2.1 調査地

調査地は次の4つの工区を対象とした。亶理郡亶理町吉田砂浜に造成された亶理1工区と亶理4工区、亶理郡山元町山寺須賀に造成された山元6工区と山元7工区内を調査地とした。以下に各調査地の詳細を記載する。

ア 亶理1工区及び亶理4工区 (図3、図4)

平成25年度に造成が完了し、平成26年春にクロマツ山引き苗(裸苗)が5000本/haで植栽された。各工区の面積は亶理1工区が2.7ha、亶理4工区が2.9haであり、汀線に平行な状態で一定間隔ごとに防風垣が設置された。防風垣は令和2年11月~12月に汀線に最も近い列が撤去された。調査地設定時の生育状況としては、亶理1工区が亶理4工区よりも生育状況が悪く、平均樹高では令和元年度時点で130cmほどの差があった。

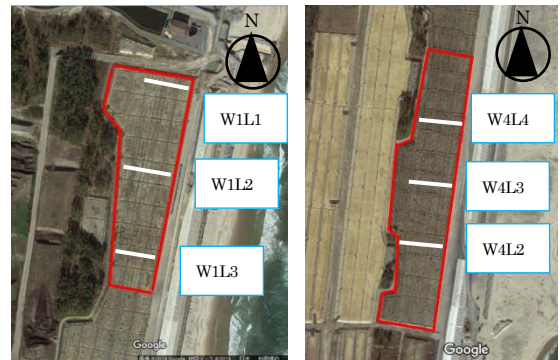


図3 調査地全体(亶理町)

左図) 亶理1工区、右図) 亶理4工区

白線) 帯状区



図4 調査地内の様子(令和元年度)

左図) 亶理1工区、右図) 亶理4工区

イ 山元6工区及び山元7工区 (図5、図6)

平成26年度に造成が完了し、平成27年春に宮城県産の2年生マツノザイセンチュウ抵抗性コンテナ苗が5000本/haで植栽された。両工区の面積はともに3.4haで、汀線に平行な防風垣と防風柵が一定間隔で設置された。生育状況としては、山元7工区は山元6工区よりも生育状況が悪く、令和元年度の平均樹高では60cmほどの差がついていた。



図6 調査地内の様子(令和元年度)

左図) 山元6工区、右図) 山元7工区

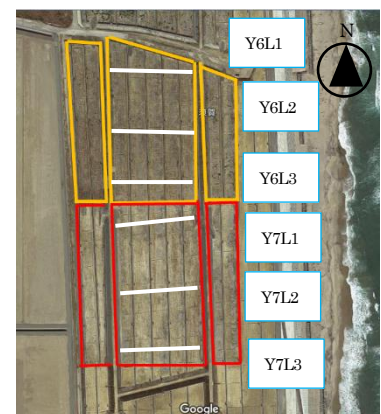


図5 調査地全体(山元町)

黄色枠) 山元6工区、赤枠) 山元7工区

白線) 帯状区

2. 2 調査内容

調査内容以降については調査項目を以下の 2 項目に分けて詳細を記載する。

2. 2. 1 クロマツの成長と生育基盤盛土との関係の検証

2. 1 の調査地を全て使用し、以下の調査を実施した。

調査項目 1 : 生育状況調査

各工区に汀線側から内陸側にかけて調査区画とする帯状区を 3 つずつ、計 12 区を設定し、帯状区内の植栽木の樹高、地際径（可能な場合は胸高直径）、東西方向・南北方向の枝張りを計測するとともに、枯損や病害の発生などの生育状況を記録した。生育状況調査は亘理 1 工区及び亘理 4 工区は平成 30 年度成長終了時から、山元 6 工区及び山元 7 工区は令和元年度成長終了時から調査を行い、各年度の成長終了時に調査を実施した。

調査項目 2 : 土壌調査

生育基盤盛土の現況を調査するための土壌調査を実施した。測定項目は植物の根系成長に影響を与えられているとされている土壌物理性のうち、土壌硬度、土壌透水性、三相組成の 3 項目とした。生育状況調査で設定した帯状区で 1 区画あたり 5 地点（工区内で計 15 地点）を調査地点とし、土壌硬度の測定を行うとともに、不攪乱の土壌試料を採取した。土壌硬度の測定に

は長谷川式土壌貫入計（H-100、ダイトウテクノグリーン株式会社製）、不攪乱の土壌試料の採取には土壌採土器（DIK-115B、大起理化工業製）を用いて 100ml ステンレス試料円筒（DIK-1801、大起理化工業製）により試料を採取した。土壌透水性は 1 点式の変水位透水性ユニット（DIK-4051、大起理化工業製）を使用した。三相組成はデジタル実容積測定装置（DIK-1150、大起理化工業製）と pF 値調整機器である砂柱法キット（DIK-3521、大起理化工業製）を用いて測定を行った。三相組成については機器を保有する宮城県農業・園芸総合研究所に依頼し、測定を実施した。土壌硬度の評価基準は表 1 の通りの方法で判断し、多くの根が侵入困難と判断される軟らか度（S 値）0.7cm/drop 以下を根の伸長が阻害される土壌として評価した。また、土壌の深さを 10cm ごとの層として区分し、各層を通過するために何回の打撃（drop）を要したかでその層の固さを評価した。例えば、S 値 0.7cm/drop で 10cm 貫入した場合、10cm 進むためには 15 打撃必要となることから、15 打撃以上要した層を根の侵入が困難な層として判断した。また、固結した層を繰り返し打撃した場合、貫入計が破損する恐れがあることから、機器の取扱説明書に従い、S 値 0.2cm/drop 以下が 10 回連続で観測された場合測定を中止し、近傍の地点で再計測を行った。再計測時に同じ土壌層で同様の固さが観測された場合はその地点での計測を中止し、以下の土壌層を「計測不能」として記録した。土壌透水性については、変水位透水性ユニットの目盛管内を水が 10cm（水の移動が遅い場合は 1cm）移動する時間を計測し、下記の式を用いて飽和透水係数（K（cm/s））を算出した（土壌環境分析法編集委員会編、1997）。K は標準温度を 15℃ とし、測定時の水温（T）における透水係数（ K_T ）に水温 15℃ の透水係数に補正する粘性係数をかけた値を飽和等水位係数 K とした。

表 1 長谷川式土壌貫入計による硬度評価

長谷川式軟らか度 S 値 (cm/drop)	植生基盤としての判定			
	根の侵入の可否	固さの表現	適応記号	10cm 貫入時の打撃数
0.7 以下	多くの根が侵入困難	固結	××	15 以上
0.7~1.0	根系発達に阻害あり	硬い	×	10~14
1.0~1.5	根系発達に阻害樹種あり	硬まった	△	7~9
1.5~4.0	根系発達に阻害なし	軟らか	○	3~6
4.0 より大	根系発達に阻害なし (低支持力、乾燥のおそれ)	膨軟過ぎ	△	0~2

$$K_T = \frac{2.3aL}{(At)} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

$$K = K_T \times \frac{\eta_T}{\eta_{15}}$$

a : 目盛管の断面積 (cm²)、L : 土壌試料の長さ (cm)、A : 試料の断面積 (cm²)、t : 水の移動時間 (秒 (s))

h₁ : 計測開始時の水面の高さ (cm)、h₂ : 計測終了時の水面の高さ (cm)、η_T : 水温 T°Cにおける粘性係数

η₁₅ : 水温 15°Cにおける粘性係数

表 2 変水位透水試験による透水性評価

飽和透水係数 K(cm/s)	10 ⁻² (E-02)	10 ⁻³ (E-03)	10 ⁻⁴ (E-04)	10 ⁻⁵ (E-05)	10 ⁻⁶ (E-06)
透水性評価	透水過多	良好	中良	やや不良	不良

