研究成果選集

兵庫の森のチカラを生かす研究

平成23年3月

監　修／兵庫県農政環境部農林水産局林務課・治山課
環境創造局自然環境課・豊かな森づくり課
兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター
兵庫県森林動物研究センター
発　行／社団法人　兵庫県治山林道協会

はじめに

県土の7割を占める森林は、木材生産、土砂の流出防止、保健・レクレーション、気象緩和や大気浄化など様々な機能を有しており、近年では地球温暖化防止に対しても大きな期待が寄せられています。

県では、平成6年度から「ひょうごの森づくり」、平成14年度から「新ひょうごの森づくり」を実施され森林の公益的機能の高度発揮を促進されています。

しかし、平成16年の一連の台風により風倒木被害や山腹の崩壊が多発しました。これを受けて森林の防災面の機能強化が不可欠であるという事から県では県民共通の財産である森林の保全・再生を社会全体で支え、県民全体で取り組む仕組みとして「県民緑税」を創設され、災害に強い森づくりに取り組んでおられます。

また、近年の降雨は、局地的な豪雨が多発し、谷筋の森林が大きく崩壊する事による土砂の流出と共に流木問題が多く見られます。平成21年台風9号災害の時には、「災害に強い森づくり」施行地における被害が軽微であったことから、災害に強い森づくりの必要性が確認され、今後もこれらの取り組みを推進されることを望んでおります。

特に近年問題になっているのは、里山地域において野生鳥獣との軋轢が高まっており、シカによる農林業被害が増加しており、県ではシカの頭数管理を強化するため年間の駆除量を3万頭に引き上げ、被害の軽減を図ろうとされておられます。

このように、森づくり、山地防災、野生鳥獣に関する諸問題について、県では森林林業関係の方々により幅広く研究・調査がなされ多くの知見が残されています。これらの知見の蓄積は、ひょうごの森林を健全に又元気にさせるためにも意義あることであると考えます。

今回これらを一冊の冊子にまとめ森林林業関係者及び県民の皆様の利用につながることを期待して「兵庫の森のチカラを生かす研究」として編集し発刊いたしました。

この発刊により、森林林業関係者及び県民の皆様がチカラを合わせ、健全なひょうごの森が次世代に引き継がれることを念願します。

平成23年3月

社団法人　兵庫県治山林道協会長
宍粟市長　　田 路　勝

目　　次

Ⅰ　森を知る　森を使う　【森林林業技術センター】

〔災害に強い森づくり〕
1　間伐木を利用して森林表土の流出を抑制する
　　－県民緑税を活用した「緊急防災林整備」の効果検証－（山瀬敬太郎）・・・・・・・・・・・・1
2　コナラ植栽木と天然更新木の風倒や土石流に対する抵抗力（藤堂千景）・・・・・・・・・・・・3
3　ヒメカタショウロ（菌根性きのこ）利用した初期成長が良いコナラ苗木（藤堂千景）・・・・・5
4　スギ林内への広葉樹樹下植栽による針広混交林への誘導（吉野豊、前田雅量）・・・・・・・・7
5　森林表土を利用して斜面を緑化する（山瀬敬太郎）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
〔森林病虫害の防除〕
6　マツノザイセンチュウに抵抗性の強いアカマツ品種「播磨の緑」の品種登録（吉野豊、前田雅量）・・11
〔環境に調和した森づくり〕
7　里山林の植物多様性を保全する（山瀬敬太郎）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
8　森林を生育場所とする絶滅危惧植物の保全（吉野豊、山瀬敬太郎、前田雅量、上山泰代）・・・15
9　六甲山系で希少種ヤブウツギの保全活用（山瀬敬太郎）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
10　花粉の少ないスギ品種の普及（塩見晋一）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
〔きのこの栽培〕
11　アカマツ林内でホンシメジの林地栽培（藤堂千景）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
12　ハタケシメジ「波賀のめぐみ」の林内栽培（藤堂千景）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

Ⅱ　木を知る　木を使う　【森林林業技術センター】

〔木材の特質〕
13　木材の調湿・断熱性能評価（永井智）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
〔木材の乾燥〕
14　梁材を用途としたスギ断面材の速くて損傷の少ない乾燥方法の提案（山田範彦）・・・・・・・27
15　木造住宅部材の適正含水率の把握と測定技術の向上（山田範彦）・・・・・・・・・・・・・・・29
〔木材の強度性能〕
16　県産スギ無垢材によるエンジニアードウッドの生産技術
　　－エンジニアードウッド（強度性能が保証された構造用材）－（永井智）・・・・・・・・・・・31
17　県産スギ材を活用した強度性能の高い集成材生産技術の開発（永井智）・・・・・・・・・・・33
〔木質バイオマス〕
18　木質バイオマスを用いた多様な再生利用製品の開発（石坂知行）・・・・・・・・・・・・・・・35

注）本文中の発表者の所属は、公表（発表）した時点の所属を記載しています。

Ⅲ　野生動物を知る　被害から守る　【森林動物研究センター】

〔生息地管理〕
19　県域スケールでのシカによる落葉広葉樹林の下層植生衰退状況の把握（藤木大介）・・・・・・37
20　シカの食害による植生への影響評価（服部保、黒田有寿茂、石田弘明）・・・・・・・・・・・・39
21　シカの不嗜好性植物イワヒメワラビの増殖技術の開発（南山典子、服部保）・・・・・・・・・41
22　シカの不嗜好性植物の緑化材料としての活用（石田弘明）・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
23　林縁環境整備が隣接農耕地の獣害軽減に及ぼす効果
　　－県民緑税を活用した「野生動物育成林整備」の効果検証－（藤木大介）・・・・・・・・・・45
〔個体数・被害管理〕
24　兵庫県内におけるシカとツキノワグマの生息動向の推定（坂田宏志）・・・・・・・・・・・・・47
25　ドロップネットを用いたシカの大量捕獲手法の技術開発
　　（室山泰之、森光由樹、坂田宏志、阿部豪、田口彰、永本正義、松本哲也、北川洋一）・・・・49
26　学習放獣後のツキノワグマの行動特性と効果検証（横山真弓）・・・・・・・・・・・・・・・・51
27　ニホンザルの生息状況の把握と被害対策の検討（鈴木克哉、室山泰之）・・・・・・・・・・・・53

Ⅳ　森を守る　暮らしを守る　【農政環境部治山課・森林保全室】

〔治　山〕
28　大規模地震動に対応した治山工法の設計手法の提案
　　（沖村孝、太田雄一郎、村上晴茂、荒木繁幸、鏡原聖史）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
29　自然斜面における耐震治山工法の開発について（第３報）
　　（西原玲二、佐藤慎介、荒木繁幸、鏡原聖史）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・57
30　アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート治山ダムの対策工法
　　（藤原秀樹、杉山和史、松田文利）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59
31　養父市大久保地区における地すべり災害復旧について（高寄誠、真弓教史）・・・・・・・・・61
32　平成21年台風第９号災害を踏まえた兵庫県の総合的な治山対策の推進」（林一郎）・・・・・・63
〔林　道〕
33　現地発生材の有効利用について－石材現地破砕と撤去丸太の再利用－（小長井信宏）・・・・・65
34　県営林道沿線から木材搬出を促進するための取り組みについて（橋本志信、栗林健一）・・・・67
35　在来種を排除した法面緑化配合について（宗接聖史、山瀬敬太郎）・・・・・・・・・・・・・69
〔森林保全〕
36　保安林解除の意見聴取事案の具体的対応（太田雄一郎）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・71
〔森林整備〕
37　里山における防災機能向上への取組について－「県民緑税」を活用した里山防災林整備
　　の取組とその効果－（上田直樹、梶並紀雄、須本孝幸）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・73
〔減　災〕
38　風倒木被害地における警戒避難基準雨量－兵庫県の事例－
　　（山田裕司、村上晴茂、大角昌弘、中村晋）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・75
39　山地防災啓発活動を推進する土石流模型実験装置の力学的機構（太田雄一郎、西川謙吾）・・・77

“ひょうごの森のチカラを生かす研究”編集委員会委員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・79

1　間伐木を利用して森林表土の流出を抑制する

― 県民緑税を活用した「緊急防災林整備」の効果検証 ―

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　山瀬　敬太郎

背景と目的

近年、スギやヒノキの人工林では、手入れ不足により樹冠がうっ閉し、下層植生の減少と林床の裸地化が各地でみられるようになっており、森林表土の侵食による地力低下や土砂崩壊が危惧されています。また、侵食を受けた森林表土の流亡は、その中に含まれる埋土種子集団の流出をもたらすため、伐採跡地の植生回復や森林動態にも影響を与えるおそれがあります。

そこで、こうした森林が有する機能維持に重要な役割を果たす森林表土の侵食を防ぐための手法として、人工林の間伐の際に発生する間伐木を等高線上に筋状に並べ、この筋工が表土侵食を防ぐ障害物としての役割を果たすかどうかを調べました。

1　筋工の有無による年侵食土砂量の比較

筋工は、表土流亡を防ぐように間伐木を等高線方向の上下に２～3.5m間隔で設置し、侵食土砂量を測定するために、斜面下方に土砂受け箱を設置しました（写真１）。筋工の有無による年侵食土砂量は、図１のとおりであり、兵庫県下15ヵ所の調査地で実施した通常降雨時の結果をまとめています。筋工区（間伐＋筋工）と対照区（間伐のみ）の年侵食土砂量の比較では、15ヵ所の調査地すべてにおいて、筋工区の方が少なくなりました。実際に筋工区では、侵食された土砂が筋工の斜面上方で捕捉されている状況が認められ、筋工区における侵食土砂量の減少がみられました。

2　集中豪雨時における侵食土砂量

図２は、2009年８月に集中豪雨に見舞われた５ヵ所の調査地において、通常降雨時と集中豪雨時の侵食土砂量の違いを示したものです。筋工による侵食土砂量の平均抑制率は、通常降雨時が68%に対して集中豪雨時は80%であり、集中豪雨時の方が抑制率は高くなりました。集中豪雨の直後に現地確認を行ったところ、間伐木による筋工が表土の流亡を抑制している状況が確認されました（写真２）。これらのことから、間伐木による筋工は、森林表土の流亡量が増加する集中豪雨時においても表土流亡を防ぐ障害物として機能し、森林表土の流亡抑制に貢献していることがわかりました。

3　侵食土砂流亡予測式による筋工効果の算出

表１は、侵食土砂流亡予測式を用いて、調査地ごとに筋工の保全係数を算出したものです。筋工区の保全係数は、最小値0.03、最大値0.63（平均0.27±0.18）とばらつきがみられたものの、12ヵ所中４ヵ所の調査地では、山腹工の一種である伏工の保全係数0.16より低い値を示し、伏工と同程度以上の顕著な効果がみられました。また，概してスギ間伐林（平均0.09）よりヒノキ間伐林（平均0.33）の方が保全係数の値は大きく、ヒノキ間伐林の姫路調査地では、保全係数は0.63と最も大きく保全効果が低い値となりました。

このように、間伐木による筋工の施工は、程度の差はみられるものの、表土流亡を抑制して地力低下や土砂崩壊を軽減し、さらには埋土種子ポテンシャルの劣化を防ぐことができることから、森林の植生回復にも寄与できるものと考えています。

本研究の詳細は、「山瀬敬太郎・田中義則（2003）森林立地学会誌45（2）:89-92」「山瀬敬太郎・栃本大介・関岡裕明・藤堂千景（2010）日本緑化工学会誌36（1）:9-14」をご覧ください。

写真1　間伐木を利用した筋工と土砂受け箱
（多可町中区牧野）

写真2　集中豪雨時の筋工による侵食土砂の捕捉
（佐用町口長谷）

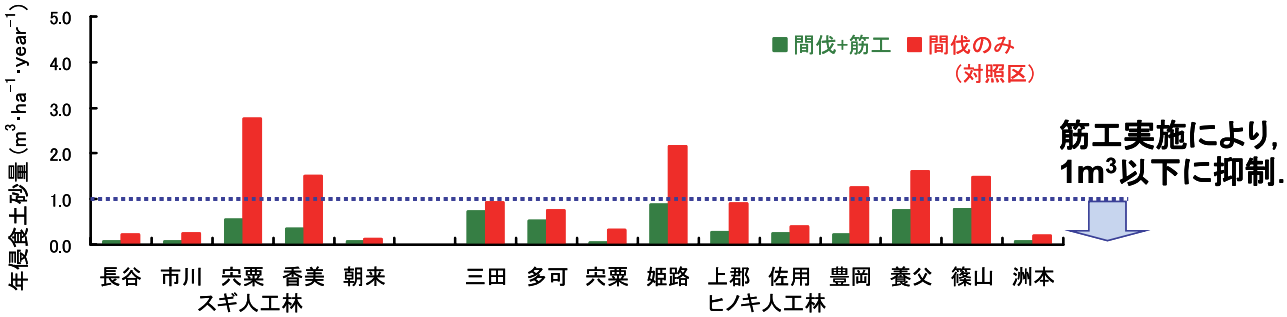


図1　整備区と対照区の侵食土砂量の比較（通常降雨時）

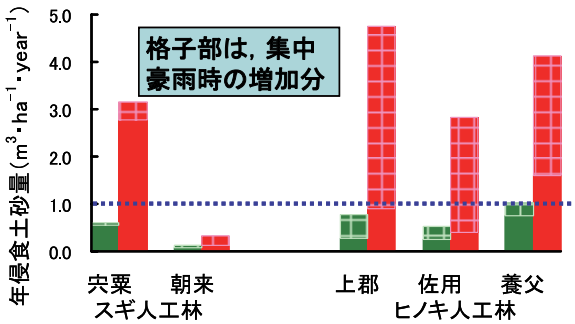


図2　通常降雨時と集中豪雨時の侵食土砂量の比較

表1　侵食土砂流亡予測式を用いた筋工の保全係数の算出

場所		A		R	L	K	S		C		P	
		間伐+筋工	間伐のみ				間伐+筋工	間伐のみ	間伐+筋工	間伐のみ	間伐+筋工	間伐のみ
スギ人工林	長谷	0.06	0.57	396.8	0.52	0.277	20.8	22.0	0.0007	0.0005	**0.08**	1.00
	市川	0.08	0.35	276.1	0.52	0.277	34.8	34.8	0.0008	0.0002	**0.07**	1.00
	朝来	0.09	0.21	343.9	0.52	0.277	31.2	30.0	0.0005	0.0001	**0.12**	1.00
ヒノキ人工林	三田	0.63	1.10	320.6	0.52	0.277	22.0	23.1	0.0015	0.0010	**0.42**	1.00
	多可	0.80	0.78	349.9	0.52	0.277	24.2	24.2	0.0015	0.0006	**0.43**	1.00
	新田	0.03	0.60	565.3	0.52	0.277	26.5	24.2	0.0004	0.0003	**0.03**	1.00
	姫路	0.73	1.81	163.1	0.52	0.277	34.8	34.8	0.0014	0.0022	**0.63**	1.00
	佐用	0.34	1.38	609.5	0.52	0.277	28.8	31.2	0.0005	0.0005	**0.27**	1.00
	豊岡	0.29	1.52	234.2	0.52	0.277	24.2	26.5	0.0017	0.0017	**0.21**	1.00
	養父	0.80	2.46	259.7	0.52	0.277	27.7	24.2	0.0020	0.0027	**0.39**	1.00
	篠山	0.82	2.03	336.7	0.52	0.277	30.0	30.0	0.0016	0.0014	**0.35**	1.00
	洲本	0.04	0.14	177.5	0.52	0.186	22.0	22.0	0.0005	0.0004	**0.23**	1.00

$A = R \times L \times K \times S \times C \times P$　　A：年侵食土砂量、R：降雨係数、L：斜面長係数、K：土壌係数、S：傾斜係数、C：植被係数、P：保全係数

2　コナラ植栽木と天然更新木の風倒や土石流に対する抵抗力

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　藤堂　千景

背景と目的

近年、水土保全機能や生物多様性保全機能を高めることを目的とした広葉樹林化が進められており、その手法の一つとして、高木性広葉樹の植栽が行われています。天然更新した広葉樹は、同直径の針葉樹よりも引き倒し抵抗力が強いことは徐々に明らかになってきていますが、その効果が植栽木にも当てはまるか否かはまだ明らかになっていません。

したがって今回は、広葉樹（コナラ）の天然更新木と植栽木の引き倒し抵抗力を測定し、引き倒し試験から推定できる風倒害や土石流に対する抵抗力について両者の違いを調査しました。

なお、この調査は信州大学農学部と共同に行ったものです。

1　風倒害や土砂崩壊に強い森林

台風による強風や豪雨は風倒害や立木を巻き込んでの土砂崩壊のように大きな森林災害をもたらすことがあります。このような森林災害に強い森林を作るためには風や斜面上部からの土砂に倒れにくい森林にする必要があります。では、樹木の倒れにくさはどう測定するのでしょうか?

2　樹木の倒れにくさを測定する－引き倒し試験－

樹木の倒れにくさを測定する1つの方法として、引き倒し試験があります。これは、樹木にワイヤーを掛け、そのワイヤーを重機や手動ウィンチにより引っ張り、樹木を引き倒すことで樹木が耐えることができる最大の力（＝最大引き倒し抵抗力）を測定する試験です。ワイヤーにかかる荷重は、ワイヤーにつないだロードセルにて測定し、ロードセルにつないだデータロガーに記録されます。

3　これまでにわかっていることとわかっていないこと

これまでの引き倒し試験のデータにより、樹木の最大引き倒し抵抗力は、胸高直径が大きくなるほど強くなること、同直径のスギ･ヒノキに比べて、コナラの天然更新木は最大引き倒し抵抗力が大きいことがわかっています。このことから、倒れにくい森を作るためにはコナラを中心とした広葉樹林とすることが考えられます。しかし、天然更新したコナラは強いことがわかりましたが、植栽由来のコナラでもその力は発揮できるのでしょうか?