表 3 各工区掘り取り木の個体サイズ

	選定時		令和 3 年度平均値		採取時	
	樹高	地際径	樹高	地際径	樹高	地際径
巨理 1 工区	184	6.4	189.0	5.9	240	6.5
巨理 4 工区	371	8.7	372.1	8.5	450	9.2
山元 6 工区	270	7.9	271.2	7.9	340	9.2
山元 7 工区	143	5.4	143.5	5.6	158	5.9

(単位は全て cm)

各試料について 3 回連続で計測を行い、3 回の平均時間から算出した K をその地点の代表値として評価を行った。土壌透水性の評価基準は表の通りであり、飽和透水係数の 10 乗の指数部の値 (オーダー) により「透水過多」、「良好」、「中良」、「やや不良」、「不良」の 5 段階で区分した。土壌透水性は各工区あたり 5~6 地点を計測した (表 2)。

調査項目 3 : 根系調査

根系の分布や地下部の重量を測定するため、根系の掘り取りを行う根系調査を実施した。根系の掘り取りは令和 4 年度に実施し、各工区から 1 個体ずつ地上部である幹、枝、葉等とともに地下部である根の採取を行った。掘り取りを行う個体は令和 3 年度成長終了時の樹高、地際径、枝張りが工区の平均的なサイズを持つ個体から選抜した (表 3)。採取の実施前に選抜した個体の周辺 (主幹からの距離が 50cm の東西南北 4 方向の 4 カ所) を調査項目 2 の土壌調査と同様の方法で土壌硬度、土壌透水性、三相組成をそれぞれ測定した。また、掘り取りを実施する際に、掘り取り木直下の土壌状況を調査するため、根が分布している層まで土壌断面を作成し、観察を行った。採取した個体の地上部は幹、枝、葉、その他 (球果等) に分類し、紙袋に封入した。地下部は根鉢から伸長している根の根長と根直径を計測し、その後地下部を粗根・細根・根鉢に分類して紙袋に封入した。分類した地上部と地下部は送風定温乾燥機 (DRS620DB、ADVANTEC 社製) で葉、枝、その他は 80°C で 48 時間、主幹と地下部は 105°C で 48 時間の乾燥を行った。乾燥終了後にデジタルはかり (SK-1000、株式会社エアーアンドディー社製) により乾燥重量を測定するとともに、T/R 比を算出した。

調査項目 4 : 統計分析

植栽年度が同じ工区間の個体サイズ、各成長量及び変化量について一元配置分散分析による差異の検証を行った。また、個体サイズ、各成長量及び変化量を説明変数、土壌物理性の各値を従属変数、工区をランダム要因とした線形混合モデル (lmer) による分析を行い、工区間の生育差異の要因となる土壌物理性について検証を行った。統計分析には統計分析ソフト R (ver4.3.0) を使用し、パッケージ lmerTest を解析に用いた。

2. 2. 2 初回本数調整伐がクロマツの成長に及ぼす影響

亶理 4 工区を調査地として以下の調査を行った。

調査項目 1 : 生育状況調査

亶理 4 工区内に植栽木 5 列×50~60m の方形区を 3 区画設定し、方形区内の植栽木の樹高、地際径、胸高直径、東西方向・南北方向の枝張り、枝下高を計測した (図 7)。また、枯死や気象害・病害等の発生状況についても記録した。生育状況調査は令和元年度から令和 4 年度まで各年度の成長終了後に調査を実施した。



図 7 本数調整伐区画位置図

調査項目 2 : 本数調整伐の実施

設定した方形区内で本数調整伐を実施した。3 区画の伐採率はそれぞれ 1 伐 3 残 (伐採率 : 25%)、1 伐 2 残 (伐採率 : 33%)、無間伐 (伐採率 : 0%) とし、それぞれ 1 伐 3 残区、1 伐 2 残区、無間伐区とした。本数調整伐は令和 3 年 11 月~12 月に実施した。設計及び発注は仙台地方振興事務所林業振興部森林整備班が行った。

3 結果

3. 1 クロマツの成長と生育基盤盛土との関係の検証

3. 1. 1 各工区の生育状況調査と個体サイズ

調査を行った 4 つの工区の樹高、地際径、枝張りの平均値推移を図 8 に示す。

亶理町の 2 つの工区について、平均樹高は令和 4 年度時点で亶理 1 工区は 227.1 ± 61.6 cm、亶理 4 工区は 430 ± 61.8 cm、平均地際径は亶理 1 工区で 6.52 ± 1.32 cm、亶理 4 工区で 9.38 ± 1.59 cm であった。平均枝張りは亶理 1 工区で 151.3 ± 34.2 cm、亶理 4 工区で 191.0 ± 36.0 cm となった。各個体サイズについて一元配置分散分析による分析を行ったところ、平均樹高及び平均地際径で各年とも工区間で有意差が見られた ($p < 0.05$)。平均枝張りについては亶理 4 工区が令和 2 年度につる切りに伴う枝払いが行われたため、比較は行わず参考値とした。各年度の樹高及び地際径の成長量についても同様に分析を行ったところ、各年度で工区間の有意差が確認された ($p < 0.05$)。各成長量の推移を表すと、亶理 1 工区及び亶理 4 工区ともに前年と同程度の成長量を示しており、令和 2 年度から令和 4 年度までの各工区の成長量推移に、大きな変化は見られなかった。

山元町の 2 つの工区において、平均樹高は令和 4 年度の時点で山元 6 工区は 319.4 ± 71.8 cm、山元 7 工区は 162.5 ± 43.9 cm、平均地際径は山元 6 工区で 8.74 ± 1.38 cm、山元 7 工区で 6.05 ± 1.17 cm であった。平均枝張りは令和 4 年度時点では山元 6 工区で 170.0 ± 36.3 cm、山元 7 工区で 119.5 ± 28.7 cm となった。各個体サイズについて亶理町と同様の統計分析を行ったところ、山元町の工区間でも各年で有意差が確認された ($p < 0.05$)。各成長量及び変化量の推移を比較すると令和 2 年度から令和 4 年度の各値は工区内で大きな変化は見られなかった。各年度の樹高及び地際径成長量について同様の統計分析を行ったところ、各年度とも工区間で有意差が見られた ($p < 0.05$)。枝張り変化量では令和 3 年度で工区間の有意差が見られたが、その他の年度では有意差は確認されなかった。

3. 1. 2 各工区の土壌物理性

各工区で測定した土壌硬度、土壌透水性、三相組成の結果を図 9、図 10 に示す。

3. 1. 2. 1 土壌硬度

各工区で測定した土壌硬度を土壌深 10cm ごとの層に分け、各層を通過するために要した打撃数の結果から、亘理 1 工区は地表面に近い土壌深 0~20cm では根が侵入可能な 14 打撃以下の層が見られたが、林帯の汀線付近及び内陸側を中心に根の侵入が困難と判断される 15 打撃以上の層が多く確認された。亘理 4 工区では土壌深 0~30cm までの層で 15 打撃以上となる層が確認されたが、それより深い層を中心に根が侵入可能な層が広がっている状態であった。山元 6 工区では土壌深 0~40cm までの間で 14 打撃以下の層が見られたが、40cm より深い部分では明瞭な固結層が見られ、測定不能となる場合が 9 地点で見られた。局所的にも各層全体が 15 打撃以上となる場合も見られたことから、全体的に固結な土壌環境であると考えられた。山元 7 工区では、土壌深 0~40cm までの範囲は膨軟な層が多く観測されたが、山元 6 工区と同様に土壌深 40cm より深い層で測定不能となる明瞭な固結層が観測された。

3. 1. 2. 2 三相組成

亘理 1 工区及び亘理 4 工区の三相組成の平均値を比較すると、液相が 31%と 35%、固相が 59%と 56%、気相が 10%と 9%となり、両工区で三相組成の構成比に大きな差異は見られなかった。同様に、山元 6 工区及び山元 7 工区の三相組成の平均値は液相で 28%と 31%、固相で両工区とも 57%、気相で 15%と 12%となり、こちらも両工区間で大きな差異は見られなかった。一方で、全ての工区において、固相が 50%以上であり、森林土壌の固相割合 (24~33%) より多い状態であった。



(エラーバーは標準誤差を表す)

図 8 各工区の個体サイズ、成長量及び変化量推移
令和2年度亙理4工区の枝張り減少はつる切りに伴う枝払いによるもの

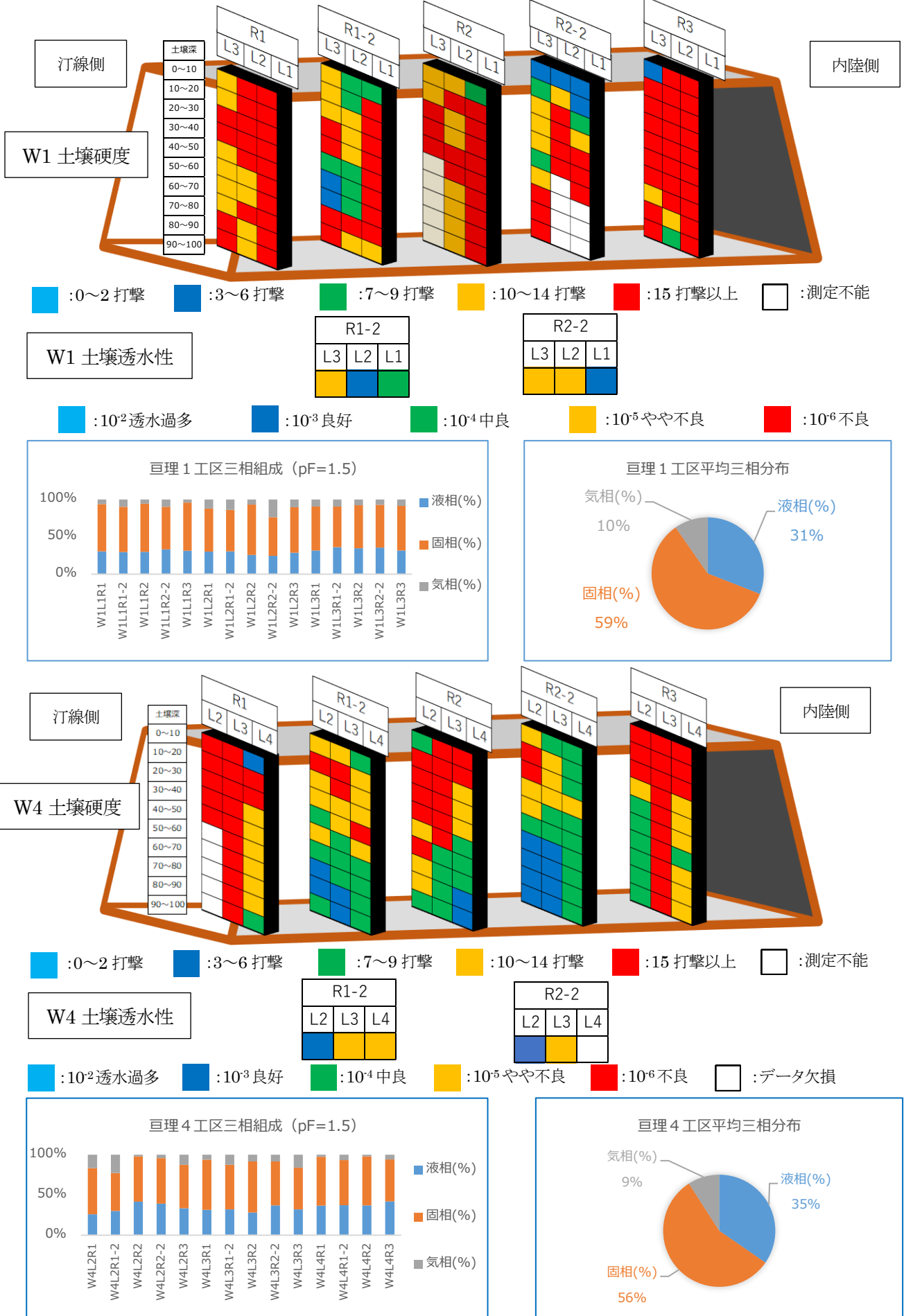


図9 巨理1工区及び巨理4工区生育基盤盛土の土壌硬度(上図)、土壌透水性(中図)、三相組成(下図)