4　コナラの天然更新木と植栽木での引き倒し試験

天然更新木と植栽木の最大引き倒し抵抗力を求めるため、引き倒し試験を行いました。

試験木はコナラ植栽木（19年生）とそれに隣接した立地のコナラ天然更新木（ほぼ17～18年生）で、それぞれ13本、9本を選定しました（表1）。それぞれの木の根元から高さ1mの地点にワイヤーをかけ、手動ウィンチにて負荷をかけ、最大引き倒し抵抗力を測定しました。データはロードセルにて測定しました（写真1）。

引き倒し試験の結果、地上高1m地点での最大引き倒し抵抗力は、胸高直径と共に増加し、同じ胸高直径の場合、天然更新木、植栽木でほぼ同じ値となりました。また、最大引き倒し抵抗力（Y）と胸高直径（X）の関係式は、天然更新木で$y = 0.0329X^{2.3871}$（R^2=0.8511）、植栽木で$y = 0.0307X^{2.4144}$（R^2=0.9104）となり、両者の回帰式に有意差はみられませんでした（図1）。このことから、植栽木であっても、20年近くが経過すれば、天然更新木と同様の最大引き倒し抵抗力を持つことが確認され、植栽由来の林分であっても天然更新林分と同様の風倒害や土石流に対する抵抗力を持つことが示唆されました。

倒れにくい森林に関しては、まだわからないことが多く、データを収集する必要があります。今後は樹種や施業の違いや立地などを注目しながら試験を続けていきたいと思います。

表1　試験林の詳細

	コナラ植栽林	コナラ天然更新林
サンプル数	13	9
平均胸高直径	14.9cm	13.6cm
平均樹高	11.9m	10.8m
平均枝下高	6.44m	6.33m
密度	2,200本/ha	2,400本/ha
コナラ以外の樹種	アベマキ ミズメ クリ等	ハネミイヌエンジュ アベマキ マルバアオダモ等

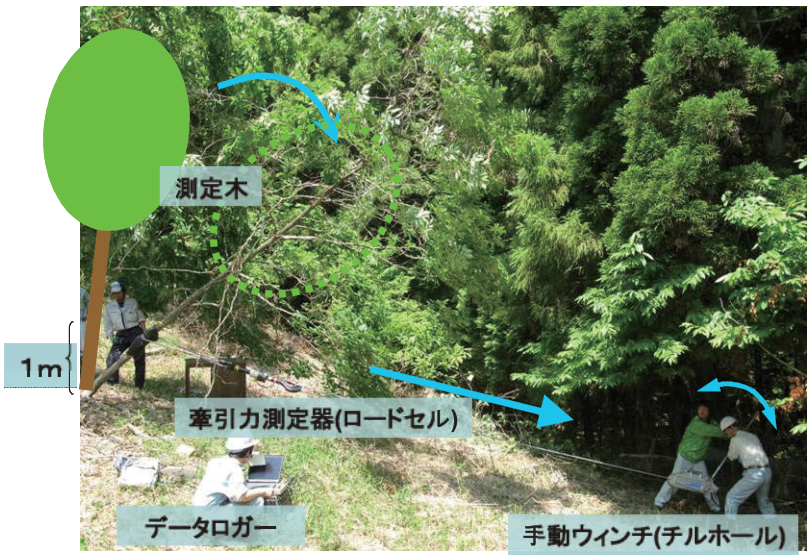
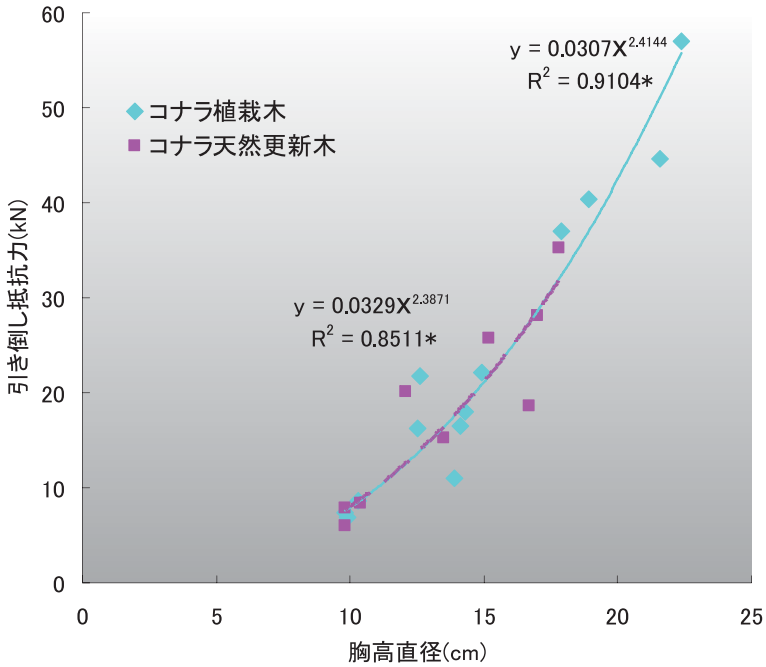


写真1　引き倒し試験の様子



＊決定係数は有意である　$p<0.01$

図1　コナラ植栽木と天然更新木の引き倒し抵抗力

3　ヒメカタショウロ（菌根性きのこ）を利用した初期成長が良いコナラ苗木

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　藤堂　千景

背景と目的

ヤシャブシやニセアカシア等は、窒素を固定し養分を貯え、土壌の改良が期待できる肥料木として長年治山事業で用いられてきましたが、旺盛な繁殖力により他の植生の自然回復を妨げる恐れから使用されなくなり、現在ではコナラ等の郷土種が用いられるようになりました。

しかし、コナラ等環境に配慮した樹種の植栽苗木は、肥料木に比べて山腹崩壊地や山火事跡地及び林道開設に伴う残土処理場におけるせき悪、乾燥等に対して、適応性や抵抗力が小さい状況にあり、緑化の成功率を高めるためにも苗木の活着性や生存率を高める必要があります。当センターでは、樹木と共生している菌（菌根菌）に着目し、菌根菌を感染させることにより、乾燥地でも生存し、低肥料でも初期生長が良い苗木の生産を目指しました。

1　菌根菌ヒメカタショウロとは

菌根菌は共生している樹木から光合成生産物をもらう替わりに、土中から水分や無機栄養塩を吸収し、樹木に与えることで生活をしています。その中でもヒメカタショウロはコナラなどブナ科樹種と菌根を作るニセショウロ属の菌根菌で、痩せ地や乾燥地などにも見られる事から、貧栄養や乾燥に強い性質を持ち、樹木への生育促進効果や耐乾燥耐性効果がより高いのではないかと思われます。

2　ヒメカタショウロの胞子懸濁液による感染方法

ヒメカタショウロ胞子懸濁液（子実体150gに対して300mlの水を加えミキサーで破砕したもの）を、殺菌土に播種したコナラ堅果に10ml散布し、23℃のインキュベータにて3ヶ月間育成したところ、すべてのコナラ実生にヒメカタショウロ菌根が形成されました（写真1）。このことから、胞子懸濁液からのヒメカタショウロ感染苗作成は比較的容易であることが分かりました。

3　菌根感染苗から実生苗への感染方法の検討

育苗箱（30cm×45cm）の中心にコナラ感染苗木を植栽し、その周りに10cmの間隔でコナラ、アベマキ堅果を播種し、栽培したところ（写真2）、9ヶ月ですべての苗木にヒメカタショウロ菌根が形成されました。また、菌糸は半年程度で20cmの伸長が可能であることが明らかになりました。

1m×0.5mの箱で播種間隔を変え、同様の試験を行ったところ、播種間隔20cmでも感染苗木が得られることが確認できました。

4　菌根菌感染苗の特徴（成長・乾燥耐性）

菌根の形成頻度と苗木の成長の関係を調査したところ、菌根が多くついたコナラの苗木は苗高成長が良い傾向が見られ、地際径成長は有意に大きい（$p<0.05$ Tukey法による多重検定）ことがわかりました（図1）。

また、コナラ感染ポット苗と未感染ポット苗を25℃明/暗12h/12h条件で培養し、暗期の木部圧ポテンシャルを測定したところ、感染苗の方が暗期の回復が大きい傾向が見られました。

同様条件で感染苗、未感染苗を1週間に1度の灌水条件で2ヶ月培養したところ、土壌含水率は1週間の間に半分ほどに低下した。この条件下で未感染苗は8/12が落葉し乾燥によるストレスを強く受けたと考えられたが感染苗に落葉は見られず、9本すべてが正常でした（表1）。このことから感染苗の方が乾燥耐性が高いことが示唆されました。

5　現地への導入試験

姫路市の山火事跡地、林道須留ヶ峰線の林道残土場に植栽したコナラ等の感染苗木、未感染苗木の成長は菌根感染苗の地際径成長が良好でした（$p<0.01$ t-test）（図2）。

これらのことから、コナラにヒメカタショウロを感染させると、成長が良く、乾燥耐性が高くなる傾向があり、その効果は現地に導入しても変わらないことがわかりました。今後は実用化に向けて取り組む予定です。

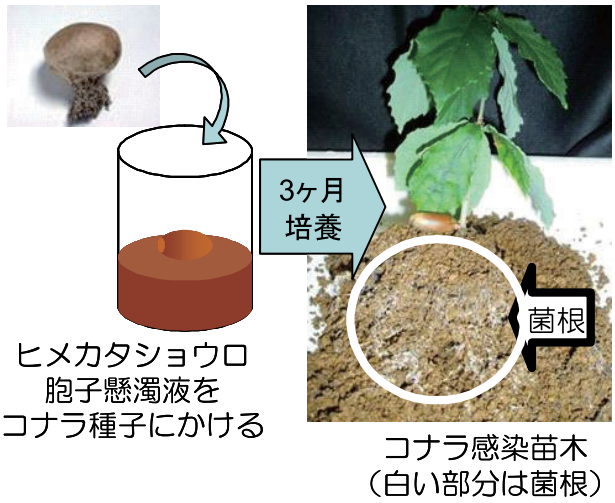


写真1　胞子懸濁液による感染

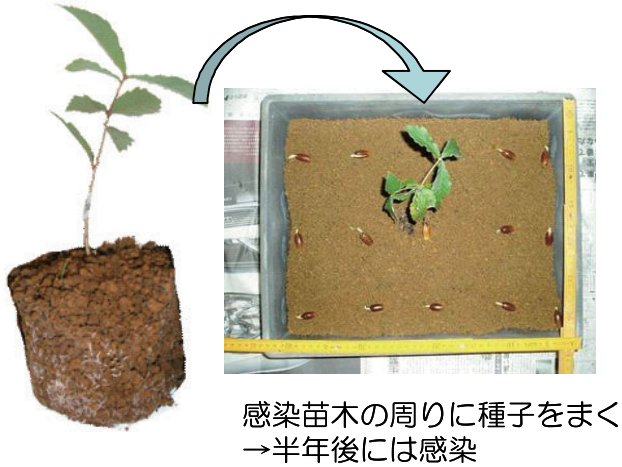


写真2　感染苗木による感染

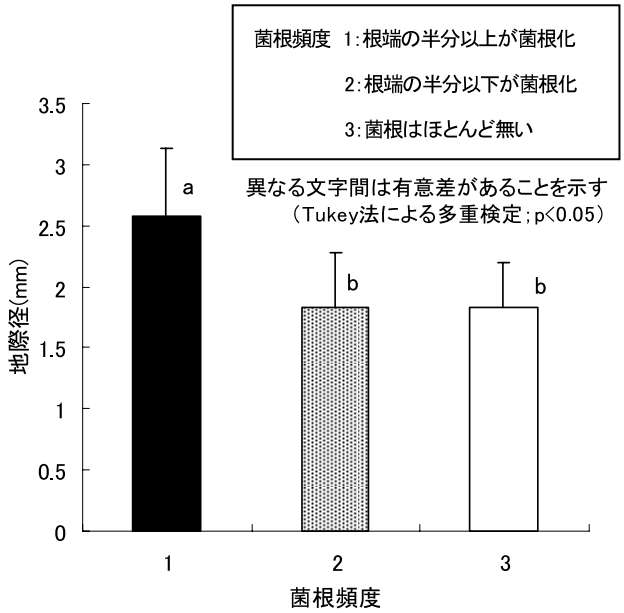


図1　菌根感染頻度と地際径成長

表1　菌根の有無による乾燥耐性の差異

	落葉苗	正常苗	供試苗数
菌根無し	8	3	11
菌根あり	0	9	9

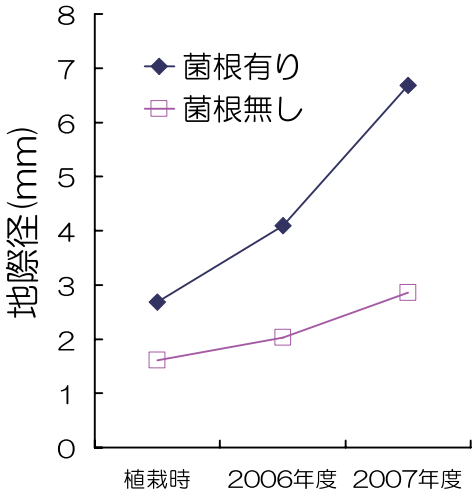


図2　現地に植栽したコナラ苗木の地際径成長

4　スギ林内への広葉樹樹下植栽による針広混交林への誘導

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　緑化センター
元所長　吉野　豊
所長　前田　雅量

背景と目的

森林の公益的機能を増進し，災害に強い森づくりを進めるために針葉樹人工林を針広混交林へ誘導する技術の開発が求められています。

そこで、強度に間伐した32年生のスギ林内へブナ、ミズナラ、ヤマザクラ、ケヤキを植栽し、光環境の経年変化と植栽木の生存率、成長量を調査しました。その結果、ブナやケヤキは林内照度が低下しても、成長量は減少せず、耐陰性の高い広葉樹を選んで植栽することによって、下草刈り等を軽減し、省力的に針広混交林へ誘導できることが明らかになりました。

1　試験地の状況（林内照度の経年変化）

スギ32年生人工林を強度に間伐（本数率56%：収量比数0.5）し、林内にケヤキ等４種の落葉広葉樹苗木を植栽しました。

林内の相対照度は、間伐直後には37%で、しばらくその低下は緩やかで３年後には32%でした。しかし、その後年数経過とともに急激に低下し、９年後には14%となりました（図１）。

2　樹種別の生存率

植栽した苗木は植栽６年後の2001年に初めて枯死木が発生しました。特に、ミズナラに枯死木が多く、樹種によって差がみられました。枯死率は林内照度が14%まで低下した植栽９年後の2004年には、ミズナラが50%以上と高く、ブナは低率でした（図２）。

3　樹種別の成長

樹種別の成長経過を図３に示しています。ミズナラは植栽直後から主軸の伸長成長が緩慢で枝が横方向に伸び、樹冠が傘形を示しました。相対照度が20%を下回る植栽６年後からは成長がほとんど停止しました。ヤマザクラは植栽した初期には成長が旺盛でしたが、林内照度が低下した植栽６年目頃から伸長成長が鈍化しました。

一方で、ケヤキとブナは林内照度が低下しても枯れる苗木が少なく成長は低下しませんでした。ブナの初期成長は他の全光条件下の試験地での生育状況をみると、多くの広葉樹に比べて著しく緩慢でしたが、この試験地では相対照度が低下し、他の広葉樹の成長が低下するのとは逆に旺盛な成長を示し、耐陰性が比較的高いことがわかりました。

4　下層植生の状況と下草刈りの省力効果

試験地の地表に生える植生の種数は、間伐前は23種でしたが、間伐２年後には56種と増加し、間伐により種の多様性が増加しました。しかし、林内照度が低いため、これらの植生の高さは低く、植栽した苗木の成長を妨げる植生は少なかったことから（図４）、下草刈りは植栽後３年目に１回実施しただけで済み、林外の裸地に植栽する場合に比較して省力的でした。

この結果から針葉樹林を強度に間伐して、林内に広葉樹苗木を植栽することにより省力的に針広混交林へ誘導できることがわかりました。

本研究の詳細は、「吉野　豊・前田雅量（2006）兵庫県立農林水産技術センター研究報告［森林林業編］53:1-9」をご覧ください。

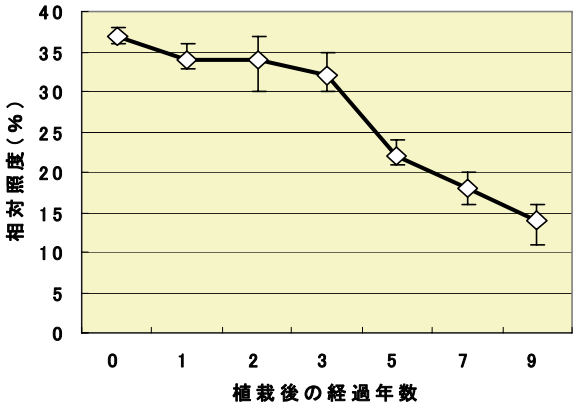


図1　林内照度の変化

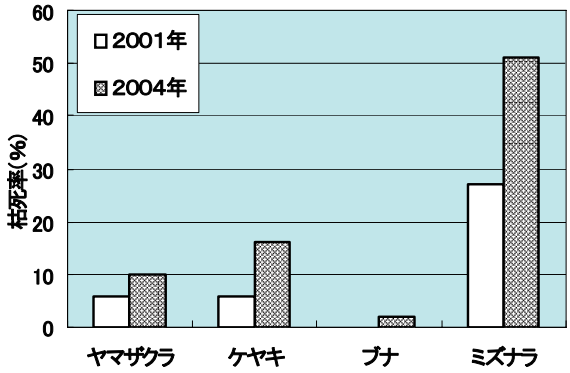


図2　樹種別の枯損率

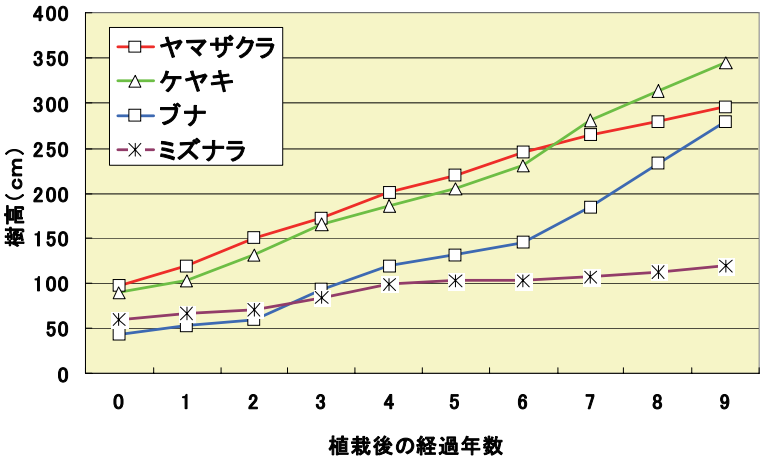


図3　樹種別の成長経過

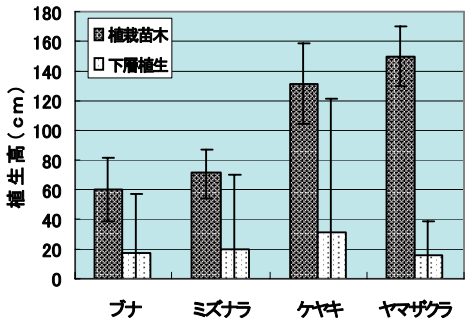


図4　植栽２年後の植栽苗木と下層植生の高さ

写真1　成長が旺盛なブナ

写真2　成長が停止したミズナラ

5　森林表土を利用して斜面を緑化する

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　山瀬　敬太郎

背景と目的

林道開設時の緑化に外来牧草を導入することが、在来植物の生育地を消失させたり改変させたりして、悪影響を及ぼしているとの指摘があります。また、外来生物法の施行により、外来植物の使用を避けるように努め、在来植物の遺伝的攪乱にも十分配慮することが求められています。

そこで、外来牧草を用いた従来の緑化工法が、在来植物の生育環境に及ぼす影響を把握するとともに、林道工事の際に現地で発生するものの、未利用であった森林表土に着目をし、㈱テクノグリーンや㈱テザックとの共同研究により、林道のり面での森林表土を用いた緑化技術の開発を行いました。

1　従来の緑化工法の影響

従来の工法で緑化が行われたのり面を調査したところ、緑化で用いた外来牧草は、施工後７～13年が経過しても優占しており、在来植物の生育を阻害し生物多様性を脅かしている場所が確認されました（写真１）。この結果は外来牧草が優占している場所ほど、周辺からの在来植物の侵入は少なく、生物多様性への影響が大きいことを示しています。

2　森林表土中の埋土種子

林床植生の植被率が異なるコナラ林とスギ植林地から森林表土を採取し、ガラス室内で撒きだし試験を行い、森林表土中に含まれる埋土種子の種類を調査しました。その結果、林床に植物がほとんど生育していないスギ植林地から採取した森林表土についても、発芽能力を持った種子が多く含まれており、緑化に用いるのに十分なポテンシャルを持っていることがわかりました。また、採取した森林表土を２㎜篩で処理することによって、得られた粒径の小さな表土は、汎用性の高い小型の吹き付け機で利用できるとともに、埋土種子密度（個数）が高まる傾向がみられました（篩処理有：17.7±3.5個／１Ｌ、篩処理無：8.1±3.4個／１Ｌ、ｔ検定、ｐ＜0.05で有意）。さらに、集落や伐採地など人為的攪乱を強く受けた場所に近接する森林表土中の埋土種子は、外来植物の種子が多く含まれることから、それらの種子が発芽・成長することによって、在来植物の生育に影響を及ぼす可能性が示されました。

3　森林表土の吹き付け施工

森林表土を用いた吹き付けの施工概念図は、図１に示すとおりです。盛土のり面で森林表土のみの吹き付けを行った結果、施工６ヶ月後（2004年４月施工、10月調査、以下同様）には24種（外来草本４種を除く）の自生種の生育と85～95％の植被率が得られました（表１）。切土のり面で森林表土の吹き付けを行った結果、施工６ヶ月後には70～90％の植被率が得られ、先駆性樹種（ヌルデ、ヤマハゼ、アカメガシワ）の種子を森林表土に追加することによって、より確実に植被率を高めることが可能となりました（表１）。以上のことから森林表土を活用した緑化工法は、初期の植被率が確保されるとともに、外来植物の生育を抑制することで在来植物の生育が可能となり、生物多様性が保全できることがわかりました。

本研究の詳細は、「山瀬敬太郎ほか(2004)日本緑化工学会誌30(1):316-319」「山瀬敬太郎ほか(2005)日本緑化工学会誌31(1):159-162」「関岡裕明ほか(2005)日本緑化工学会誌31(1):163-166」をご覧ください。