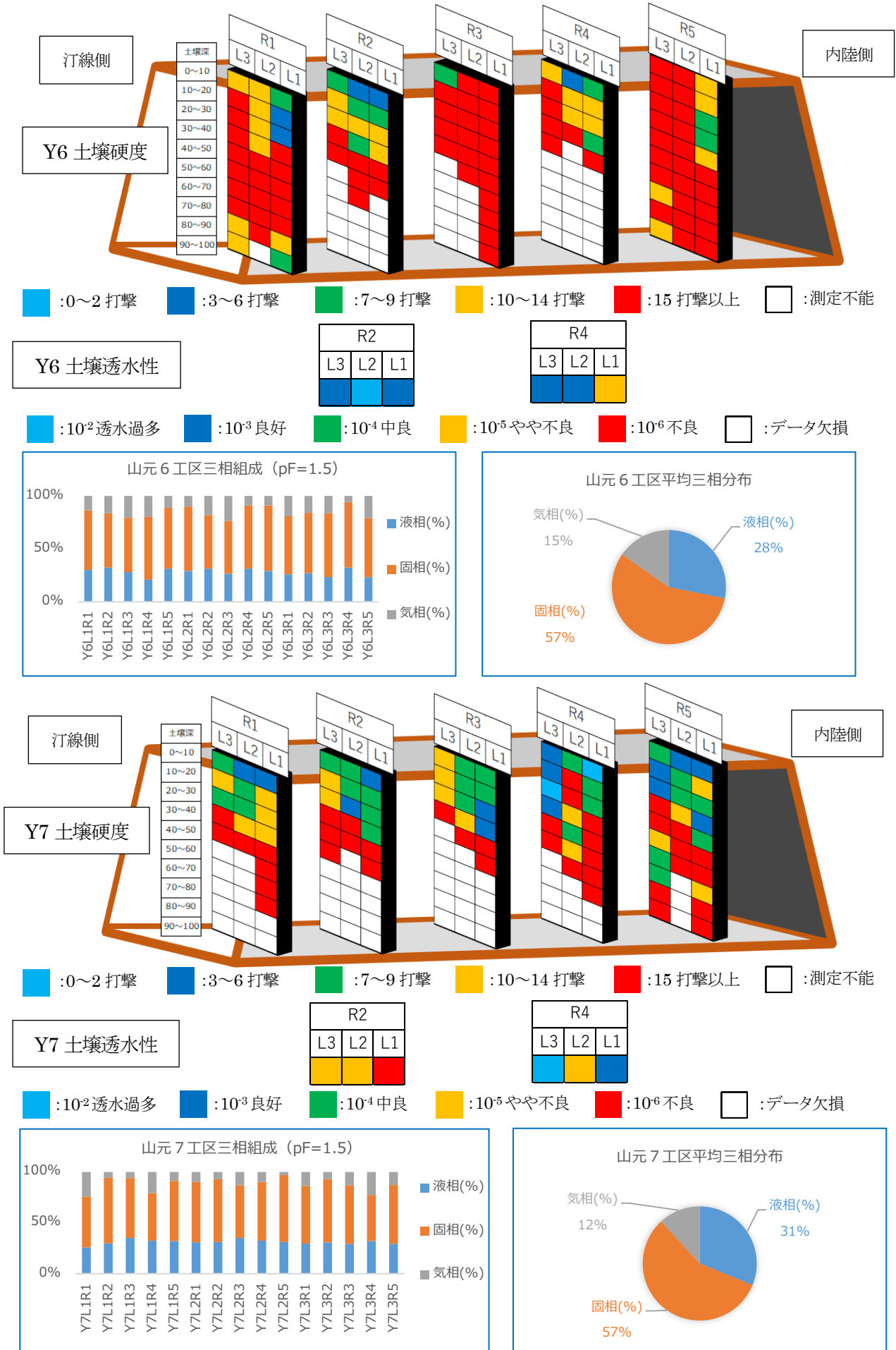


図 10 山元 6 工区及び山元 7 工区生育基盤盛土の土壌硬度 (上図)、土壌透水性 (中図)、三相組成 (下図)

3. 1. 2. 3 土壤透水性

互理 1 工区及び互理 4 工区では透水性が「良好」・「中良」となる地点と「やや不良」と判定される地点がそれぞれ半数ずつ見られた。山元 6 工区では「透水過多」・「良好」と判定された地点が 5 地点となり、「やや不良」と判定された地点は 1 地点のみであった。山元 7 工区では「透水過多」・「良好」と判定された地点は 2 地点のみで、残りの 4 地点は「やや不良」・「不良」と判定された。

3. 1. 3 統計分析

生育状況調査での個体サイズと土壤物理性から、土壤物理性による生育への影響の要因を検証するため、統計分析を行った。統計分析は植栽年度が同じ工区間（互理 1 工区と互理 4 工区、山元 6 工区と山元 7 工区）で実施した。個体は土壤物理性を計測した近傍の個体（1 調査地点あたり最大 5 個体）を使用し、各工区の個体数は互理 1 工区で 68 個体、互理 4 工区で 79 個体、山元 6 工区で 66 個体、山元 7 工区で 55 個体となった。分析は線形混合モデルにより行い、統計解析ソフト R (ver4.3.0) を使用し、パッケージ lmerTest の関数 lmer を用いた。分析に用いた従属変数と説明変数及びランダム要因は以下の通り。

従属変数：各工区の個体サイズ（樹高・地際径・枝張り）、

成長量及び変化量（樹高成長量・地際径成長量・枝張り変化量）

説明変数：土壤物理性（土壤硬度（土壤深 10cm ごとの打撃回数）・土壤透水性・固相・液相・気相・土壤空隙（液相+気相））、各要因の交互作用

ランダム要因：工区

線形混合モデルによる分析結果を表 4 に示す。互理 1 工区と互理 4 工区の分析では、令和 4 年度に計測した樹高及び樹高成長量と土壤空隙（液相+気相）が、地際径成長量では令和 4 年度に計測した地際径成長量と土壤空隙、土壤深 10~20cm の打撃回数、土壤空隙と土壤深 10~20cm の打撃回数の交互作用を含む線形予測子が最も当てはまりの良いモデルと推定された。この工区間では、地際径と枝張り及び枝張り変化量では土壤物理性の各要因と明瞭な関係は確認されなかった。山元 6 工区と山元 7 工区では、樹高及び樹高成長量と土壤空隙、土壤深 10~20cm の打撃回数、土壤空隙と土壤深 10~20cm の打撃回数の交互作用を含む線形予測子が最も当てはまりの良いモデルと推定された。この工区間では地際径及び地際径成長量、枝張り及び枝張り成長量では土壤物理性の要因と各値との間を説明する明瞭な関係は検出されなかった。

表 4 線形混合モデル (lmer) による分析結果

固定効果	推定値	標準誤差	95%信頼区間		有意確率	変量効果	推定値	
切片	157.20	80.53	-0.63	315.03	p>0.05	工区	7783.00	
液相+気相	4.24	1.20	1.88	6.59	p<0.001	δ^2	3506.00	
							AIC	1635.2

互理1工区・互理4工区の最適モデルの係数
左上) 樹高、左下) 樹高成長量、右下) 地際径成長量

固定効果	推定値	標準誤差	95%信頼区間		有意確率	変量効果	推定値
切片	-2.63	1.19	-4.96	-0.29	p<0.05	工区	0.006
10~20cmの土壤硬度	0.14	0.05	0.04	0.25	p<0.01	δ^2	0.17
液相+気相	0.08	0.03	0.02	0.13	p<0.01		
10~20cmの土壤硬度 ×液相+気相	-0.003	0.001	-0.006	-0.001	p<0.05	AIC	175.10

固定効果	推定値	標準誤差	95%信頼区間		有意確率	変量効果	推定値	
切片	1.42	16.23	-30.39	33.24	p>0.05	工区	48.44	
液相+気相	1.14	0.36	0.42	1.85	p<0.01	δ^2	326.26	
							AIC	1280.9

山元 6 工区・山元 7 工区の各値に関する最適モデルの係数

左) 樹高、右) 樹高成長量

固定効果	推定値	標準誤差	95%信頼区間		有意確率	変量効果	推定値
切片	-116.07	102.48	-316.93	84.79	p>0.05	工区	4641
10~20cmの土壤硬度	33.14	6.83	19.75	46.52	p<0.001	δ^2	2669
液相+気相	7.29	2.02	3.33	11.25	p<0.001		
10~20cmの土壤硬度 ×液相+気相	-0.68	0.15	-0.98	-0.38	p<0.001	AIC	1319.30

固定効果	推定値	標準誤差	95%信頼区間		有意確率	変量効果	推定値
切片	-12.34	23.02	-57.46	33.78	p>0.05	工区	189.50
10~20cmの土壤硬度	4.58	1.58	0.07	1.9	p<0.01	δ^2	142.00
液相+気相	0.98	0.47	1.49	7.67	p<0.05		
10~20cmの土壤硬度 ×液相+気相	-0.10	0.04	-0.16	-0.03	p<0.01	AIC	963.80

3. 1. 4 根系調査

3. 1. 4. 1 掘り取り木周辺の土壌物理性調査

掘り取り木周辺の土壌物理性調査結果について図 11 に示す。土壌硬度について、亘理 1 工区では各方位の土壌深 10~60cm の間で根の侵入が困難と判断される層が観測されたが、亘理 4 工区では層によりばらつきはあるものの、各方位とも根が侵入困難となる 15 打撃以上の層は見られなかった。山元 6 工区及び山元 7 工区では両工区とも土壌深 0~40cm までは各層で 14 打撃以下の層が確認され、根の伸長が期待される土壌硬度であった。一方で土壌深 40~60cm の間では 15 打撃以上の固結した層が見られ、計測不能となる層が確認された。土壌透水性について、亘理 1 工区は「中良」・「透水過多」と評価されたが亘理 4 工区は 2 方位で「不良」、1 方位で「やや不良」という結果となった。山元 6 工区及び山元 7 工区では山元 7 工区の北側で「やや不良」となったが、それ以外の方位では「良好」または「中良」となった。三相組成では、各工区とも固相が 54~63% となり、根を伸長できる空間が少ない状態であった。