写真1　厚層基材吹付後9年目の状況（トールフェスクが被度95%で優占している、吹付種子はトールフェスク、クリーピングレッドフェスク、メドハギ）

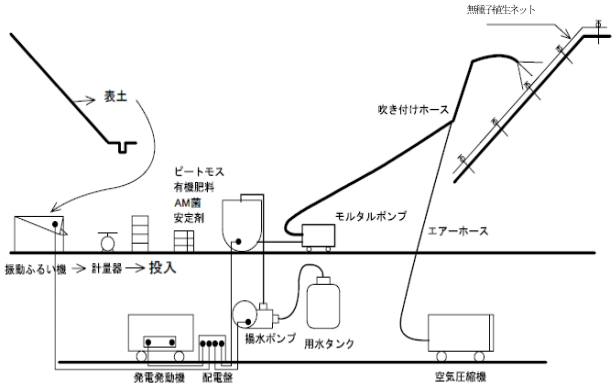


図1　森林表土吹き付けの施工概念図

表1　森林表土吹き付けによって出現した植物種（施工6ヶ月後）

植物名	被度% 盛土	切土 表土のみ	切土 種子追加
外来草本			
ｸﾘｰﾋﾟﾝｸﾞﾚｯﾄﾞﾌｪｽｸ	1		
ﾄｰﾙﾌｪｽｸ	1		
ﾊﾞﾐｭｰﾀﾞｸﾞﾗｽ	15		
ﾍﾞﾆﾊﾞﾅﾎﾞﾛｷﾞｸ	1	15	10
在来草本			
ｲﾜﾆｶﾞﾅ	15		
ｵｶﾄﾗﾉｵ	10		
ｵﾄｷﾞﾘｿｳ	0.05		
ｵﾆﾀﾋﾞﾗｺ	0.5	1	
ｶﾔﾂﾘｸﾞｻ		3	
ｶﾗﾑｼ	0.5	5	10
ｷﾗﾝｿｳ			0.2
ｸｽﾞ	3		
ｺﾅｽﾋﾞ	1		
ﾀｹﾆｸﾞｻ	2	45	25
ﾀﾈﾂｹﾊﾞﾅ		1	
ﾂﾕｸｻ	2		
ﾇｽﾋﾞﾄﾊｷﾞ	1		
ﾉｹﾞｼ	10		
ﾎﾀﾙﾌﾞｸﾛ	0.5		
ﾒﾋｼﾊﾞ			1
ﾖﾓｷﾞ	20		
在来木本			
ｱｶﾏﾂ	0.05		
ｱﾌﾞﾗﾁｬﾝ	0.05		
ｳﾂｷﾞ	2		
ｶﾗｽｻﾞﾝｼｮｳ	3		

植物名	被度% 盛土	切土 表土のみ	切土 種子追加
（在来木本の続き）			
ｸﾏｲﾁｺﾞ	0.5		25
ｸﾛﾓｼﾞ	0.5		
ｻﾙﾄﾘｲﾊﾞﾗ			0.5
ﾀﾗﾉｷ	5		
ﾅｶﾞﾊﾞﾓﾐｼﾞｲﾁｺﾞ			0.5
ﾇﾙﾃﾞ	0.05		10
ﾊｾﾞﾉｷ			5
ﾋﾒｺｳﾂﾞ			2
ﾐﾂﾊﾞﾂﾁｸﾞﾘ	1		
ﾑﾗｻｷｼｷﾌﾞ	0.5		
ﾔﾏﾈｺﾔﾅｷﾞ	1		
出現種数／4㎡	28	6	11
植被率%	95	70	90

写真2　切土のり面における森林表土の吹き付け6ヶ月後の状況

6　マツノザイセンチュウに抵抗性の強いアカマツ「播磨の緑」の品種登録

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　緑化センター
元所長　吉野　　豊　　所長　前田　雅量

背景と目的

松くい虫被害は、昭和54年度をピークとして、おおむね減少傾向にありますが、依然として大きな問題となっています。そこで、マツノザイセンチュウに抵抗性をもつアカマツ品種を育成するために、県下の松くい虫激害林から生き残っていた少数のアカマツ母樹を選抜し、それらから育成した接ぎ木苗のマツノザイセンチュウの接種検定を行いました。対照としたテーダマツより高い生存率を示した品種を植栽して、20年間にわたる自然条件下の抵抗性を追跡調査により、抵抗性の強いアカマツ品種を育成しました。この品種に「播磨の緑」と命名し、平成19年10月にアカマツとしては全国で初めて品種登録されました。

1　「播磨の緑」とは

松くい虫の被害防除として、薬剤散布に頼らずに、マツノザイセンチュウに抵抗性をもつマツの育成と植栽による環境にやさしい防除に期待が寄せられています。

昭和49～58年度にマツノザイセンチュウに抵抗性をもつ品種を育成するために、兵庫県下の松くい虫激害地（被害率90%以上）からの選抜育種を実施しました。

その中で、昭和55年度に選抜した１クローンが強度の抵抗性をもつことが明らかになりましたので、平成16年３月に「播磨の緑」と命名して品種登録を出願し、平成19年10月にアカマツとしては、全国で初めて品種登録されました。

2　「播磨の緑」の育成経過

「播磨の緑」は昭和55年度に兵庫県加西市の松くい虫激害地から選抜し、接ぎ木しました。平成57年度に接ぎ木２年生苗を鉢植えし、ガラス室の中で、マツノザイセンチュウの接種検定を行いました（写真１）。その結果、対照としたマツノザイセンチュウに抵抗性があるといわれているテーダマツよりも高い生存率（表１）を示しました。この接種検定でテーダマツよりも生存率の高かった10クローンを再度接ぎ木し、昭和59年度に緑化センター場内に植栽し、20年間にわたり成長や自然条件下でのマツノザイセンチュウ抵抗性を追跡調査してきました。

その結果、同時に植栽した他のクローンは次々に枯れて、ほぼ全滅したのに対し、「播磨の緑」だけは20年を経過してもザイセンチュウによる枯れはみられませんでした。さらに、選抜後25年を経過した選抜地でも、「播磨の緑」の母樹は依然として生存していることが確認できました（写真２）ので、品種登録を出願しました。

3　「播磨の緑」の品種特性と今後の普及

緑化センター場内に植栽された20年生木の形質を調査した結果、幹は通直完満で、樹冠は端正な円錐形であり、樹皮は赤褐色で比較的平滑、針葉は濃緑色で柔らかい触感をもち、典型的なアカマツの形態を示しています（写真３）。成長は中庸と思われます。なお、この抵抗性を完全に引き継ぐために接ぎ木による苗木増殖を計画していますが、平成17年３月に接ぎ木を行った結果では活着率が30%程度と他のクローンに比べて低く、育苗コストは相当高くなると思われます。そのため、多少の枯損は許容できる山林用ではなく、強度の抵抗性が要求される庭園、公園、ゴルフ場などへの修景緑化用としての利用がふさわしいと思われます。なお、現在緑化センター場内で、接ぎ木穂木採取用の苗木を育成中（写真４）です。

写真1　接ぎ木苗へのマツノザイセンチュウ接種検定（5000頭/本）

表1　マツノザイセンチュウ接種検定結果

樹種・品種	接種本数	生存本数	生存率（%）
播磨の緑	6	4	67
テーダマツ	50	30	60

写真2　選抜地の「播磨の緑」の母樹

写真3　緑化センター場内に植栽された「播磨の緑」の樹形

写真4　緑化センター場内に設定された「播磨の緑」採穂園の現況

7　里山林の植物多様性を保全する

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　山瀬　敬太郎

背景と目的

近年里山は、レクリエーションや生涯学習の場の創出、地域固有の郷土景観の維持、生物多様性の保全など新たな価値が見出されています。平成６年から兵庫県で実施している里山林整備は、コナラやアベマキなどの落葉樹の高木から構成される樹林を目指しており（服部ほか1995）、『兵庫方式』と呼んでいます。

この兵庫方式の効果や影響を明らかにするために、里山林整備後のモニタリング調査を実施し、また、整備後の維持管理手法を検討しました。

1　里山林整備前後の状況

『兵庫方式』による里山林整備の実施によって、林内や林床の光環境が改善され、新たに植物の生育空間が創出されました（写真１）。その結果、最も多いところでは里山管理後７年間で100㎡当たりの種数が53種の増加がみられました（表１、№５）。この種数の増加は、整備後５年目までは里山林整備を実施したほとんどの調査区でみられ、中には、自然の遷移に委ねた状況下で、整備後８年目まで種数の増加が確認できました。種数の増加が落ち着くのは、ヒサカキやコシダなどある特定の植物が再び優占してくる時期とほぼ一致していました。また種数の増加が落ち着いた後も、その種数はほぼ横這いで維持されていました。

以上のように、多くの調査区において里山林整備後に種数の増加がみられること、この増加傾向は最低でも整備後５年目までは継続されること、種数の増加が落ち着いた後も種数が急激に減少することがないことから、兵庫方式による里山林整備は植物の種多様性を高めるのに効果があると考えられます。

2　整備後の維持管理時期

当初の里山林整備だけでは、種数の増加は整備後５年目頃から横這いになってしまうため（図１）、整備後も適切な維持管理が必要です。そこで、整備後５年目の調査終了後に、再び優占してきたヒサカキ・ソヨゴなどの照葉樹やネザサ・コシダ・ウラジロを対象とした下草刈りを実施する調査区を設定しました。

その結果、種数の増加が少なくなった時点で下草刈りを実施した調査区では、再び種数の増加がみられました（図２）。頻度の高い下草刈りの実施は種数の増加につながらないことを考え合わせると、ある特定の植物が優占し始め、種数の増加が鈍る時期を目安に下草刈りを行い、年数で言うと、５～６年に１回程度の選択的な下草刈りを行うことによって、種多様性はふたたび増加するものと考えられます。里山林整備後の種多様性確保のための維持管理手法については、維持管理に関わる関係機関および団体等に公表し、実際の管理作業において実施されているところであります。

以上述べてきたように、兵庫方式の里山林整備とその後の維持管理は、夏緑高林の植物の種多様性を保全する観点から適した手法と言えます。

本研究の詳細は、「山瀬敬太郎・服部保・三上幸三・田中明（2005）ランドスケープ研究68（5）：655-658」「山瀬敬太郎（2005）プランタ№101:26-32」「山瀬敬太郎（2007）山林№1476:32-39」をご覧ください。

写真1　兵庫方式による里山林整備前後の状況（左／整備前、右／整備後）

表1　里山林整備前後の種数（100㎡当たり）の経年変化

植生区分	調査区No.	種数										増加種数
		整備前	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	
アカマツ林	1	20	18	19	21	20	20	19		19	20	0
	2	19	21	25	29	28	28	22	23	23		4
	3	34	41	47	53		55		53	56		22
	4	20	22	32	40		46		49	53		33
	5	57	69	84	90	94	103	109	110			53
	6	38	37	43	49	52	54	54	54	63		25
コナラ林	7	41	40	45	46		48		47	45		4
	8	47	45	56	50	59	54	51	57	60	53	6
	9	38	41	46	50	58	64	67	69	72	73	35
	10	39	45	60	63	69	79		82		80	41
	11	26	35	41	47		50		51	60		34
	12	32	37	49	61	62	63	69	74	79		47
	13	30	36	49	56	53		68		65	66	36
	14	25	35	53		57		61	60			35
	15	35	38	38	44		47		31	41		6
	16	41	44	47	53		49		47	52		11
	17	54	56	60		63		65	69			15
ウバメガシ林	18	22	35	43		40		36	27			5
	19	19	25	29	36	45		48		44	46	27
	20	12	15	16	17	16		16		17	17	5

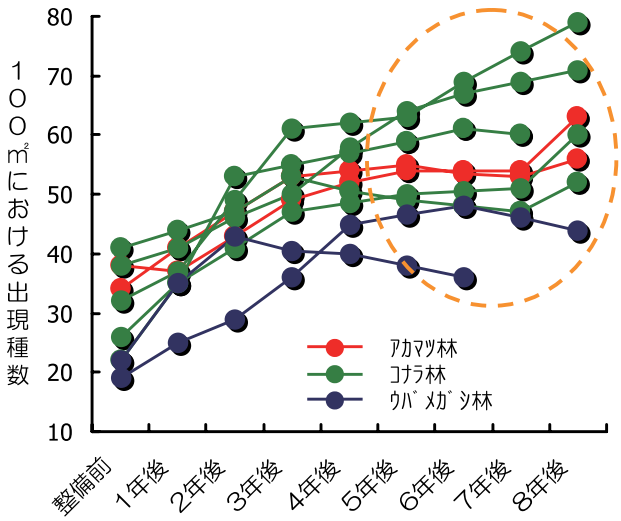


図1　種数増加の頭打ち

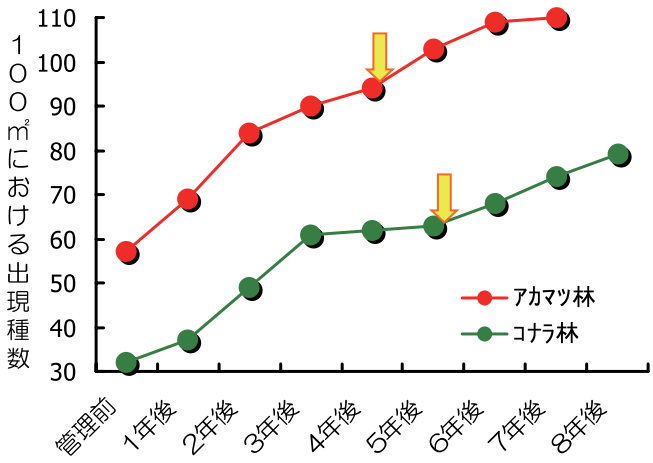


図2　適度な管理による種数の増加

8　森林を生育場所とする絶滅危惧植物の保全

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター
元緑化センター所長　吉野　豊
資源部主任研究員　山瀬　敬太郎
緑化センター所長　前田　雅量
元資源部主任研究員　上山　泰代

背景と目的

開発、乱獲、環境の悪化等により、生物多様性の喪失が地球的規模で大きな問題となっており、持続可能な社会の構築に向けて生物多様性の保全とその持続可能な利用が課題となっている。

森林を構成する兵庫県版RDBに記載されている22種について、現地での生育・繁殖状況を調査し、絶滅に追いやる原因を明らかにするとともに、現地での保全技術、苗の増殖・移植管理技術を明らかにし、冊子にとりまとめました。

1　対象植物の選定

兵庫県版レッドデータブックに記載されている森林を構成する植物のうち、緊急性が高いと思われる22種（表１）を選定し、現地保全技術と増殖等による現地外保全技術を開発しました。

2　生育・繁殖実態の解明

自生地での環境条件等を調査した結果、植物を絶滅に追いやる原因として以下のことが考えられました。①開発による自生地消失や観賞を目的とした大量採取による圧迫（22種中ナツエビネ等5種）、②薪炭材などの採取を目的とした伐採利用が行われなくなり、光環境が悪化したために現存個体が枯死（ナツアサドリ等7種）したり、後継樹が生育しない場合（ニシキウツギ等13種）や、後継樹が生育できる場所が消失した場合（アカヤシオ等6種）、あるいは他種との競合に負けてしまう場合（クリンソウ等3種）、③ニホンジカなどの動物の食害（サラサドウダン等7種）

3　現地保全技術の開発

これらの原因を取り除くために、以下の調査を実施しました。①コウヤミズキ、サラサドウダン、アカヤシオ等8種について、開花に必要な相対照度（相対日射量）を明らかにしました。②ニシキウツギ、ヤブウツギ、カタクリ等5種について、鹿等防護柵の設置によって現地保全が可能であることを明らかにしました。③アカヤシオ、オオイタヤメイゲツ等6種について、実生（萌芽）更新の可能性とその阻害要因を明らかにしました。

4　現地外保全技術の開発

現地外で後継樹を育成し現地に植栽、あるいは現地外で保全するために、①ヨコグラノキ、クリンソウ、コヤスノキ等11種について、種子の結実特性、発芽促進法等を調査し、実生繁殖技術を明らかにしました。②メグスリノキ、オオイタヤメイゲツ等7種の挿し木繁殖技術を明らかにしました。③ニシキウツギ等3種の現地移植を行い、高い生存率が得られることを確認しました。

これらの成果は後述の手引き書を作成するとともに、各種団体の保全活動の支援を行いました。

本研究の詳細は、「兵庫県森林林業技術センター・兵庫県豊かな森づくり室（2007）豊かな里山林の回復と再生をめざして～里山林の貴重植物保全の手引き～」、「山瀬ら（2004）兵庫県立農林水産技術センター研究報告［森林林業編］51:8-12」、「吉野ら（2005）同上　52:1-14」、「山瀬ら（2006）同上　53:56-58」「山瀬ら（2002）ランドスケープ研究65（5）:483-486」、「山瀬ら（2005）保全生態学研究10:195-199」をご覧ください。

表1　試験実施種

ランク	木本植物	草本植物
A		クリンソウ、ナツエビネ
B	シリブカガシ、サラサドウダン、オオイタヤメイゲツ、ヨコグラノキ、コウヤミズキ、アカヤシオ	クマガイソウ、キクガラクサ
C	メグスリノキ、タマミズキ、ムクロジ、ナツアサドリ、コヤスノキ、ニシキウツギ、センリョウ、ヤブウツギ（'95第1次）、トサノミツバツツジ	カタクリ、エビネ、チトセカズラ

写真1　光環境の悪化（林床のシリブカガシ稚樹：相対照度2%）

写真2　サラサドウダンの稚樹とチマキザサの繁茂およびシカによる剥皮害

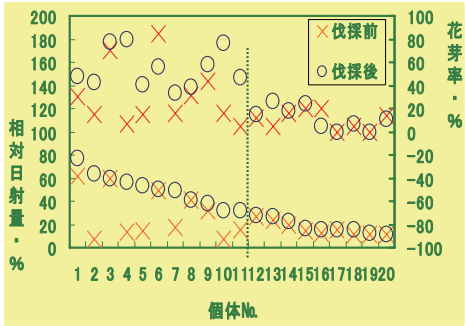


図1　トサノミツバツツジ個体ごとの伐採前後の相対日射量の変化と花芽等の変化

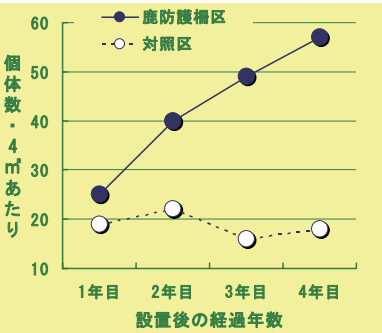


図2　カタクリ自生地での鹿防護柵設置の効果

写真3　サラサドウダン実生苗の育成

写真4　県民参加によるニシキウツギの植栽

9　六甲山系での稀少種ヤブウツギの保全活用

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　山瀬　敬太郎

背景と目的

兵庫県の六甲山系は植物相の多様性が高く、分布限界地に近い植物が多くみられる地域ですが、土砂災害の歴史が古く、以前から治山や砂防の堰堤建設が行われてきました。しかし、堰堤建設時に生じた裸地の初期緑化は、六甲山系が国立公園に指定されているにもかかわらず、近年、地域生態系への影響が指摘されている外来種で行われる例がほとんどでした。

そこで、六甲山系特有の地域生態系に配慮した緑化植物として、兵庫県版レッドデータブックにも記載されている稀少種ヤブウツギを選定し、その導入方法と導入後の生育状況を調査しました。

1　稀少種ヤブウツギの特徴

六甲山系においてヤブウツギ（写真１）は、多様な環境に生育しており、また、兵庫県内の生育地がほぼ六甲山系に極限していることから、兵庫県版レッドデータブックにも記載されている希少種でした。

2　導入方法の検討

堰堤(えんてい)建設時の裸地へのヤブウツギの導入方法として、ポット苗の移植、直挿しと直播きの３手法を検討しました。苗移植は、1999年12月に採取した種子を３月下旬にまきだし、育成した当年生苗302本（平均苗高28.1cm）を、2001年３月、堰堤周辺の裸地に移植しました。直挿しは、2001年３月に採穂した穂木（長さ約15cm）を用い、発根促進処理をした後，200本を直挿ししました。直播きは、2000年12月に採取した種子を３月下旬に約3,000粒を播種しました。

導入方法の違いによる活着率（発芽率）と年間樹高成長量を比較したところ（図１）、苗移植では活着率が高く、成長量も大きい傾向がみられました。直挿しでは活着率が苗移植よりも劣るものの，成長量は最も大きい傾向がみられました。一方、直播きでは発芽率は低いものの、発芽後の成長については、苗移植や直挿しと比較して極端に遅くはありませんでした。

3　導入後のヤブウツギの生育

従来の緑化手法が適用された六甲山系の堰堤周辺では、外来牧草やフサフジウツギ等の外来種が優占する傾向がみられました。一方、ヤブウツギを導入した場所では、ヤブウツギ群落が成立し、導入後２年目にして開花結実がみられる個体も確認されました（写真２）。その結実率は導入後２年目10.9%、３年目26.5%でした。

こうした堰堤建設時の裸地へのヤブウツギの導入は、ヤブウツギ個体群の保全にもつながるものと期待しています。

4　郷土産の郷土苗を用いた緑化

移植に用いたポット苗は、六甲山の自生地で採取した種子から養成したもので、六甲山の長い歴史の中で生まれ育った、正真正銘の六甲山産ヤブウツギを用いています。こうした郷土産の郷土苗の養成は『芦屋森の会2001』と協力で、ヤブウツギの種子採取、栽培と増殖を行うことによって可能となりました（写真３、写真４）。

本研究の詳細は、「山瀬敬太郎・田中義則・上山泰代(2002)ランドスケープ研究65(5):547-550」「山瀬敬太郎(2007)ランドスケープ研究70(4):326」をご覧ください。

写真1　ヤブウツギの開花
（芦屋市石仏谷）

写真2　ヤブウツギの苗移植による緑化施工地
（芦屋市石仏谷）

写真3　ヤブウツギの種子採取
（西宮市船坂谷）

写真4　ヤブウツギの栽培・増殖
（森林林業技術センター苗畑:宍粟市）

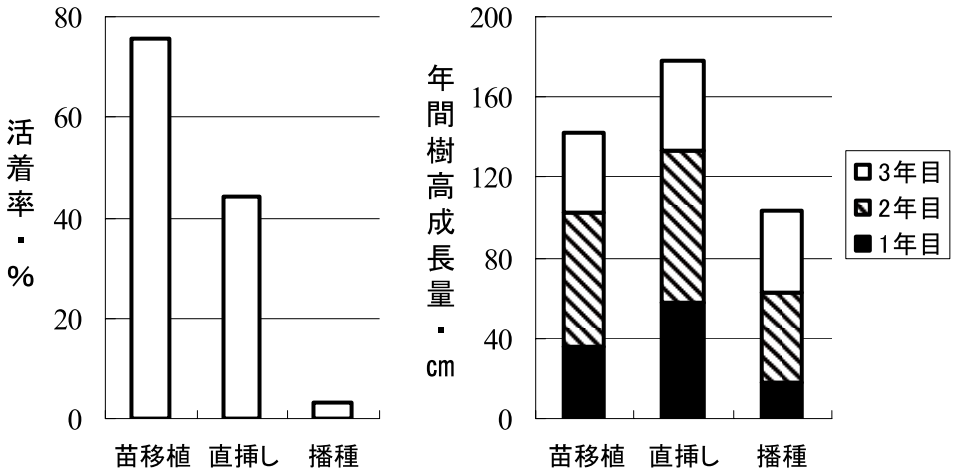


図1　活着率と年間樹高成長量の比較

10　花粉の少ないスギ品種の普及

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　塩見　晋一

背景と目的

スギ・ヒノキの花粉症が全国的に社会問題化してもう既に長期間が経過しています。近年、林野庁からスギ花粉発生源対策重点区域が指定され、京阪神地域では兵庫県内にもいくつかの地域が指定されました。これに対し、兵庫県では花粉症対策の一環として、将来花粉の少ないスギの苗木を養成し、山に植林する際はこの苗木を使っていこうという計画を立てました。

具体的には、花粉の少ないスギの採種園を造成しているところです。この採種園から生産される種子を配布し、花粉の少ないスギの苗木を山に植えて、それが成長して、というように成果が現れるまで非常に長期間を要する仕事です。

森林林業技術センターは花粉の飛散量を少しでも減らすため、地道な活動を続けています。

1　少花粉スギ品種の選抜

スギの花粉症対策品種として、雄花は生成されますが、全く花粉を形成しない無花粉品種が全国でいくつか発見されています。また、いくら花粉を飛ばさないスギと言っても、品質の悪い品種を植栽したのでは林業本来の目的である良質材生産とかけ離れてしまいます。

そこで、兵庫県で従来使用してきた精英樹スギの中から比較的花粉の少ないスギを選抜する作業にとりかかりました。兵庫県内に設定して25年が経過した挿し木スギの次代検定林において、3年間雄花着生量を調査しました。その結果を図1に示します。

図1を見れば、美方2号、美方3号という品種には全く雄花着果が認められませんでした。さらに、独立行政法人林木育種センターでは、全国のスギ精英樹の中から雄花着生量の少ない品種を選抜して、公表しています。その中には美方2号、美方3号以外にも神崎7号、神崎8号、神崎15号の計5クローンの県内産品種が含まれています。

2　少花粉スギミニチュア採種園

現在造成を進めている少花粉スギの採種園は、従来のタイプと異なり、「ミニチュア採種園」といって、採種木を密植し、樹高を低く仕立てる採種園です。出来るだけ早く種子生産することを第一義に考えた結果です。しかし、同採種園は採種木が小さいため作業効率が非常によいという長所をもつ反面、整枝・剪定など集約的な作業が要求されることや、10年程度で植え替える必要があるなどの欠点も指摘されています。

将来的にはミニチュア採種園から従来の採種園に切り替える計画も視野に入れ、既存のスギ採種園の若返りを図ることも考えています。

当初、約1.2haの規模でミニチュア採種園を造成する計画で、平成22年の春には約3分の1程度の植栽が完了しました。導入品種は13品種となりました（写真1）。

3　採種園造成に必要な「接ぎ木」技術

採種園の造成には採種木の養成が必要であり、採種木はすべて接ぎ木で増殖・養成しますから、採種木養成には接ぎ木作業が不可欠です。採種園造成の一連の作業で、この接ぎ木作業が一番手間のかかる作業といっても過言ではありません。何故かというと、接ぎ木には特殊な技術と経験が要求されるからです。

一般的にスギの場合、最もシンプルな「割り接ぎ」法（写真2）で行います。しかし、近年では接ぎ木の機会もほとんどなく、林業職員でも実際に接ぎ木を経験した職員は数えるほどしかいません。そこで、今回の機会を活用して、もう既に退職されたOBの方々の指導により、広く林業関係職員への技術伝承を行いました。（写真3）。また、スギ品種によって接ぎ木活着率に差が認められました（図2）。

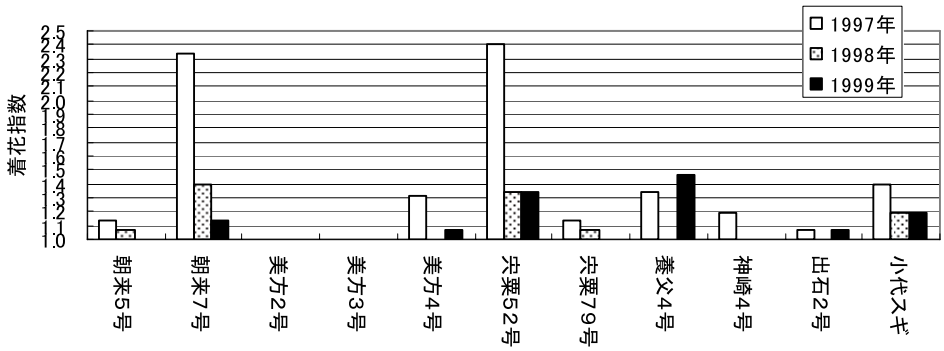


図1　スギ品種別着果指数
（養父町次代検定林）

写真1　植栽が完了した少花粉スギ採種園
緑化センター（朝来市山東町）

写真2　熟練を要する接ぎ木作業

写真3　接ぎ木技術の伝承研修

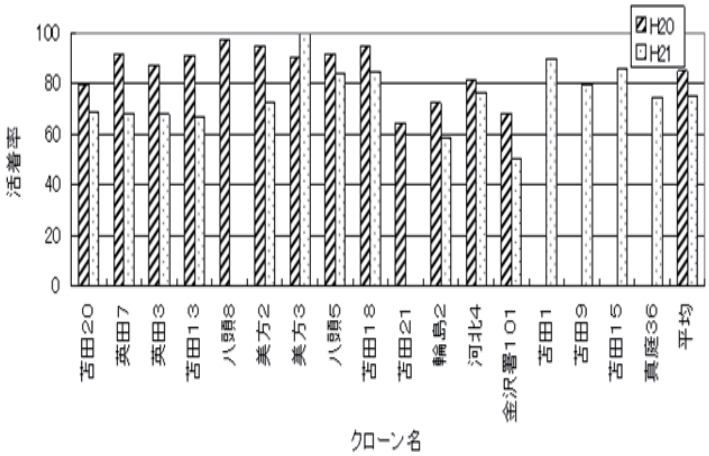


図2　品種別接ぎ木活着率

11　アカマツ林内でのホンシメジの林地栽培

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　藤堂　千景

背景と目的

ホンシメジはキシメジ科シメジ属の外生菌根菌であり、アカマツやブナ科樹種と菌根を作り生活をしています。昔から「香りマツタケ味シメジ」として商品価値の高いきのことしても知られており、今でも丹波地域などでは天然のホンシメジが高額で取引されています。

ホンシメジの主な発生林分であるアカマツ林は、1960年代の燃料革命およびマツノザイセンチュウによる松枯れにより激減しており、兵庫県内でも減少の一途をたどっています。アカマツ林の減少に伴い、ホンシメジの発生量も減少しており、前述の一部地域以外ではほとんど流通していません。そこで、当センターでは商品価値が高いホンシメジを林内にて人工栽培する試験を行いました。

1　埋設に用いた菌床作成方法

ホンシメジを栽培するには、菌床の作成が必要です。そのため、ホンシメジ菌床の作成方法を検討しました。ホンシメジ菌糸を培養するための培地は赤玉土を基材とした土壌培地で、栄養源としてフスマとグルコース、酵母エキスを添加しました（表1）。菌床の作成は、土壌培地をシイタケ1.5kg菌床用フィルター付きポリプロピレン袋（以下P.P.袋）に500gずつ入れ、120℃90分で高圧滅菌した後、ホンシメジ菌糸を接種し、23℃で培養して作成しました。

2　菌床埋設方法

試験地は兵庫県丹波市の実生由来のアカマツ林です。尾根部から中腹の南向き斜面に位置しており、海抜200～250m、傾斜25°～27°、土壌はBD（d）、表層地質は粘板岩です。林齢は、試験開始時にはおよそ35～40年生（壮齢林）とおよそ10年生（若齢林）でした（写真1）。アカマツの密度は壮齢林で約1,400本/ha、若齢林で約4,800本/haで、いずれの林分も高木層はアカマツだけで構成されており、低木層は壮齢林ではコバノミツバツツジ、ソヨゴ、ネジキ、シャシャンボ、若齢林はソヨゴのみでした。アカマツ林床のA0層およびA層は、埋設時に掻き取り林外へ持ち出しました。

埋設方法は、アカマツ林内に深さ15～20cm程度の穴を掘り、アカマツ細根を露出させ、露出したアカマツの根に接するようにP.P.袋から出した菌床を並べ、再び埋め戻す方法をとりました（写真2）。掘り返す際に傷ついた根は剪定ばさみで切りそろえ、埋め戻す際には赤玉土を使用しました。埋設時期は害菌の影響が少なく、アカマツの根の成長停止期である12月と3月の冬期から初春にかけて行ないました。

3　ホンシメジ子実体の発生

ホンシメジ子実体は、10月下旬～11月上旬に発生しました（写真3）。発生は、その年の温度や降雨量に左右されますが、一度ホンシメジ菌糸が活着すると、数年間にわたり発生することがわかります（表2）。

菌床を埋設してから発生までに要する期間はおよそ1.5年の箇所が多く、9箇所中4箇所であり（表3）、埋設してから2年経過で発生した箇所と併せると、9ヵ所中5ヵ所で埋設後2年以内に発生が見られました。しかし一方で、埋設後4年以上経過して発生した箇所も見られました（表3）。

このことから、林内に菌床を埋設してホンシメジを発生させる場合、通常であれば2年以内に子実体発生が見られますが、気温や降水量等の状況によっては2年以上経過した後に子実体が発生する場合があることがわかりました。

4　ホンシメジの発生が可能な林分は？

今回、壮齢林と若齢林に菌床を埋め込み、いずれの林分でも発生を確認しました（表3）。しかし、別の試験地の50年生以上のアカマツ林では発生していません。このことから、ホンシメジ発生には林齢が関わっている可能性も考えられます。

表1　ホンシメジ菌床培地材料

培地材料*1	重量(g)
赤玉土(小粒)	10,000
フスマ	700
グルコース*2	20
酵母エキス*2	5

*1　含水率65%になるように水を加える
*2　混ざりやすくするため予め水に溶かしておいた

写真1　試験地の様子(左:壮齢林　右:若齢林)

写真2　菌床埋め込みの様子

写真3　ホンシメジ発生の様子

表2　ホンシメジ発生の経年変化

林分	地点	植菌日	菌床数	2004				2005		2006		2007		2008		2009	
				発生日	本数	発生日	本数	発生日	本数	発生日	本数	発生日	本数	発生日	本数	発生日	本数
壮齢林	02-a	2002/12/24	3	6/4	1	10/29	8							11/5	5	11/5	8
	02-b		3			10/29	10					11/8	2	11/5	3	10/25	2
	03-a	2003/3/11	3			10/29	21	11/10	2	10/24	2						
	03-b		3			10/29	7					11/8	8	11/5	10		
	04-a	2004/3/19	2											11/5	3	11/5	1
	04-b		2			10/29	1					11/8	12	11/5	10	11/5	3
	05	2005/3/24	1	—	—	—	—					11/8	6	10/22	12	11/5	3
若齢林	06	2006/3/9	1	—	—	—	—	—	—							11/5	1
	07	2007/3/17	1	—	—	—	—	—	—	—	—			10/22	3	11/5	7
発生箇所数/発生可能な箇所数				1/6		5/6		1/7		1/8		4/9		7/9		7/9	
1箇所あたりの平均発生本数				1.0		9.4		2.0		2.0		7.3		6.2		3.5	

表3　埋設箇所別の発生までの経過年数

地点	発生までの経過月数	およその経過年数*
02-a	17 ヶ月	1.5 年
02-b	22 ヶ月	2 年
03-a	19 ヶ月	1.5 年
03-b	19 ヶ月	1.5 年
04-a	55 ヶ月	4.5 年
04-b	7 ヶ月	0.5 年
05	31 ヶ月	2.5 年
06	43 ヶ月	3.5 年
07	19 ヶ月	1.5 年

*経過年数は0.5年単位で表記

12　ハタケシメジ「波賀のめぐみ」の林内栽培

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　藤堂　千景

背景と目的

中山間地域の収入源としてきのこは魅力的な商品であり、直売所用の商品として、市場に流通している商品と競合せずに、栽培が容易で美味しいきのこ商品が求められています。そのきのこ商品の有力種の代表としてはハタケシメジが挙げられます。ハタケシメジは「味シメジ」で有名なホンシメジの近縁種で、クセのない旨味としゃきしゃきとした歯ごたえが特徴です。

当センターでは兵庫県内各地から採取したハタケシメジ野生株の中から、姿形や味が良く、栽培に適した品種を選抜し、平成15年2月に「波賀のめぐみ」という名で品種登録を行ないました。そして、安易な栽培方法である林内栽培方法を確立し、「波賀のめぐみ」の商品価値を高める発生方法を提案しました。

1　ハタケシメジとは

ハタケシメジはキシメジ科シメジ属の腐生性のきのこです。天然では10月上～中旬頃に遊歩道沿いや林道端などで群状に発生している姿が見られます。シイタケなどと異なり、ハタケシメジは他の菌が腐朽した後の材を栄養源とするため、原木栽培やおがくず培地での菌床栽培が適応できず、栽培方法が模索されていました。しかし近年、バーク堆肥（木の皮を原材料とした堆肥）を基材としたハタケシメジの培地が考案され、栽培が可能となりました。ハタケシメジ栽培は恒温恒湿室があれば施設による通年栽培も可能ですが、施設を整備するための多額の初期費用が必要です。したがって、当センターでは、手軽な栽培方法として、特殊な施設を必要とせずにスギ林内などを発生場所として利用できる林内栽培について検討しました。

2　ハタケシメジの野外栽培方法

図1にハタケシメジ林内栽培の流れを示しています。兵庫県内でハタケシメジの林内栽培を行う場合、秋か春の発生が見込めますので、10月中旬頃に収穫したい場合は、9月の上旬までに、また、5月の中下旬頃に収穫したい場合は4月の上旬頃までにハタケシメジ菌床を埋設する必要があります。

3　商品価値を高める栽培方法

林内栽培は、誰でも手軽に行うことができる利点がある一方、発生時期が決まっており、集中発生することや、傘の裏に土が付いたり、石突きにバーク堆肥や土を巻き込んだりして商品価値が低下するといった欠点もあります。今回はその欠点の一つである商品価値の低下を防ぐために、ハタケシメジの商品価値を高める栽培方法について検討しました。

ハタケシメジの傘の裏に土が付く理由としては、散水時の水滴が地面の土を跳ね飛ばし、傘のヒダ間に土が入る事が挙げられます。したがって、傘の裏の土を防ぐためには、水滴が地面に直接当たらないようにすることが有効です。当センターでは、散水時に水が直接地面に当たらないように、不織布をかけ栽培することを考案しました（写真1）。この栽培方法をとると、子実体全体に土が付きにくくなることがわかります（写真2）。また、不織布をかけて栽培することで、子実体の菌柄が長くなる事もわかりました（写真2、図2）。このことは、商品価値が下がるもう一つの理由である石突きの土の巻き込みを防ぐことは困難ですが、菌柄を長くすることで、土を巻き込んだ石突きを排除しても可食部が大きくなる利点があり、商品価値を高める事がわかりました。

4　今後の課題

現在、ハタケシメジの林内栽培は普及段階であり、様々な方に栽培いただいている最中です。栽培を重ねることで、新たな課題や、よりよい栽培方法が生まれてくると思われます。今後は、栽培者の方のご意見を聞きながら、栽培普及に努めたいと思います。

図1　ハタケシメジ「波賀のめぐみ」の野外栽培方法（秋発生）

写真1　カンレイシャの下に不織布を敷き発生させる方法

写真2　不織布の被覆の有無と発生した子実体

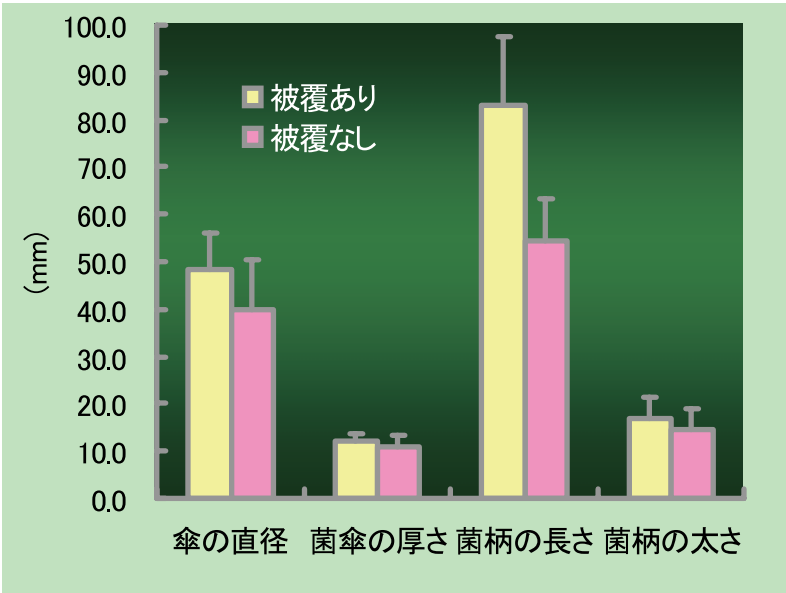


図2　不織布による被覆が子実体に与える影響

13　木材の調湿・断熱性能評価

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　木材利用部
主任研究員　永井　智

背景と目的

兵庫県では現在、「公共施設等木造・木質化50%作戦」をはじめ、県産木材の利用を積極的に推進する施策を展開しています。このような中、当センターでは、今後の木材利用促進に向けての一層の普及啓発に役立てることを目的に、「兵庫県木材利用技術研究会」から「木材の調湿・断熱性評価」の研究を委託されました。そこで、研究会員から提供された木材十数種等を用いて、身近な温熱環境条件下において４項目の試験を実施しました。