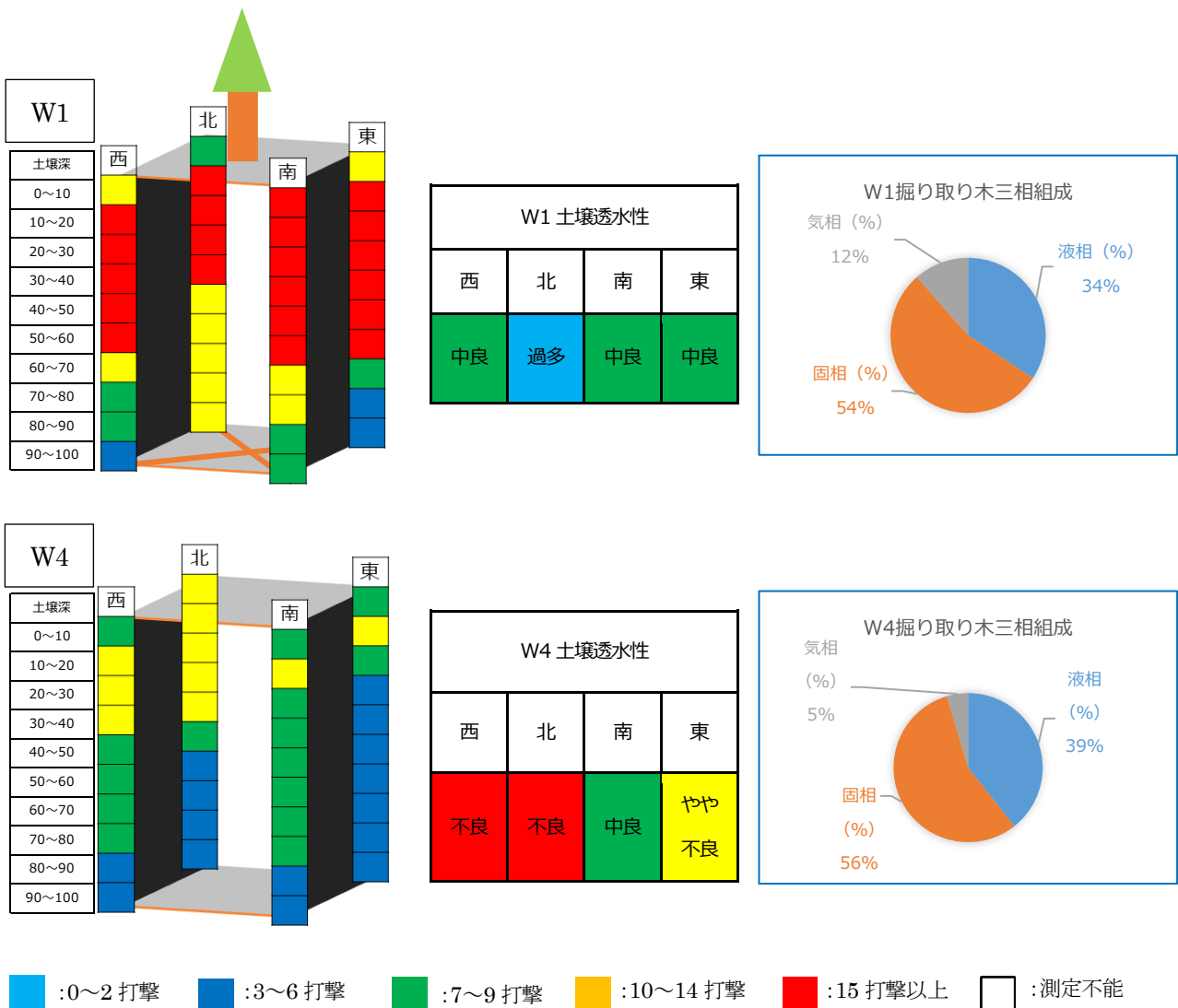


図 11 掘り取り木周辺の土壌物理性

各工区左から土壌硬度（左図）、土壌透水性（中央図）、三相組成（右図）

（次ページに続く）

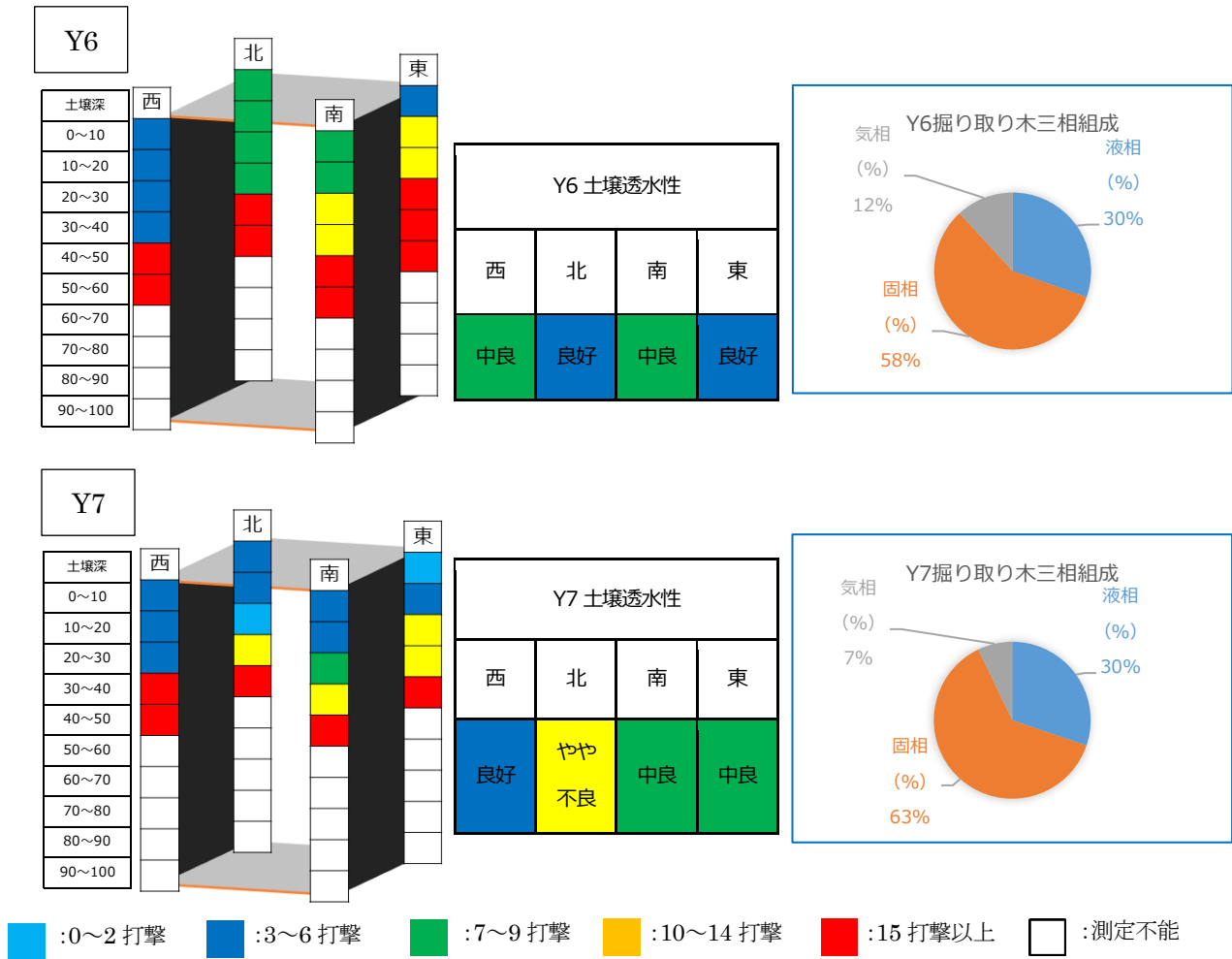


図 11 掘り取り木周辺の土壌物理性 (前ページ続き)

各工区左から土壌硬度 (左図)、土壌透水性 (中央図)、三相組成 (右図)

3. 1. 4. 2 掘り取り木直下の土壌断面の特徴

掘り取りを行った個体の土壌断面を図 12 に示す。亙理 1 工区では土壌深 20~30cm から 50~60cm にかけて青灰色を呈した層が見られ、グライ層が形成されていると考えられた。亙理 4 工区では、均一な砂質土壌が広がっており、土壌構造に大きな変異は見られなかった。山元 6 工区は砂質土壌であったが、石礫が土壌断面の 10%程度混在していた。山元 7 工区では砂質だがねばりけを示す土性が特に土壌深 30~50cm で顕著となっていた。

3. 1. 4. 3 掘り取り木根系の特徴

各工区の掘り取り木個体の根系を図 13、図 14 に示す。各工区の個体は共通して地表に近い土壌での水平方向の伸長は確認されたが、垂直方向の伸長には工区によって差異が表れた。垂直方向の伸長が明瞭に確認されたのは亙理 4 工区と山元 6 工区の個体で、特に亙理 4 工区では根鉢から真下に伸長する直根が土壌深 70cm 程度まで形成されていた (図)。また、水平根から分岐して垂直方向に伸長する垂下根も両工区で確認された。一方で、亙理 1 工区と山元 7 工区では垂直方向への根の伸長は亙理 4 工区と山元 6 工区ほど明瞭ではなく、特に亙理 1 工区では、直根が形成されていない状態であった (図)。山元 7 工区の個体では垂下根が確認されているが、明確な直根は形成されていなかった。山元 6 工区と山元 7 工区では土壌硬度

の計測時に土壌深 40~50cm に固結層が確認されており、垂直方向の根系の伸長は固結層で停止していた。水平方向の成長は亘理 4 工区の個体が最も発達しており、根鉢からの根長は最大で 375cm となった。他の工区の最大根長は亘理 1 工区で 150cm、山元 6 工区で 250cm、山元 7 工区で 215cm であった。



図 12 掘り取り木直下の土壌断面

各写真の工区は亘理 1 工区 (左上)、亘理 4 工区 (右上)、山元 6 工区 (左下)、山元 7 工区 (右下)



図 13 掘り取り個体の水平根伸長

亘理 1 工区 (左上)、亘理 4 工区 (右上)、山元 6 工区 (左下)、山元 7 工区 (右下)



図 14 掘り取り個体の直根伸長

- 左上) 亶理 1 工区
- 右上) 亶理 4 工区
- 左下) 山元 6 工区
- 右下) 山元 7 工区

3. 1. 4. 4 乾燥重量の測定と T/R 比の算出

各個体の乾燥重量と T/R 比を表に示す。各工区の個体の T/R 比は亶理 1 工区で 3.45、亶理 4 工区で 4.05、山元 6 工区で 4.29、山元 7 工区で 2.82 となった。地上部の生育が良い亶理 4 工区と山元 6 工区は、地上部の生育が不良な亶理 1 工区と山元 6 工区と比較すると T/R 比は相対的に低い値を示した。

表 5 各工区掘り取り木の地上部及び地下部の乾燥重量と T/R 比

	W1	W4	Y6	Y7
地上部乾燥重量 (g)	3,544	8,495	6,254	1,754
地下部乾燥重量 (g)	1,001	2,099	1,457	623
T/R 比	3.54	4.05	4.29	2.82

3. 2 初回本数調整伐がクロマツの成長に及ぼす影響

3. 2. 1 生育状況調査

各区画の本数調整伐後の残存数と伐採列の位置図を図 15 に示す。残存数は令和 4 年度成長終了時点で、1 伐 3 残区で 130 個体、1 伐 2 残区で 128 個体、無間伐区で 176 個体であった。枯死木は合計 12 個体であったが、調査を開始した時点ですでに枯死していたものやつる切り等の保育作業時に誤伐されたことにより発生していた。本数調整伐実施前から葉ふるい病の病徴が見られる個体（8 個体）や、シンクイムシによる虫害を受けた個体（7 個体）があったが、本数調整伐後に病虫害で枯死に至る個体は見られなかった。また、本数調整伐後の気象害の発生は各区画とも見られず、風害による幹折れや根返りは発生しなかった。

3. 2. 2 各区画の個体サイズと成長量及び変化量の差異

設定した方形区の樹高、胸高直径、枝張りの平均値推移と、単年度の各項目の平均成長量及び平均変化量を図 16 に示す。令和 4 年度成長終了時点の各項目について統計分析 (Tukey の多重比較、有意水準 $p < 0.05$) を行ったところ、平均樹高では 1 伐 3 残区が他の 2 工区より有意に大きく、平均胸高直径では無間伐区が他の 2 区画と有意差に小さかった。また、参考値であるが、枝張りでは 1 伐 2 残区と無間伐区の間で有意差が見られた。令和 4 年度の樹高成長量では区画間の有意差は認められず、胸高直径成長量では無間伐区が他の 2 区画より有意に小さく、枝張り変化量は全ての区画間で有意差が認められ、1 伐 3 残区が最も大きく、無間伐区が最も小さかった。