1　調湿性能試験

デシケータを環境試験室内に設置し（写真1）、室内の温度を変動させました（5～35℃、春夏秋冬を想定）。デシケータ内に鋼材を設置した場合と試験体なしの場合は湿度が大きく変動したのに対し、木材を設置した場合は70%RH前後に維持されていました（図1）。

2　吸湿重量変化試験

環境試験室内に木材試験体*を設置し、温度一定（20℃）で湿度を65→92%RHに上昇させた際の吸湿重量変化を追跡しました。湿度を上昇させた直後から試験体の重量はすみやかに増加する傾向にありました。平衡含水率が10%増加する上述の環境下において、例えば6帖一間の周囲に高さ1mの腰壁を設置した場合、厚み1cmで3.0～5.4kg、厚み2cmで4.7～10.5kgの水分が吸着可能と試算されました。

*:10×10×1あるいは2cm厚の板目材。図1の凡例に示された8樹種9個体（計18個体）。側面はシリコンゴムにより密封処理。

3　熱伝導率試験

15樹種24個体の熱伝導率は90～160（$\times10^{-3}$・W/mK）の範囲でした（図2）。コンクリート（1,000※）、鉄（83,500※）やアルミニウム（236,000※）より1～4桁も熱伝導率が小さい木材は、人が触れた際に急激な熱移動が起こりにくいため、触感を快適に保つために有効と考えられました。

※:理科年表

4　内部調湿性能試験

試験容器（デシケータ、スギ2体、発泡ポリスチレン）を環境試験室内に設置し（写真2）、室内の温湿度を変動させました（5～35℃・45～85%RH、図3）。容器内の湿度は、スギのみ試験期間を通じて60～70%RHと変動が小さく、スギがきわめて高い調湿機能を発揮していることが確認されました（図4）。

5　成果の活用

「兵庫の林業242号（2007）」、「兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告（森林林業編）第55号（2008）」等に成果を掲載するとともに、委託元の研究会から普及用パンフレット「委託研究報告　木材の調湿・断熱性能評価　活用しよう木材の調湿・断熱効果」が発行されております。詳しくは当センターにお問い合わせ下さい。

デシケータ周囲（環境試験室）の温度を変動させると、デシケータ内の温度が変動することによって湿度も変動する。試験体（20℃・65%RH 環境下で平衡）をデシケータ内に設置した場合、湿度がどのように変動するかについて検討した。
試験体寸法：長さ 10×幅 20×厚さ2cm（板目材）
温湿度センサー：TR-72U、（株）ティアンドデイ

写真1　調湿性能試験の実施状況

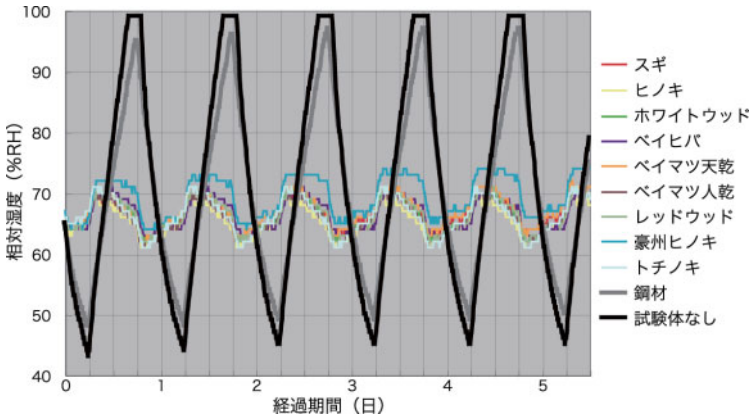
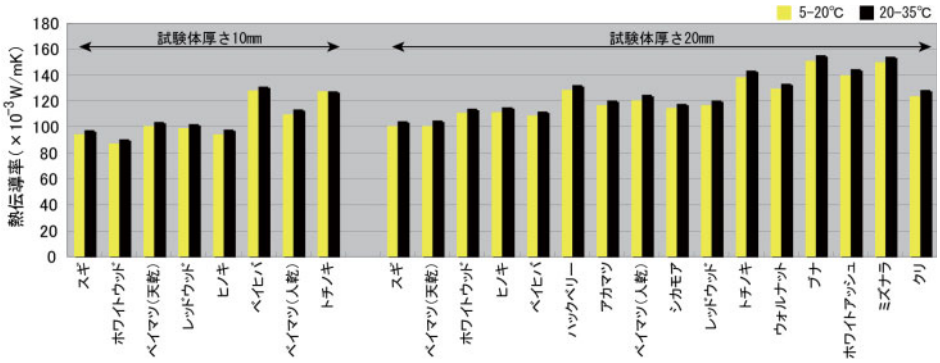


図1　デシケータ内の湿度変動



試験体（20℃・65%RH 環境下で平衡）を熱伝導率測定装置に設置。上面温度5℃ー下面温度 20℃、および上面温度 20℃ー下面温度 35℃に設定した時の熱伝導率を測定した。
試験体寸法：長さ 20×幅 20×厚さ 1or2cm（板目材）
熱伝導率測定装置：HC-074、英弘精機（株）

図2　熱伝導率

試験容器（20℃・65%RH 環境下で平衡）を環境試験室に設置。環境試験室の温湿度を変動させた時、容器内の湿度がどのように変動するかについて検討した。
試験容器内寸法：幅 224×奥行 200×高さ 170mm
スギおよび発泡ポリスチレンの壁厚：30mm

写真2　内部調湿性能試験の実施状況

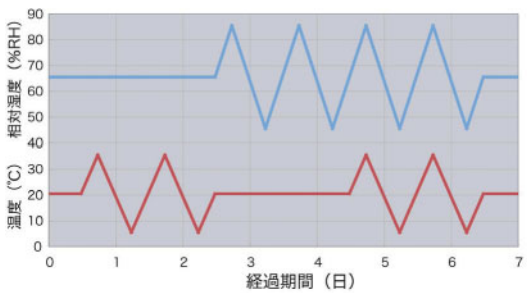


図3　試験容器周囲の温湿度設定条件

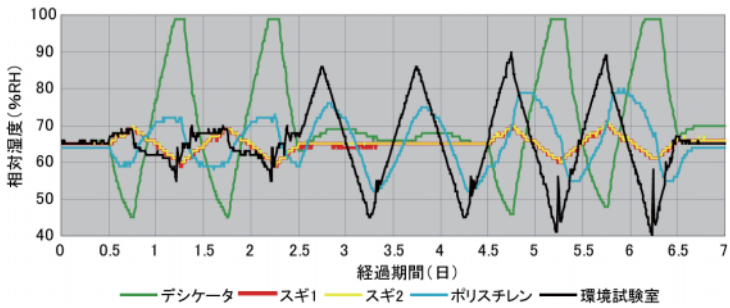


図4　試験容器内外の湿度変動

14　梁材を用途としたスギ大断面材の速くて損傷の少ない乾燥方法の提案

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　資源部
主任研究員　山田　範彦

背景と目的

木造住宅のユーザーは、住環境の点から無垢材嗜好が強く、地元の木を用いた在来工法住宅のニーズが高まっています。また戦後、植際されたスギ人工林が主伐期に達してきており、やがてこれらのニーズに対応できるスギ材の供給が可能になると考えられます。しかし、スギ材の難乾燥性がネックになっており、特に梁材等の大断面材について、どのように乾燥させるかが問題となっています。一方、当センターにおいて、スギ心持ち材を高歩留まりに乾燥する方法として、木口面の長さ方向に貫通する孔を設けて（中空材）乾燥する方法を開発してきました。この方法について梁材を用途としたスギ大断面材の乾燥に応用し、これらの材の新たな乾燥方法を提案しました。

1　有限要素法による乾燥応力の推定

心持ち材の木口面の中心に長さ方向に貫通する孔を設けて（中空材として）乾燥させることによって、半径方向に大きく収縮して接線方向の収縮拘束が緩和され、また外周面だけでなく孔壁面からも乾燥が進行するために半径方向の水分傾斜が小さくなり、その結果表面の引張応力が低減し、割れの発生量が減少します（図1）。このことを有限要素法による熱弾性解析によってスギ心持ち中空材に発生する乾燥応力をシミュレーションし、梁材等の大断面材（平角材）における割れ防止のための適正な貫通孔の位置や形状について検討しました。

まず、心持ち円筒材、同正角材、同平角材における収縮異方性によって発生する乾燥応力を有限要素解析しました（図2）。乾燥割れ発生に関係する引張応力は円筒材では外周部分一様に、正角材では各辺中央部4ヵ所、平角材では長辺中央部2ヵ所に発生する解析結果となり、平角材を実際に乾燥した際、この部分に乾燥割れが多く発生する結果（図3）とよく一致しました。したがって、中空平角材の肉厚の最も薄い部分に割れが発生することになり、収縮異方性によって発生する引張乾燥応力を貫通孔によって緩和するためには、この肉厚部分を円筒材や正角材よりもさらに薄くしなければならないことが判明しました。この部分は木材に曲げが発生する使用条件では、最大せん断応力が発生する部分であるので、乾燥方法についてさらなる検討が必要であることが分かりました。

2　高周波の前処理と熱気乾燥

中空平角材の長辺中央部分に発生する乾燥割れを防止するために、まず高周波加熱によりこの部分の相対的水分量を増加させ、その後熱気乾燥によりドライングセットをかけて乾燥させることとしました。中空平角材を高周波加熱すると貫通孔の存在がエアギャップとなり、長辺中央部分の温度が最も低くなります。そのため、他の部分と比較して、この部分の乾燥の進行が遅れて相対的に含水率が高くなります。したがってその後熱気乾燥すると、含水率が高いためドライングセットがかかりやすくなり、この部分を大きく収縮させて割れを防ぐことができます。いろいろな乾燥条件を検討した結果

①最も温度が上がる貫通孔の上下部分の孔壁面に近い部分が95℃になるよう高周波加熱を制御して、全体の含水率が約50%になるまで乾燥する。

②初期より95℃,30%で熱気乾燥すると、貫通孔の左右部分が相対的に含水率が高いため大きく収縮し、乾燥割れを防ぐことができる。

120mm（幅）×180mm（梁せい）で貫通孔径60mmの中空平角材を約72時間（3日間）で、割れがほとんど発生することなく含水率約15%までこの方法で乾燥させることが可能であることが分かりました。

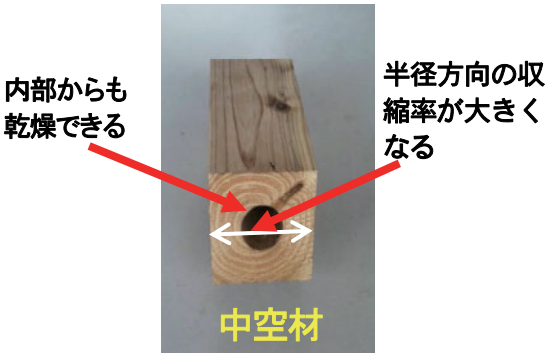


図1　貫通孔の効果

図3　平角材に発生する乾燥割れ

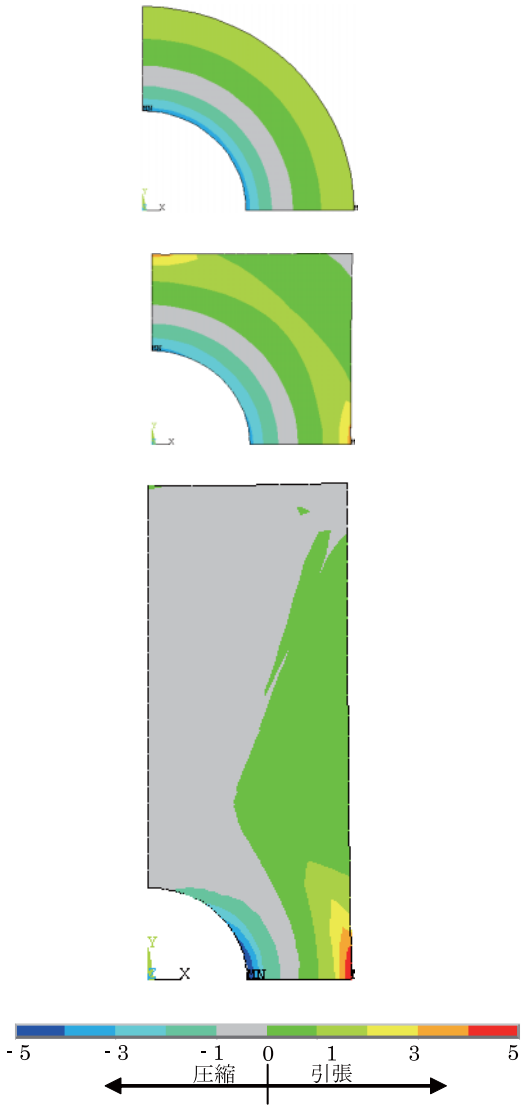


図2　乾燥応力の分布
（有限要素法によるシミュレーション）

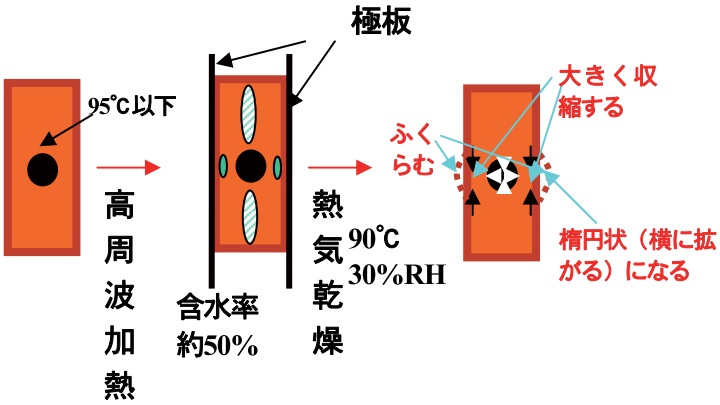


図4　中空平角材の高周波加熱＋
熱気乾燥

15　木造住宅部材の適正含水率の把握と測定技術の向上

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　木材利用部
主任研究員　山田　範彦

背景と目的

住宅部材（内装材、柱材、梁材等）は水分管理によって割れ、そり等が発生するため、製品毎の品質管理が必要であると考えられます。しかし、仕上がり含水率の目標値については、使用環境（室内の温湿度等）からではなく、製材歩留まりから決められる場合がほとんどです。その理由として、地域別（県北部、中央、南部等）や部位別（2F天井、2F床または1F天井、1F床等）における温湿度の通年変化を測定した例が少なく、それに対応した部材毎（梁、柱、土台等）の平衡含水率が明確になっていないことが考えられます。そこで、兵庫県下の地域別および建物の部位別の温湿度を3カ年にわたって測定し、それに対応する平衡含水率から仕上げ含水率の提案とそれを精度よく測定できる木材水分計の開発を目的としました。

1　県下各地域および各部位における温湿度の季節変化

県下3地域（加古川市、宍粟市山崎町、養父市　図1参照）において、各建物の1F床、1F天井または2F床、2F天井に写真1に示す温湿度データロガーを2007.7～2010.6までの3ヵ年にわたって設置し、各地域、各部位における温湿度の経年変化を測定しました。設置場所の位置と建物の概要について、表1に示します。

2　平衡含水率

木材を大気中に長期間放置すると大気中の水分と平衡状態（水分の出入りがなくなる、平衡含水率）になります。したがって、大気の温湿度によって平衡含水率が決定されます。

3ヵ年にわたり測定した各地域、各部位の温湿度を月単位で平均値を求めました。これに対応する平衡含水率を各地域、各部位における木造住宅部材の含水率と推測しました。その一例を表2に示します。これらの値の3ヵ年にわたる平均値を連続してプロットしました（図2）。このグラフから次のことがわかりました。

①1～2,7～8月に平衡含水率が高くなる。
②平衡含水率は養父＞宍粟＞加古川で北の方、特に冬に平衡含水率が高くなる
③部位別には1F床＞1F天井・2F床＞2F天井で建物の下の方が平衡含水率は高くなる。
④平衡含水率の範囲は10～16%で、平均の13%に仕上げておくと寸法変化が少なくてすむと予測される。

3　電極の改良

高周波木材水分計の指示値と全乾法で求めた含水率値との間にどの程度の相違が生じているかを検討しました。その結果、高周波式木材水分計が指示した含水率値と木材全体の全乾法による含水率値はかなりの相違とばらつきがみられ、これは水分計指示値は木材内部の高含水率部分の値をほとんど反映しておらず、表面から20mm～30mm内側までの平均含水率を示していることが原因であると分かりました。そこで、木材内部の高含水率を測定できるように、高周波の電気力線が隣り合う2側面に配置した水分計を想定し、通常の水分計よりも深い部分の含水率が測定できないか検討しました。スギ生材において、隣り合う2側面と向かい合う面にそれぞれ10MHzの高周波を印加した際のインピーダンスがほぼ同じような値を示しとことから、このような電極配置をした水分計は従来の水分計よりも内部まで含水率が測定できる可能性を示しました。その際電極の木材との接触面は曲面にすること（写真2）、電極をおさえる圧を一定にすること（写真3）が必要であることが分かりました。

表1　建物の概要

地　域	概　　要
加古川市	木造軸組工法１戸建て
宍粟市山崎町	ＲＣ造半地下　２Ｆ木造
養父市	民家

表2　地域別、部位別の温湿度（8月月平均、3年間）

	加古川			宍粟			養父		
部位	温度	湿度	平衡含水率	温度	湿度	平衡含水率	温度	湿度	平衡含水率
1F 床	28.8	72.0	14.0	27.2	70.7	15.1	27.0	75.3	15.4
2F 床	29.4	70.0	13.1	28.7	65.8	12.3	27.8	72.5	14.8
2F 天井	31.4	68.8	12.2	30.4	61.1	10.8	29.0	70.4	13.9

図1　測定地域

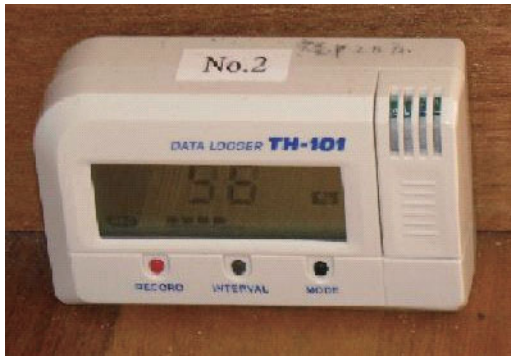


写真1　温湿度データロガー

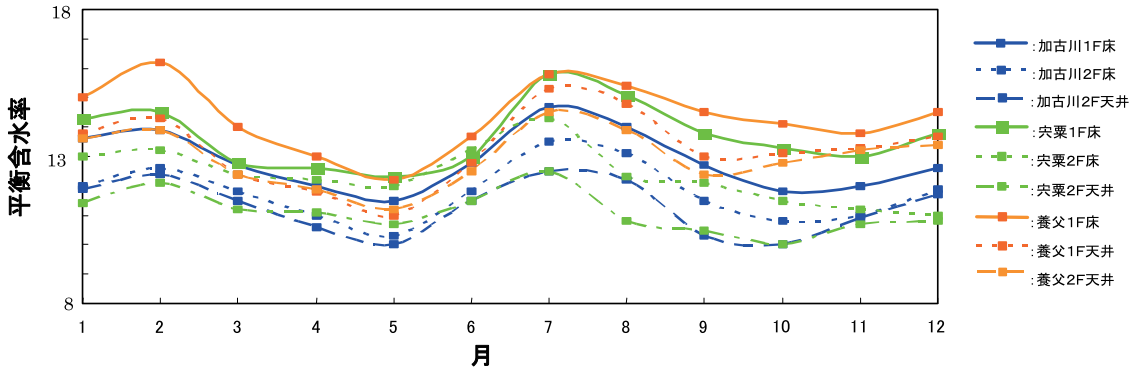


図2　平衡含水率の月変化

写真2　電極の形状

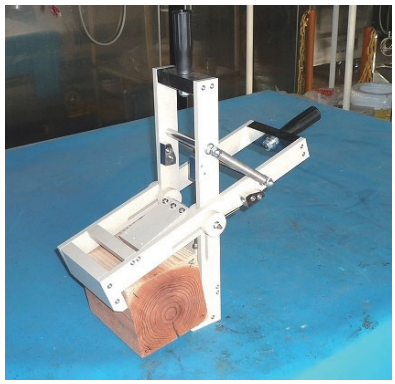


写真3　試作した電極

16　県産スギ無垢材によるエンジニアードウッドの生産技術

- エンジニアードウッド（強度性能が保証された構造用材）-

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　木材利用部
主任研究員　永井　智

背景と目的

平成12年度に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行されるとともに「建築基準法」が大きく改正されました。その結果、木材の品質性能（強度、乾燥等）が重要視されるようになり、製材業界等では寸法や強度性能が保証されたエンジニアードウッドを供給する必要性が増してきました。そこで、他の針葉樹材と比較して強度が相対的に低く、かつ材質のばらつきが大きいスギ材について、樹幹内での強度分布特性や、丸太と最終製品における強度相関性等の実証データを蓄積することによって、製材業界等が強度性能の保証された無垢構造用製材を効率的に生産、供給するための技術支援を行っています。