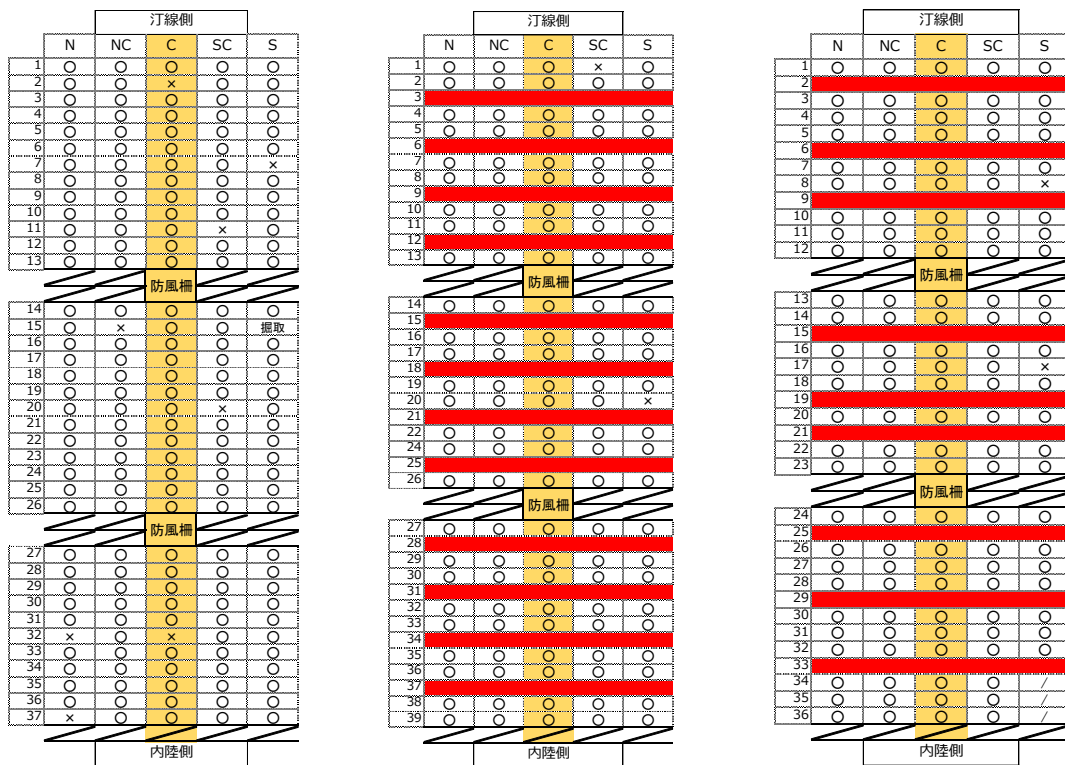
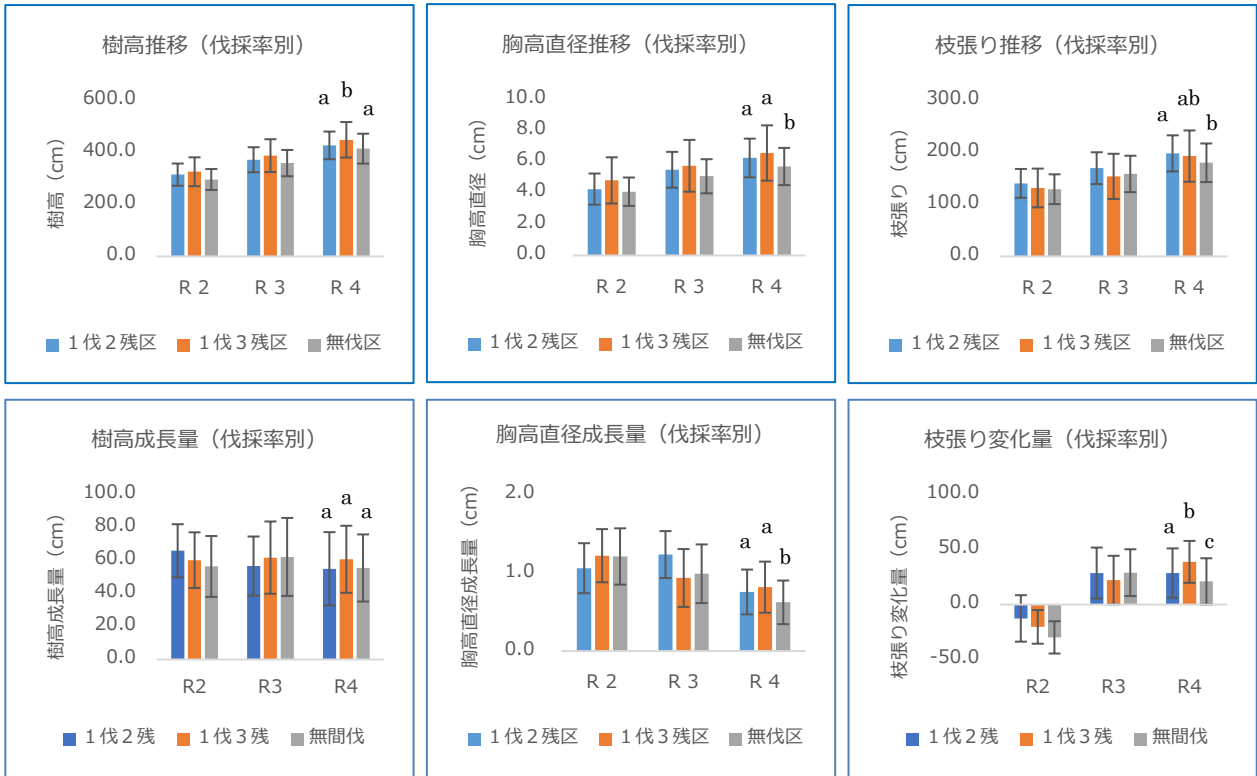


図 15 本数調整伐区内の残存木及び伐採列の位置図 (2022 年度生育状況調査終了時)

無間伐区 (左図)、1 伐 2 残区 (中央図)、1 伐 3 残区 (右図)。○が生存個体、×が枯死木、/は植栽が無い箇所を表す。図中の赤いラインが伐採列。防風柵の間隔や水路の配置等により植栽列数が区画により異なっており、無間伐区で 37 列、1 伐 2 残区で 39 列、1 伐 3 残区で 36 列となっている。また、1 伐 3 残区で一部伐採列に誤りがあったことから、3 列が残されている部分の 69 個体を分析に用いた。



(エラーバーは標準誤差を表す)

図 16 各区画の個体サイズ（樹高・胸高直径・枝張り）平均値と各成長量及び変化量の平均値推移

図中のアルファベットは Tukey の多重比較により異なるアルファベット間に有意差があることを示す (p < 0.05)。枝張り変化量の R2 がマイナスの値を示しているのはつる切りに伴う枝払いが行われたためである。