1　曲げヤング係数・曲げ強さとは

曲げヤング係数とは、材に曲げ荷重をかけた時のたわみにくさを表した数値であり、数値が大きいほどたわみにくい性質を備えています。また、曲げ強さとは、材の折れにくさを表した数値であり、数値が大きいほど折れにくい性質を備えています。基本的に、たわみにくい材ほど折れにくいという関係があります。曲げ強さは材を破壊しないと測定できませんが、曲げヤング係数は材に少しの荷重を加えることで、非破壊的に測定することができます。

さらに、1）材の木口面をハンマーで打撃した時に得られる固有振動数、2）材長、3）材の密度、を測定する手法によっても、材のたわみにくさを推定することができます。これにより得られた数値は「縦振動法による動的ヤング係数」といい、実際に曲げ荷重を加えて求めた曲げヤング係数とよく近似するため、実用上は動的ヤング係数を曲げヤング係数として採用することも可能です。この手法はH22年度竣工の（協）兵庫木材センター（宍粟市一宮町）に導入されています。

2　樹幹内の曲げヤング係数分布

曲げヤング係数は1）髄付近から樹皮側へと増大する傾向にあること、2）地上高が高くなるほど髄付近から大きな値を備え、さらに樹皮側へと増大していることを確認しました。つまり、例えば同じ寸法の心持ち角材を製材した場合、元玉よりも2、3番玉から得た製材品の方が曲げヤング係数は大きい傾向にあります。同様の観点で板材の場合を考えると、元玉よりも2、3番玉から、髄付近よりも樹皮側から製材した板材ほど曲げヤング係数が大きい傾向にあるといえます。

3　市場流通材の強度性能

市場に流通している県内産スギ構造用製材（約1,400本）の動的ヤング係数を測定しました。たわみやすい材からたわみにくい材まで、非常に大きなばらつきをもつことがわかりました。

4　高強度の構造用製材を生産する技術

上述のようにスギ材の強度性能には大きなばらつきが存在します。一方、建築学会ではスギ製材品のヤング係数の基準値を6.9kN/mm^{2}として構造計算が行われています。そこで、建築側の基準値を満足する製品を安定供給する手段として、丸太段階での縦振動法による動的ヤング係数と、そこから得られた製材品の動的ヤング係数との相関性を検討しました。そして、8kN/mm^{2}以上の動的ヤング係数を備えた丸太を適寸で製材すれば、6.9kN/mm^{2}以上の性能を備えた構造用製材の安定供給が可能であることを実証しました。

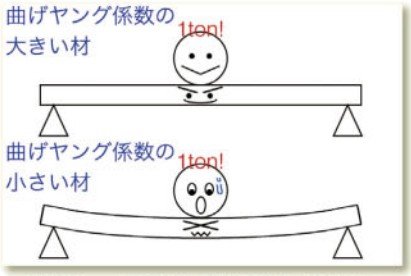
詳細は「兵庫県産スギ材の材料性能　-　エンジニアードウッド生産技術マニュアル　-」に記載しておりますので、当センターまで資料請求願います。

強度（曲げ強度）のポイントは大きく分けて二つ。
・たわみにくさ　曲げヤング係数と呼ばれる。
・折れにくさ　曲げ強さと呼ばれる。

「曲げヤング係数」の表示（単位）：○○（kN/mm²）
・・・○○の数値が大きいほどたわみにくい

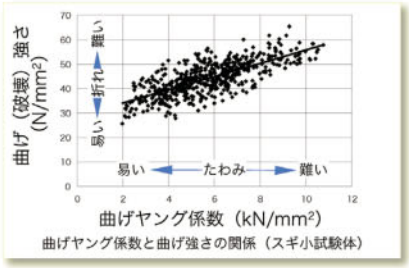
「曲げ強さ」の表示（単位）：□□（N/mm²）
・・・□□の数値が大きいほど折れにくい

曲げヤング係数とは？



曲げヤング係数とは荷重をかけた時のたわみにくさを表した数値

曲げヤング係数大≒曲げ強さ大



曲げヤング係数と曲げ強さの関係（スギ小試験体）

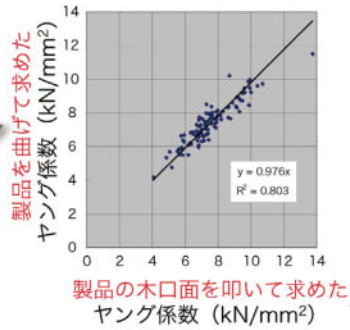
基本的に・・・たわみにくい材は折れにくい
折れにくさ：折ってみないとわからない・・・・
たわみにくさ：少し曲げただけで（材を壊さずに）測定できる！

実大材の曲げ試験

①試験を積み重ねる
②たわみにくさ－折れにくさの関係データを蓄積する
③少し曲げただけで（材を壊さずに）折れにくさが推定できる

たわみにくさは曲げなくともわかる

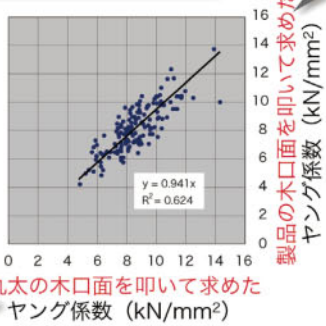
実際に曲げてヤング係数を測定



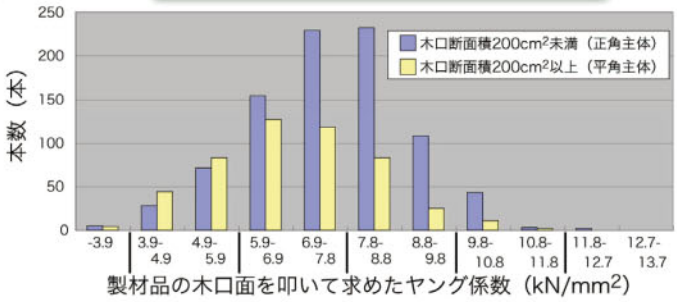
「寸法・重さ・音」からヤング係数を測定

丸太を叩いても（製材を行う前でも）製材品のたわみにくさは推定できる

「寸法・重さ・音」から
ヤング係数を測定



県産スギ製材品のたわみにくさ



格外 | E50 | E70 | E90 | E110 | E130

「針葉樹の構造用製材JAS」の機械等級区分表示

たわみやすい材からたわみにくい材までさまざま

個々の丸太の強度性能を合理的に活用する技術

丸太の木口面を叩いて　強い丸太は強度を必要とする構造用材に
弱い丸太は強度性能が求められない造作材に　製材する

17　県産スギ材を活用した強度性能の高い集成材生産技術の開発

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　木材利用部
主任研究員　永井　智

背景と目的

木造住宅において県産スギ材の使用割合を増加させるためには、材積の大きな横架材への利用を拡大することがきわめて有効です。しかし、木造軸組工法住宅の横架材にはベイマツやスプルースといった外材製品が主用されている現状にあり、スギ材が利用されている事例はまだわずかに過ぎません。また、クレームの少ない住宅や住宅部材へのニーズが高まる結果、住宅メーカーや工務店の間では集成材の需要が急増してきました。そこで、1）県産スギ材で安定生産が可能な構造用集成材（中断面）のグレードとその生産技術を明確にするとともに、2）地域企業の技術を応用し、通常のスギ材のみでは製造が極めて困難であった高グレードの構造用集成材（スギ圧密ラミナ複合集成材）の生産技術を開発しました。

1　県産スギ材で安定生産が可能な構造用集成材（中断面）のグレードとその生産技術

（1）丸太等級区分とラミナヤング係数の関係

宍粟市内産丸太（150本）の動的ヤング係数と、そこから得たラミナ（942枚）の曲げヤング係数との関係をもとに、丸太段階での強度に基づく仕分けの有効性について検討しました。

無垢の構造用製材の場合、通常1本の丸太から1本の心持ち角材を製材するため、それらの相関は高く、丸太段階での強度等級区分が有効であると考えられました（本誌「県産スギ無垢材によるエンジニアードウッドの生産技術」参照）。これに対し集成材用の場合、1本の丸太から複数のラミナを生産する（本試験では元玉で平均7.6枚、二番玉で平均4.9枚）ため、丸太が大径になるほど髄付近から樹皮側に至るラミナのヤング係数のばらつきが大きくなりました。よって、縦振動法による丸太の等級区分は、曲げヤング係数の大きいラミナを効率的に抽出するための手段としては必ずしも有効でないと考えられました。

（2）通常の構造用集成材（中断面）の生産効率性

全ラミナ（942枚）の曲げヤング係数度数分布や頻度分布等をもとに、JAS対称異等級構成集成材（中断面、120×240mm（30mm×8層））の生産を想定し、曲げヤング係数の大きいラミナを優先的に活用しつつ余剰ラミナの発生を抑えたシミュレーションを試みました。その結果、①丸太の等級区分を行わず、強度等級E75-F240のみを生産すると余剰材は0.5%（5/942枚）、必要強度未満の使用不可材は3.5%（33/942枚）、②丸太等級区分を行う場合、動的ヤング係数が7kN/mm^{2}以上の丸太を選別（全体の39.3%）し、E85-F255のみを生産すると、余剰材は1.1%（4/354枚）、使用不可材は1.7%（6/354枚）、③7kN/mm^{2}以上あるいは8kN/mm^{2}以上の丸太を選別した場合でも、E95-F270の主力生産は実質不可能、と試算されました。

以上の結果から、通常生産されるラミナでJAS対称異等級構成集成材（中断面）を生産するためには、丸太の強度等級区分を行わず、E75-F240の安定生産を目指すことが最も効率的であると結論づけました。

2　スギ圧密ラミナ複合集成材の生産技術

地域企業の技術を応用し、ラミナを圧密処理することによってたわみにくくした上で、それらを圧密処理していないラミナの上下層に張り合わせた「スギ圧密ラミナ複合集成材」の生産技術を開発しました。実大曲げ試験により、この集成材は市場に流通している外材製品と同等グレード（JAS対称異等級構成集成材（中断面）E105-F300やE120-F330）のたわみにくさをもつことを実証しました。実用化に向けてはJAS認定取得や量産ライン整備等の問題が残されていますが、通常のスギ集成材よりも著しく曲げヤング係数の大きいスギ単一樹種集成材として、県産スギ材の横架材への利用可能性を大きく高めました。

【背景・目的・成果】クレームの少ない住宅や住宅部材へのニーズが高まる結果、住宅メーカーや工務店の間では集成材の需要が急増してきました。しかし、県産スギ材を活用した集成材の製造事例はこれまでほとんどありませんでした（H17課題化検討時）。そこで、県産スギ材で安定生産が可能な構造用集成材（JAS・中断面）のグレードとその生産システムを明確にしました。さらに、地域企業の技術を応用し、通常のスギ材のみでは製造が極めて困難であった高グレード（E105-F300やE120-F330相当）の構造用集成材（スギ圧密ラミナ複合集成材）を開発しました。

兵庫県産スギ材で安定生産が可能な構造用集成材（JAS・中断面）のグレードを明確に

丸太の強度測定、等級区分（150本）

等級区分ごとに製材、乾燥（942枚）

等級区分ごとにライン投入

モルダー加工

曲げヤング係数を測定

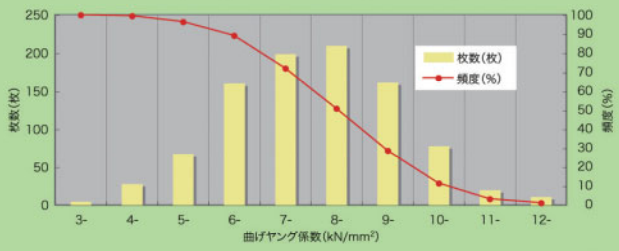


図1　全ラミナの曲げヤング係数度数分布・頻度分布（n=942、平均値：8.02kN/mm²）
頻度：○kN/mm²以上のラミナが全ラミナに占める割合.

通常ラミナのみを使用した対称異等級構成集成材
120×240mm（30mm×8層）を想定、試算：
丸太の強度等級区分を行わず、E75-F240（表1の□）のみを生産することが最も高歩留りである

表1　JAS対称異等級構成集成材（幅120×厚さ240mm、30mm×8層を想定）を製造するために必要なラミナの等級と枚数

強度等級	L140	L125	L110	L100	L90	L80	L70	L60	L50	L40※	L30※
E120-F330	2		2		4						
E105-F300		2		2		4					
E95-F270			2		2		4				
E85-F255				2		2		4			
E75-F240					2		2		4		
E65-F225						2		2	4		
E65-F220※						2		2		4	
E55-F200※							2		2		4

※改正JAS（平成19年9月25日告示）にて追加

□：通常ラミナで安定生産が可能と試算されたグレード
□：圧密ラミナ複合集成材にて曲げ性能を確認したグレード

通常のスギ材のみでは製造が極めて困難であった高グレードの構造用集成材を開発

ラミナの圧密処理

実大曲げ試験

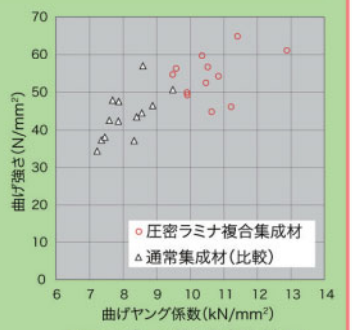


図2　実大曲げ試験結果

開発したスギ圧密ラミナ複合集成材：
E95-F270、E105-F300、E120-F330（表1の□）に相当するグレードの曲げ性能を確認

【技術の活用】県内2社のスギ集成材JAS認定取得の支援を行いました。さらに、通常集成材や圧密ラミナ複合集成材の生産技術・開発技術について、技術研究会や協力企業等を通じて普及、情報発信を進めています。
　本課題により、農林水産ビジョン2015「県産木材の利用促進と効率的な木材生産」に向けた県産スギ材の材料性能に関する一連のデータ整備（前課題で柱角・平角、本課題で板類）が完了しました。これらの成果をもとに、県内木材業界や建築業界、県産木材供給センター等に対し、強度的な品質管理技術の普及指導を進めています。

18　木質バイオマスを用いた多様な再生利用製品の開発

兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター　木材利用部
主任研究員　石坂 知行

背景と目的

製材工場では端材やおが屑、樹皮などの副産物が大量に発生します。これらは家畜の敷料や堆肥などにされるほか、ボイラー燃料としても多く利用されています。このようなエネルギー利用は化石燃料の使用量を削減する観点からたいへん有効と言えますが、資源を更に有効に利用するためには、まずは材料として利用し、最後に燃料にする「カスケード利用」が求められています。

本研究では、これらの副産物を資源として捉え、更に有効に利用するために新たな用途の検討を行いました。

1　木粉を配合した保水性舗装用ブロックの開発

おが屑をφ1mm以下に粉砕した木粉をセメント、骨材に混合し、振動、圧力を加えて成型することで、保水性を有する舗装用のコンクリートブロック（インターロッキングブロック）を試作しました（写真1）。

保水性、曲げ強度の評価を行った結果、10cm×6cm×20cmのブロックに100gの木粉を配合することで、社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会が定める保水量と吸い上げ高さを得ることができました。また、曲げ強度も平均で4.6N・mm^{-2}あり、歩道で用いる場合の規格値3.0N・mm^{-2}を上回りました。

路面の温度上昇を緩和する機能を調べるため、実験室内で光照射試験を行った結果、木粉を100g配合した試験体は、市販されている一般のインターロッキングブロックと比べてピーク時の表面温度が6.7℃低く、温度上昇を抑制する効果が確認されました（図1）。試作品の使用が都市部のヒートアイランド現象の緩和に有効であることが示唆され、県内の施設で実際に使用されました（写真2）。

2　樹皮を利用した土木資材の開発

繊維状に破砕したスギの樹皮に約2%（重量比）の熱融着性繊維を混合、攪拌したものを成型し、100℃の恒温器で加熱することで、柔軟で保水性、通気性を有する資材を作成しました。規格は10cm×6cm×50cm、約1.45kgと軽量で工事現場でも容易に運搬が可能です（写真3、4）。

現在、この資材を治山工事等の現場で法面の侵食を防ぐために活用することを検討しています（写真5）。

従来は筋状に外国産の植物を生やす方法が多く用いられていましたが、地域固有の自然環境を保全するため、近年は使用できる植物の種類が限られてきています。

そこで、植物の代わりに、この資材を張り付けたところ、侵食を軽減する効果が確認できました。資材を敷設していないところでは施工後、48日目に最大30mmの侵食が確認されたのに対して、資材を敷設したところでは侵食が生じるまで時間を要し、48日後で0mm、82日後で最大5mm、152日後で最大10mmでした（図2）。

施工152日後、資材を敷設したところではクマイチゴやウツギ、スゲ属の一種など22種の植物が周囲から侵入しました（写真6）。これらの植物は資材の上部に多く生え、そこから法面全体に広がっており、資材が植生の侵入を促したと考えられました。

時間が経てば更に植物が広がり、表面が安定すると考えられます。

今後は法面保護以外にも新たな用途を検討し、木質バイオマスの更なる有効利用を図りたいと考えています。

写真1　試作したブロック

写真2　利用状況

写真3　試作したスギ樹皮製資材

写真4　現場での運搬

写真5　敷設状況

写真6　侵入した植物

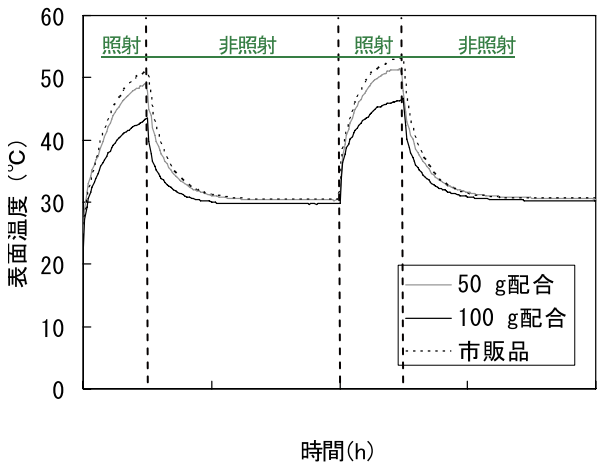


図1　ブロック表面温度の推移

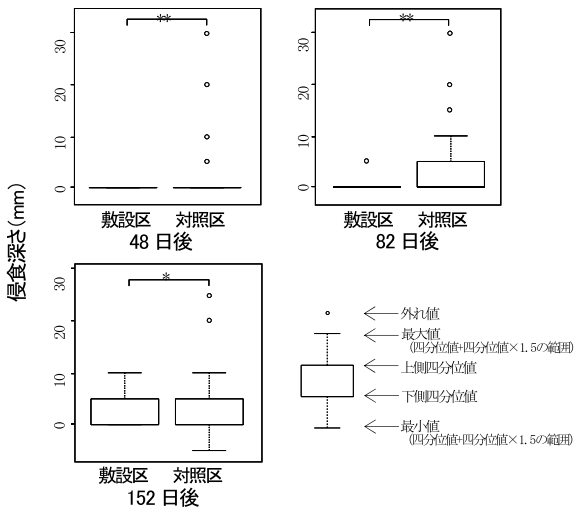


図2　侵食深さの推移

19　県域スケールでのシカによる落葉広葉樹林の下層植生衰退状況の把握

兵庫県森林動物研究センター
研究員　藤木　大介

背景と目的

近年、シカによる森林被害は、人工林における剥皮害や植栽木被害に止まらず、自然林に対する生態系被害も深刻化しています。兵庫県においても、一部の地域で、落葉広葉樹林の下層植生がシカの食害により衰退していることが確認されています。しかし、県域全体で、そのような森林の分布状況や被害面積は把握されていません。

生物多様性や森林の公益的機能を保全するためには、まずはシカ食害による自然林の衰退を県域スケールで実態把握する必要があります。そこで県内の落葉広葉樹林を対象に、広域多地点調査を実施しました。得られたデータを地理情報システム上で加工することで、下層植生が衰退した落葉広葉樹林の県内分布とその被害面積を推定しました。

1　調査方法

2006年に兵庫県の本州部とその周辺域に分布する落葉広葉樹林345林分で野外調査を行いました。

各調査林分において、高木層、亜高木層、低木層、草本層、地表層の階層毎に構成要素（植物や土壌など）の状態変化を、あらかじめ作成したチェックシートを用いて段階評価しました。

2　被害評価，データ分析

シカによる下層植生衰退度を、シカの採食痕跡の有無、低木層の被度に応じて以下の6ランクに区分しまいした。

【無被害】　シカの採食痕跡がなかった林分
【衰退度0】　採食ありで、被度50%以上の林分
【衰退度1】　採食ありで、被度50-25%の林分
【衰退度2】　採食ありで、被度25-10%の林分
【衰退度3】　採食ありで、被度10-1%の林分
【衰退度4】　採食ありで、被度1%未満の林分

被害評価したデータは、地理情報システム（GIS）に取り込み、GIS上で空間内挿処理を施すことで、非調査地点の下層植生衰退度も推定しました。また、下層植生の衰退と他の階層の構成要素の状態変化との関係についても評価しました。

3　県内における森林下層植生の衰退分布状況

GISを用いた空間推定の結果、海岸部から内陸部へ向かうにつれ、下層植生の衰退が高まる明瞭な地理的傾向が見られることが判りました（図1）。南但馬を中心とする県中央部では、下層植生がほぼ消失した衰退度3以上の林分が地域的にまとまって存在しており、この地域を中心に深刻な被害が生じていると推定されます。

下層植生が半減以上している衰退度2以上の樹林域は、33,145ha（落葉広葉樹林域の約9.4%）に、下層植生がほぼ消失した衰退度3以上の樹林域は5,273ha（同1.5%）にのぼると推定されました。

4　下層植生の衰退に伴う森林構造の変化

下層植生の衰退に伴い、低木層以外の階層におけるシカ被害も顕著になっています。例えば、亜高木層の構成種に対する樹皮剥ぎ害が激しくなり、亜高木層の顕著な衰退が生じています（図2、写真1）。また、傾斜が急な立地では、土壌浸食の発生確率が高まっていることが確認されました（図3、写真2）。

5　まとめ

シカの食害による自然林の森林構造の衰退は、下層植生に止まらず、多くの階層に及んでいることが確認されました。とりわけ、土壌浸食の発生は、森林のもつ公益的機能を保全するうえで、重大な障害が生じていることを示しています。今後、シカ食害から自然林を守るための対策を急ぐ必要があります。

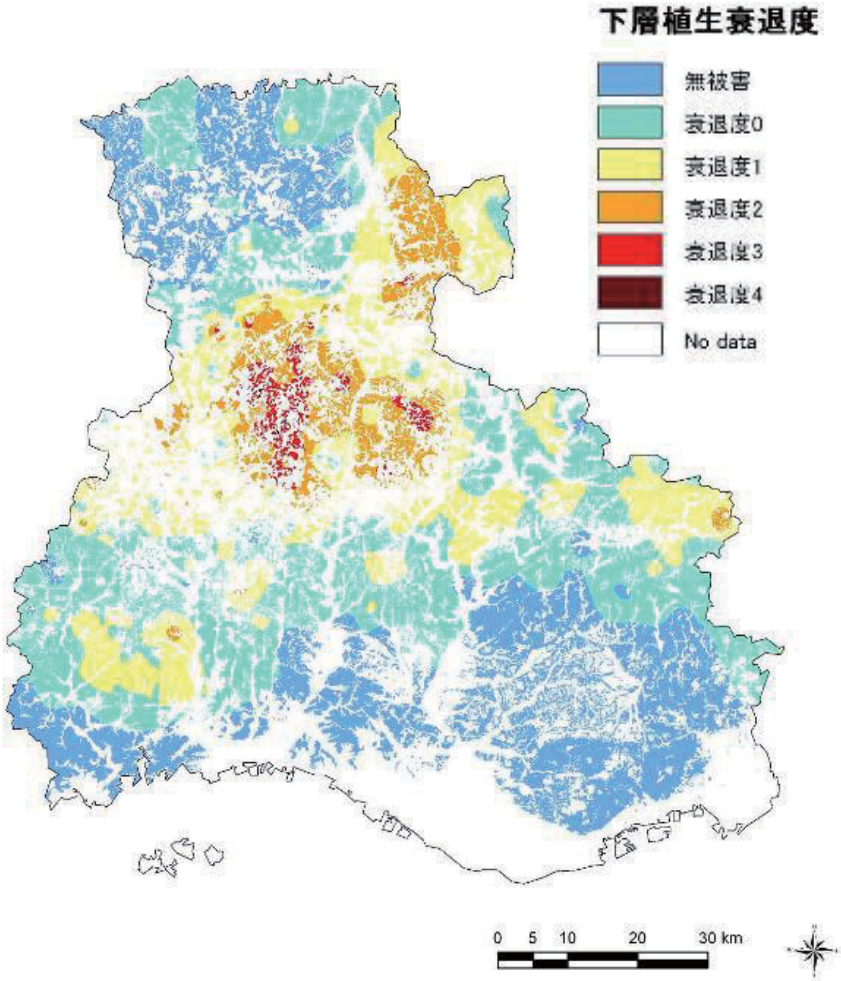


図1　2006年時点における下層植生が衰退した落葉広葉樹林の推定分布図

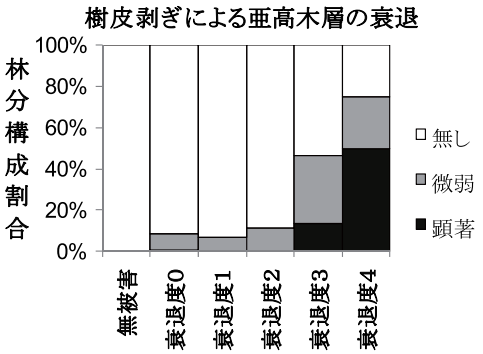


図2　下層植生衰退度と亜高木層の衰退の関係

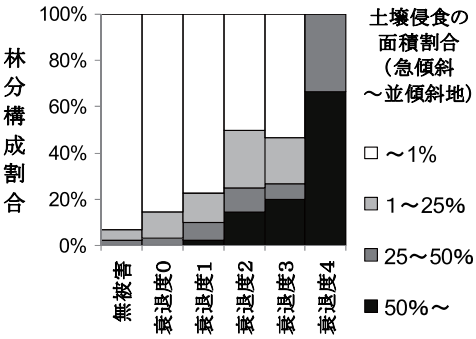


図3　下層植生衰退度と土壌浸食の発生割合の関係

写真1　シカ剥被害により亜高木層が衰退した林分

写真2　土壌浸食が発生している落葉広葉樹林

20　シカの食害による植生への影響評価

兵庫県森林動物研究センター　主任研究員　服部　保
兵庫県立人と自然の博物館　黒田　有寿茂
兵庫県森林動物研究センター　研究員　石田　弘明

背景と目的

シカの採食によって兵庫県だけではなく、全国の植生は大きな被害を受けています。植生の荒廃状況はシカの採食によるものとしても、被害を受ける以前の植生についての情報が少ないために、採食による被害の程度を評価することができません。食害を受ける以前の植生調査資料が残されている地域ではそれらの資料と現在の植生調査資料を比較することによって採食による被害の程度が明らかになると考えられます。シカの採食によって植生が大きな被害を受けているたつの市鶏籠山では1970年、1975年の植生調査資料が残されていました。それらの資料と2010年に調査した結果を比較し、シカの採食による植生への影響を評価しました。

1　たつの市鶏籠山の照葉半自然林

たつの市の鶏籠山にはアベマキ、コナラなどの夏緑高木を含む樹高17m以上のコジイの優占する樹林が広がっています。面積も広く、レッドリスト種（ルリミノキなど）を含む、本コジイ優占林は県内でも有数の照葉半自然林で兵庫県レッドリスト群落のBランクに指定されています。

2　植生調査方法

1970年･1975年の調査は植物社会学的調査方法に基づき、面積は目測で任意（100～300㎡、平均は約200㎡）で設定、被度は階級値で記録されました。2010年の調査は多様性植生調査方法に基づき、面積は実測で100㎡に統一され、被度はパーセント値で記録されました。1970年･1975年の被度階級値は各々の階級の幅の中央値によって被度パーセント値に読み替え、2010年のパーセント値と比較しました。各年の調査者、調査区数を表1に示します。

3　階層構造の変化

1970年、1975年、2010年の階層構造の変化を表2に示します。階層の高さを見ると2010年の草本層の高さが異常に低いことが目立ちます。また、各階層の植被率を見ると亜高木層以下、第1低木層、第2低木層、草本層において1970年･1975年より2010年の値が大きく低下していることがわかります。特に第2低木層では2010年には1970年･1975年の6%に、草本層では同0.2%以下に激減しています（写真1、2）。シカによって草本層が最初に食害され、次いで第2低木層に進み、さらに第1低木層、亜高木層まで食害の影響が進んでいます。高木層を構成する樹種の実生、稚樹が食害によって消滅しているので、長期的には高木層も崩壊し、樹林の維持は困難となるでしょう。

4　種多様性の変化

1調査区あたりの種数（種多様性）は面積に依ります。1970年・1975年の平均調査面積は約200㎡、2010年は100㎡と差があるので、種多様性の比較は面積を一定にする必要があります。2010年の調査区面積は1970年・1975年の1/2なので、2010年の1調査区あたりの種数の2倍値が200㎡あたりの最大の種数（16.8種）、等倍値が200㎡あたりの最小の種数（8.4種）となります。これらの種数と1970年・1975年の値を比較すると、前者が16.8～8.4種に対して後者が約30種であり、2010年に種多様性は約1/2～1/4に激減しています。

5　まとめ

シカの食害による植生への影響をみると草本層の植被率では99.8%消滅し、1調査区あたりの種多様性では50%以下に低下することが明らかとなりました。

写真1　鶏籠山の外観（2010年1月21日撮影）

写真2　鶏籠山の林床（2010年1月21日撮影）

表1　兵庫県たつの市鶏籠山調査経過

調査区群No.	1[1)]	2[2)]	3
調査年	1970	1975	2010
調査者	中西　哲 小林宜子	服部　保	服部　保 黒田有寿茂 石田弘明
調査区数	11	8	10
ニホンジカの食害	なし	なし	被害大
その他	不明	イノシシによる撹乱	イノシシ害あり

1):神戸大学教育学部卒業論文（未発表），2):未発表資料.

表2　たつの市鶏籠山におけるシカの食害による階層別の植生変化（1970年-2010年）

調査区群No.			1	2	3
調査区数			11	8	10
平均調査区面積（㎡）			201	209	100
総調査区面積（㎡）			2213	1675	1000
調査年（年）			1970	1975	2010
高さ（m）	高木層	（T1）	18.6 ± 0.53	14.4 ± 0.63	17.8 ± 0.68
	亜高木層	（T2）	10.3 ± 0.63		11.4 ± 0.88
	第1低木層	（S1）	6.0 ± 0.63	7.6 ± 0.26	7.3 ± 0.15
	第2低木層	（S2）	3.3 ± 0.36	1.8 ± 0.09	2.0 ± 0.00
	草本層	（H）	0.5 ± 0.02	0.4 ± 0.04	0.1 ± 0.05
植被率（%）	高木層	（T1）	84.1 ± 3.43	83.1 ± 2.82	95.9 ± 0.92
	亜高木層	（T2）	67.7 ± 7.49		20.4 ± 4.56
	第1低木層	（S1）	63.6 ± 5.42	26.3 ± 4.60	27.6 ± 5.31
	第2低木層	（S2）	64.5 ± 4.39	70.0 ± 6.81	4.0 ± 0.53
	草本層	（H）	76.8 ± 2.63	60.6 ± 6.84	0.1 ± 0.05
高木層平均DBH（cm）					33.1 ± 15.79
高木層平均密度（100㎡）					4.7 ± 2.16
総出現種数			91	65	25
総照葉樹林構成種数			41	41	18
種多様性（平均全出現種数）			31.8 ± 8.41	26.9 ± 5.14	8.4 ± 2.41
種多様性（平均照葉樹林構成種数）			18.4 ± 3.70	20.4 ± 5.34	6.9 ± 2.08
平均出現頻度（照葉樹林構成種）			0.45	0.50	0.38

21　シカの不嗜好性植物イワヒメワラビの増殖技術の開発

兵庫県立人と自然の博物館　南山　典子
兵庫県森林動物研究センター　主任研究員　服部　保

背景と目的

道路工事等に伴って発生する人工法面においては、法面の保護のために植生工が行われ、その植生工では外国産の牧草種子が用いられることが多くあります。シナダレスズメガヤ、イタチハギといった地域の生態系に負の影響を与えるような種の利用を除けば、植生工自体には問題は生じませんが、シカ個体群の密度の高い地域では人工法面に生育した牧草類が食害されて、法面が崩れるなどの被害が生じています。法面の保全あるいはシカへの餌の供給を防ぐために、不嗜好性植物による法面緑化の研究が進められていますが、不嗜好性シダ植物の利用はまだ検討されていません。本研究はシダ植物のイワヒメワラビの法面への利用のために胞子からの増殖の可能性について調査を行いました。

1　イワヒメワラビの生態

イワヒメワラビは本州以南の伐採跡、林縁、林内などの乾燥地から湿潤地までの様々な立地条件に生育する夏緑あるいは常緑の多年生草本です。通常は他の植物との競争に負けて群生することはありませんが、淡路島南部のようにシカ個体群の密度の高い地域ではシカの不嗜好度が高いために群生状態になっている所が増加しています。写真1は淡路島南部におけるイワヒメワラビの繁茂状態を示したものです。

2　イワヒメワラビ利用の可能性

イワヒメワラビは乾燥の厳しい立地にも生育しており、人工法面の乾燥条件下にも十分生育できる可能性があります。また地下茎を伸ばして増殖することから土壌の保持力も大きく、この点においてもイワヒメワラビの利用の可能性は高いといえます。

3　イワヒメワラビの増殖

イワヒメワラビは地下茎による栄養繁殖と胞子による有性繁殖の両方によって増殖します。イワヒメワラビの個体を採取して法面等に植栽するのが簡単ではありますが、大量に採取すると現地の生態系に影響を与えるので、胞子を採取し、多量の幼苗を育成することが必要となります。

4　プラスチック容器での培養

淡路島産のイワヒメワラビの胞子を使用しました。培養は縦6.5cm、横6.5cm、高さ10cm、容量422.5ccの透明蓋付きのプラスチック容器を用いました（写真2）。培養用土はバーミキュライト、液肥として5000倍希釈のハイポネクスを使用しました。2007年7月25日、26日に14個の培養容器に胞子を全面に隈なく散布しました。胞子散布の16日後の同年8月9日には全ての容器に前葉体を確認しました（写真3）。約60日後には全ての容器で若い胞子体の発生を確認しました（写真4）。

5　植木鉢での培養

胞子散布の約100日後に容器内に集合して生育している胞子体を取りだし、そのまま集合状態で植木鉢に移植しました。移植の約1年後には鉢の全面以上がイワヒメワラビの葉の被われる状態となりました（写真5）。2009年6月にはイワヒメワラビの葉に胞子嚢も確認されました（写真6）。

6　今後の課題

胞子散布から約2年で成熟個体となることが確認されました。成熟個体からの生育速度は現在調査中ですが、あまり早くないようです。造成した法面への胞子の直まき等の胞子を直接利用する方法も考えられますが、ヤシのマットを利用したイワヒメワラビのマットが利用しやすいかもしれません。今後、法面における緑化材としての活用方法を検討したいと思います。

写真1　イワヒメワラビの群生状態（兵庫県淡路島柏原山）（2007年7月4日）

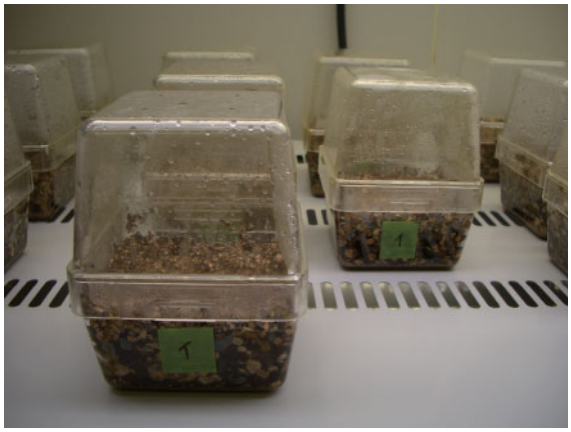


写真2　プラスチック容器での培養（2007年7月25日）

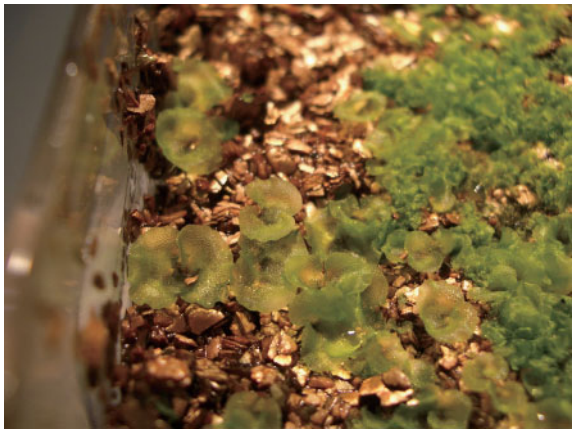


写真3　前葉体（2007年9月6日）

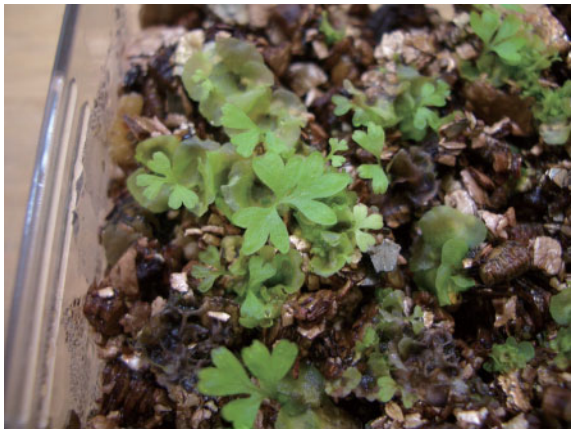


写真4　前葉体と若い胞子体（2007年9月22日）

写真5　約1年後の胞子体群（2008年10月10日）

写真6　胞子嚢（2009年10月17日）

22　シカの不嗜好性植物の緑化材料としての活用

兵庫県森林動物研究センター
研究員　石田　弘明
主任研究員　服部　保

背景と目的

シカが高密度で生息する地域の森林伐採跡地では、シカの採食による土壌流亡と植生衰退が大きな問題となっており、その対策の実施が急務となっています。シカの不嗜好性植物を森林伐採跡地の緑化材料として活用することは、森林伐採跡地での土壌流亡と植生衰退を抑制するための一つの方法として有効である可能性があります。シカの不嗜好性植物であるイワヒメワラビは日本在来のシダ植物で、国内では青森県以西に広く分布し、森林伐採跡地などの陽地で密な群落を形成します。本研究では、イワヒメワラビ群落が有する土壌保全効果と種多様性保全効果を明らかにし、イワヒメワラビの緑化材料としての有用性について評価することを目的としました。