4 考察

4. 1 クロマツの成長と生育基盤盛土との関係の検証

今回の検証から、生育基盤盛土上での成長量の要因は土壌の固結や滞水、空隙の少なさによる根系の生育不良が植栽木全体の生育不良に関係していると考えられた。

生育が良好な亘理 4 工区と山元 6 工区では今回固結した層として判断した軟らか度 0.7cm/drop 以下を表す 10cm の伸長に 15 打撃以上となる層が、地表に近い部分（土壌深 0~50cm 程度）で少なく、それらの土壌では直根及び垂直根の伸長が見られた。また、滞水を示すような土性や土色も確認されなかったことや統計分析の結果から土壌空隙が最も当てはまりの良いモデルの一因として示されたことから、土壌物理性が根系の成長を阻害しない状態であると考えられた。一方で、生育が不良となっている亘理 1 工区と山元 7 工区ではそれぞれで生育が不良となっている要因は異なるが、ともに土壌物理性が生育に影響を与えていると考えられた。亘理 1 工区は固結した層が土壌全体にまばらに広がるとともに、グライ層が形成されていることから恒常的に滞水が起り、土壌中の酸素が少ない状態となっていると考えられたため、それらが根系成長の阻害要因であると推定された。山元 7 工区では土壌深 0~40cm に膨軟な土壌が広がっているが、水を保持しやすい土性が見られたことから滞水が発生していると考えられ、これが根系成長の阻害要因になっていると推定された。地上部及び地下部の乾燥重量から算出した T/R 比の比較から、生育が不良な工区は生育が良好な工区よりも値が低いことから、生育が不良な工区では根系の成長に養分を配分する傾向にあると考えられ、地上部の成長に養分を投入しづらい状態にあると推測された。

統計分析の結果から、各工区間の説明変数に最も当てはまりのよいモデルが確認されたものがあったが、共通した従属変数は見られたものの、両方の工区間で同様の線形予測子は確認されなかった。これは、工区により主に影響を与えている土壌物理性の要因が異なり、いくつかの要因が複合的に影響を与えているためであると考えられた。これは、例えば土壌硬度のみを改善したとしても、滞水や土壌空隙の改善を行わなかった場合、植栽木の生育状況が必ずしも改善しないことを示すものであり、今後、生育不良となっている場所を改善させるためには、生育不良の要因となっている土壌物理性を調査した上で、どの要因が植栽木の成長を妨げているかを検証する必要があることを表している。調査によって割り出した要因に対し、適切な対策をとることが植栽木の生育状況の改善に繋がると思われる。

今回調査した工区では生育が不良となっている工区でも T/R 比は一定の値を示していた。温帯林の根のバイオマスは樹木全体の 20~40%を占めるとされており、これは T/R 比に換算すると 1.5~4.0 にあたるため(平野ら 2020)、今回計測された工区はこの数値を逸脱した値ではなかったことから、現状では生育が不良な工区でも土壌物理性により枯死に至る可能性は低いと考えられた。しかし、生育基盤盛土の土壌物理性は人為的に改良しない限り大きく変化することはないと考えられるため、根系の生育不良が継続することで、十分な根系を形成することができないことによる津波の波力減殺機能等の公益的機能低下が懸念される。今後は本数調整伐による生育環境の変化や台風等による気象害の発生も懸念されることから、生育が不良な工区では土壌物理性等生育条件の改善が求められる。一方で、植栽された個体が存在している状態では土壌改良を行う手段は限られていることに加え、今回の根系調査では全ての工区で水平方向の根は工区間で差異はあるものの伸長していることから、土壌改良を行う際に植栽木の根を損傷し、結果的に生育を阻害する可能性も考えられる。生育が不良な工区においても今後の成長状況を継続的に調査し、公益的機能が十分に発揮できる林分に成林するか継続的に調査する必要がある。

4. 2 初回本数調整伐がクロマツの成長に及ぼす影響

本県ではクロマツ海岸防災林の初回本数調整伐を実施した例が少なかったことから、本数調整伐による生育環境の変化により、残存木の気象害等の発生が懸念されていたが、今回の調査では残存木の枯死等は見られなかった。このため、本県南部の沿岸地域では本数調整伐による残存木への影響は軽微であると考えられた。一方で、今回の研究の中でも、造成した工区により植栽木の生育差が見られることや、地域による気象条件の違い、汀線からの距離など植栽木が置かれている生育環境は多様であることから、実施事例を積み上げることによる検証も継続していく必要がある。

初回本数調整伐の伐採率について、これまでは 1 伐 3 残による列状間伐が主流とされているが、今回の調査ではより高い伐採率である 1 伐 2 残の場合でも残存木の気象害の発生は確認されなかった。これは(1)の根系調査でも確認されているとおり、亘理 4 工区では直根の伸長が土壌深 70cm ほどまで確認されており、樹体を支持する力が十分にあることが一因と考えられた。また、日本海側と比較して本県のような太平洋側の気候では、気象害の要因とされている冬期の季節風が比較的弱く、積雪量も少ないことが気象害の発生が抑えられた要因であると考えられた。加えて、汀線側には高さ 7.2m の防潮堤があり、汀線からの風や飛砂が抑制されたことにより、気象害が発生しなかった可能性がある。

5 おわりに

今回の調査では、生育基盤盛土を伴うクロマツ海岸防災林は盛土の土壌物理性により生育状態に差異がある現状を明らかにした。植栽木の生育状況を改善するためには原因となる土壌物理性の改善が求められ

るが、植栽が完了し生存している林内では土壌の改良は容易ではない。本数調整伐に関しても、生育が不良な場所や二回目以降の段階的な本数調整伐についても、本県での検証が必要であると思われる。

海岸防災林の成林には数十年という期間を要する。その間に台風等の災害による倒伏やマツ材線虫病をはじめとする病害の拡大など、林分が成林するまでには多くの生育阻害要因がある。本県のように大規模な生育基盤盛土上に一斉に植栽された海岸防災林は過去に例がないことから、今後どのような成長過程を示すかは不透明である。このため、継続的な生育状況等の調査を実施し、検証を行うことで健全な海岸防災林の成林の一助としていきたい。

6 謝辞

今回の研究課題では、宮城県農業・園芸総合研究所園芸環境部の瀧典明氏に三相組成の計測等を行っていただくとともに、土壌環境に関するご助言をいただいた。この場をお借りして感謝申し上げます。

引用文献

- 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方
—本数調整と侵入広葉樹の活用— 森林総合研究所第2期中期成果24 (安心安全-14) 2011
- 土壌環境分析法編集委員会編 土壌環境分析法 p69 1997
- 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会、今後における海岸防災林の再生について 2012
- 野口宏典、小野賢二、萩野裕章、鈴木覚 海岸林の生育基盤盛土への深耕が土壌の硬さとクロマツの根の発達に与える影響 森林総合研究所研究報告 (Bulletin of FFPRI) Vol.20-No.3 (No.459) 159-168
October 2021
- 平野恭弘、野口亨太郎、大橋瑞江編 森の根の生態学 共立出版株式会社 (東京) p25 2020

令和6年度
林業技術総合センター研究報告
第31号

令和6年7月発行

宮城県林業技術総合センター

〒981-3602 宮城県黒川郡大衡村大衡字はぬ木14-1

電話 022-345-2816

FAX 022-345-5377

E-mail stsc@pref.miyagi.lg.jp