1　イワヒメワラビ群落の土壌保全効果

兵庫県淡路島の諭鶴羽山系において、森林伐採跡地に成立したイワヒメワラビ群落（写真1）と裸地群落（写真2）、およびその隣接地に分布する二次林（ウバメガシ二次林、照葉二次林）を調査しました。それぞれの群落に5m×5mの調査区を複数設置し（合計93区）、調査区ごとに土壌調査と植生調査を行いました。調査地の土壌を群落間で比較したところ、裸地群落では著しい土壌流亡が認められました（表1）。一方、イワヒメワラビ群落の土壌の厚さは二次林のそれとよく似ていました。また、イワヒメワラビ群落では他の群落よりも表層土壌が柔らかい傾向がみられました。イワヒメワラビの地下茎は二叉に分枝しながら伸長し、地上茎を形成しながら網目状に分布を拡大していくことから（写真3･4）、このような地下茎の動きによって表層土壌が柔らかくなったと考えられます。

以上のように、イワヒメワラビの繁茂は土壌流亡を抑制する効果があることが明らかとなりました。

2　イワヒメワラビ群落の種多様性保全効果

種多様性の尺度として調査区あたりの出現種数を算出し、群落間で比較しました（表1）。イワヒメワラビ群落は他の群落よりも全種の出現種数が有意に高く、二次林の2.5～3.8倍の値を示しました。また、ハビタット別の出現種数をみると、イワヒメワラビ群落では森林生種の割合が最も大きく、また、その種数は二次林のそれを上回っていました。これらのことから、調査地域のイワヒメワラビ群落では森林生種の種多様性がある程度維持されていることがわかりました。

3　イワヒメワラビの緑化材料としての有用性

本研究の結果は、イワヒメワラビ群落の土壌保全効果と種多様性保全効果がともに高いことを示唆しています。したがって、イワヒメワラビはシカの高密度生息地域における森林伐採跡地の緑化材料として極めて有用な植物であるといえます。

高槻（2001）は、シカの生息地域では牧草を用いた道路法面などの緑化がシカに多量の餌資源を提供することになり、このことがシカの個体数の増加や分布域の拡大を引き起こす可能性があると指摘しています。このような事態を回避するためには、シカの不嗜好性植物でかつ土壌緊縛力の高い植物を緑化に用いることが必要です。土壌緊縛力の高いイワヒメワラビは森林伐採跡地だけでなく道路法面の緑化材料としても有用であると考えられます。今後の積極的な活用が望まれます。

高槻（1989）はシカの不嗜好性植物として145種をあげています。これらの中にはイワヒメワラビと同程度あるいはそれ以上の土壌保全効果と種多様性保全効果を持つものが存在する可能性があります。イワヒメワラビ以外の種についても研究を進め、緑化材料としての有用性について評価する必要があります。

写真1　森林伐採跡地に成立したイワヒメワラビ群落

写真2　シカの採食によって裸地化した森林伐採跡地

写真3　イワヒメワラビの地下茎の分布

写真4　イワヒメワラビの地下茎の長さ。aからeまでの長さの平均値は80cm

表1　イワヒメワラビ群落（A）、裸地群落（B）、ウバメガシ二次林（C）、照葉二次林（D）の土壌条件と出現種数。数値は平均値±標準偏差。異なる上付き文字（a-e）は有意差(p＜0.05)があることを示している。

	A n=22	B n=19	C n=24	D n=12
土壌条件				
A0層（cm）	5.1±1.5^{a}	0^{b}	4.5±1.3^{ac}	3.5±0.3^{c}
L層（cm）	3.2±1.4^{a}	0^{b}	3.1±0.7^{a}	3.3±0.4^{a}
F・H層（cm）	1.9±0.7^{a}	0^{b}	1.3±0.7^{c}	0.2±0.2^{b}
土壌貫入深（cm）	23.6±6.7^{ab}	16.5±5.2^{a}	27.1±12.8^{b}	20.4±3.0^{ab}
指標硬度（mm）	11.8±2.8^{a}	19.0±2.1^{b}	14.8±2.6^{cd}	17.0±2.2^{bd}
出現種数（/25m^{2}）				
全種	25.1±6.4^{a}	12.0±3.6^{b}	9.9±2.8^{bc}	6.6±1.2^{c}
森林生種	12.6±6.0^{a}	5.8±2.4^{bc}	8.7±2.8^{c}	6.2±0.9^{bc}
林縁生種	5.7±1.9^{a}	2.6±1.5^{b}	0.6±0.7^{c}	0.3±0.5^{c}
草地生種	5.5±2.8^{a}	2.6±1.3^{b}	0.5±0.7^{c}	0.1±0.3^{c}
不明	1.2±0.9^{a}	0.8±0.4^{a}	0.2±0.4^{b}	0^{b}

23　林縁環境整備が隣接農耕地の獣害軽減に及ぼす効果

― 県民緑税を活用した「野生動物育成林整備」の効果検証 ―

兵庫県森林動物研究センター
研究員　藤木　大介

背景と目的

兵庫県におけるシカ・サル・イノシシなどによる農林業被害は、年間約７億円にものぼっています。このように近年、獣害が深刻化した背景には、里山や山際の農耕地が放棄されたことにより、農耕地や集落近くまで樹林が発達し、野生動物が人目につかず農耕地に近づける環境ができてしまったことが挙げられます。

「県民緑税」を活用し、平成18年度から始まった「野生動物育成林整備」では、集落周辺の林縁の見通し環境の向上などを目的とした林縁環境整備を行っています。本研究では、本事業における林縁環境の整備が、隣接農耕地の獣害軽減に及ぼした効果について検証しました。

1　野生動物育成林整備の概要

本整備では、野生動物による農作物被害が深刻な集落を対象に、人と野生動物の棲み分けを図るために、農耕地に接した林縁部を伐採等により見通し環境を向上させる整備（林縁環境整備）を行っています（写真1）。また、野生動物の生息環境改善を目的とした広葉樹林の整備も行っています。平成18～21年度の4年間で、県内28ヵ所、計876haの整備を実施しました。

2　整備前後における農地被害変化

―「たつの市揖保川町金剛山」事業地の事例 ―

本事業地の整備前（平成18年）の状況は、集落背面の森林で樹木が密に茂り林縁部が藪に覆われ、農耕地側から森林内が全く見通せない状態でした。

このような状況を反映して、林縁からおおよそ80m以内の農地の大半で、イノシシによる農作物被害が発生していました（図1左、図2左）。

整備が実施された結果、農耕地から森林内の見通しは第2工区、第3工区で15m以上確保されました（図2左）。場所によっては30m以上の見通しが確保され、整備による見通し環境の向上が顕著に認められるようになりました。農作物被害については、整備直後（平成20年度）には、整備前に被害があった農地の約2割で被害の軽減あるいは解消が認められました。このような農地は、第2・第3工区の林縁から離れた農地を中心に確認されました。

3　効果検証からみえてきたこと

本事業地において、林縁から離れた農地で被害の減少が見られた理由としては、以下のことが考えられます。イノシシは警戒心が強い動物であることから、見通しのよい環境を忌避する傾向があります。整備後、林縁の見通し環境が向上した結果、イノシシにとって安心できる環境が森林側に後退し、その分だけ、イノシシの出没範囲も森林側に後退したものと思われます。また、整備中に作業員が普段より頻繁に整備対象となった林縁に出入りしていた点も見逃すことはできません。なぜなら、イノシシが見通しのよい環境を嫌がる理由は、人に見つかることで危害を加えられるという恐怖心からくるものだからです。今回の結果は、林縁環境整備によって農作物被害の軽減を図るには、林縁の見通し環境の向上と、追い払い効果につながるような林縁周辺での人間活動という2つの要素を満たすことが重要だということを示しています。

4　今後の課題

今回の検証結果は整備直後の効果に関するものであり、中長期的な効果の持続性については確認できていません。また、他の地域では期待した効果が十分得られていない事例も存在します。今後、獣種による効果の違い、効果に影響を及ぼす集落環境、立地環境、管理体制などの諸条件を明らかにし、より効果的で汎用性の高い対策のあり方を目指す必要があります。

写真1　林縁環境整備後の
林縁の状況
（たつの市揖保川町金剛山）

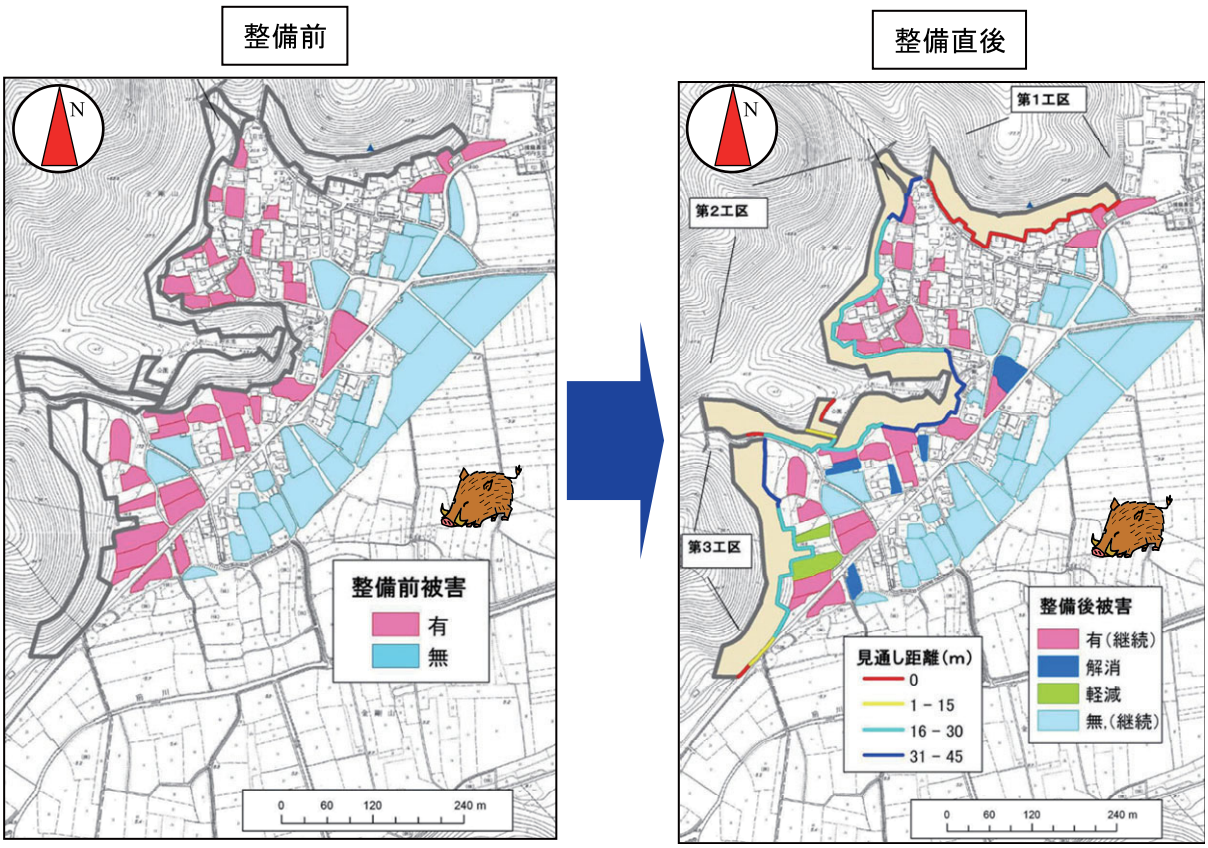


図1　林縁整備前後の農地被害の変化

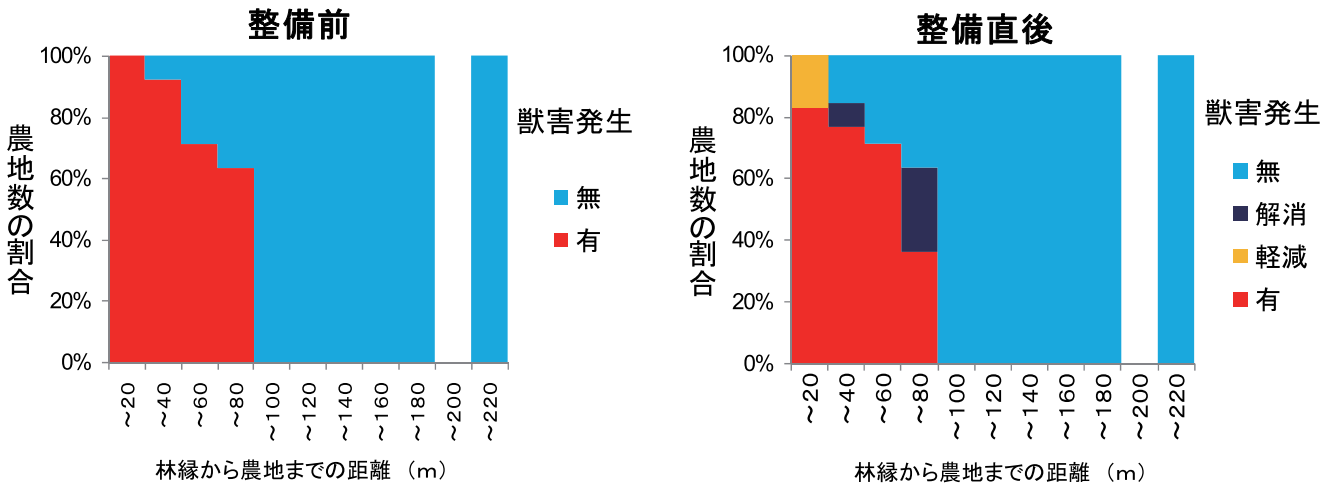


図2　林縁からの距離に応じた農地被害の割合とその変化

24　兵庫県内におけるシカとツキノワグマの生息動向の推定

兵庫県森林動物研究センター
主任研究員　坂田　宏志

背景と目的

ニホンジカによる農林業被害が深刻になるなか、適切な個体数管理を行うためにニホンジカの自然増加率や個体数を推定しました。また、その結果から、将来予測のシミュレーションを行い、県の目標である生息密度水準に達するまで、どの程度の規模の捕獲が必要であるのかを推定しました。

また、絶滅が危惧されると言われながら、近年は人里への出没件数が増加し、人身事故の危険や果樹等への被害があるツキノワグマについて、捕獲数や出没情報件数、標識放獣個体の再捕獲情報を基に、自然増加率と生息個体数の推定を行いました。

1　ニホンジカの生息動向の推定

兵庫県では目標とする密度指標を、銃による狩猟における1人1回出猟当たりの平均目撃頭数を1.0以下にすることを目標に個体数管理の対策を進めています。平成21年度で約2万頭の捕獲を行っていますが、被害や生息密度の指標は目に見えては低下していません。

このような状況の中、有害鳥獣捕獲班や狩猟者からの報告による捕獲数や目撃効率、および森林動物研究センターで行っている糞塊密度調査の結果をもとに自然増加率や生息頭数を推定しました。推定手法は、階層ベイズモデルを用いたマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）を採用しました。

その結果、兵庫県本州部の自然増加率は15%、推定個体数は平成20年度で14万頭程度、1年間の増加頭数は２万頭以上と推定されました（表1）。

これらの推定結果から将来の個体数の変化を予測するシミュレーションを行ったところ、21年度までの捕獲目標である2万頭の捕獲では、徐々にシカが増えていくことが予測されました。一方、3万頭の捕獲を平成28年度まで続けると、県が目標とする水準に生息密度が低下する可能性が50%以上となると推定されました。また、目標達成時の毎年のシカの増加頭数は1万頭弱と推定されました。

2　ツキノワグマの生息動向の推定

兵庫県のツキノワグマは、絶滅が危惧される個体群とされているため、兵庫県では、有害個体は、1度は学習放獣することを原則とし、被害防止と保全の両立を図っています。また、近年の出没件数や捕獲頭数は、増加傾向にあります。

ツキノワグマの出没件数と捕獲頭数、さらに、捕獲された個体のうち過去に捕獲経歴がある個体の割合をもとに、階層ベイズモデルを構築し、MCMC法による推定を行いました。クマの出没は、ブナ科堅果類（ドングリ）の豊凶によって大きく変動するため、ドングリの豊凶によって、捕獲率や目撃される割合が変動する影響も推定モデルに組み込みました。

その結果、ツキノワグマの自然増加率は低い年でも9%程度、高い年では23%程度もあると推定されました。全体的に個体数は回復傾向にあり、推定誤差の範囲は大きいものの推定頭数の中央値は平成20年では、約400頭となりました。以上の結果から、特定鳥獣保護管理計画に基づいた対策によって、絶滅危惧の回避の成果が上がっていると判断できます。

写真1　ニホンジカ

写真2　捕獲されたツキノワグマ

区 分	これまでの推定方法	新たな推定方法(90%信頼区間)
平均目撃効率(H20)	現在1.76	同左
推定自然増加頭数(H20)	推定なし	21,507頭　(16,682～36,288頭)
推定自然増加率	推定なし	15.0%　(8.5～26.9%)
推定個体数(H20)	42,000～60,000頭	143,812頭　(63,063～414,707頭)
目標水準維持捕獲頭数	推定なし	8,652頭　(6,691～14,311頭)

表1　シカの個体群動態に関する推定値
（兵庫県本州部）

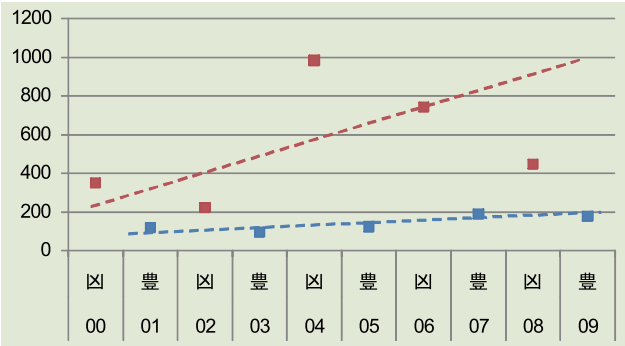
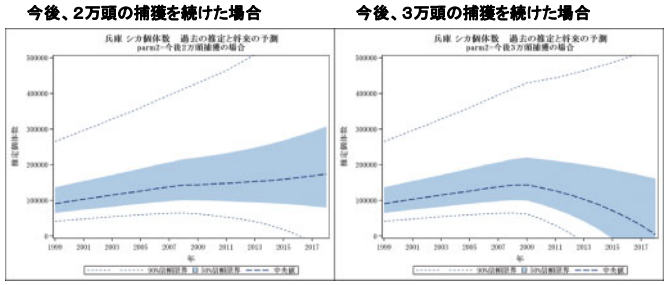


図2　目撃等情報件数の変化



・減少する可能性もあるが、
徐々に増加していく可能性が高い。

・減少が見込まれ、
増加していく可能性は低い。

図1　シカの個体群動態に関する将来予測
（兵庫県本州部）

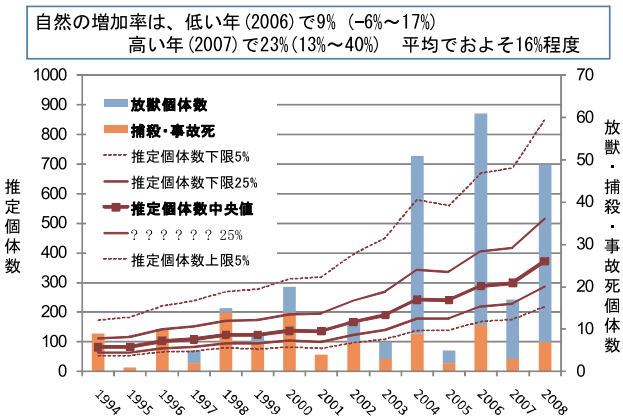


図3　ツキノワグマの推定個体数と捕獲・放獣頭数

25　ドロップネットを用いたシカの大量捕獲手法の技術開発

兵庫県立大学自然・環境科学研究所／兵庫県森林動物研究センター　室山泰之・森光由樹
坂田宏志・阿部　豪
兵庫県森林動物研究センター　田口　彰
兵庫県立工業技術センター機械金属工業技術支援センター　永本正義
兵庫県立工業技術センター　松本哲也・北川洋一

背景と目的

近年全国各地で、ニホンジカの個体数の増加により、農林業被害の激化や森林下層植生の衰退が問題となっています。ニホンジカの捕獲には、銃による巻き狩りやくくりわな、固定式大型檻による捕獲などの方法が用いられていますが、狩猟者数の減少や高齢化などにより、捕獲数の減少が懸念されています。そこで、高度な狩猟技術がなくても、少人数で効率的に捕獲できる技術として、シカ捕獲用ドロップネットを開発しました。

1　ニホンジカの生息動向の推定

2008年4月に、以下の条件を満たすようなシカ捕獲技術の開発に着手しました。

①高度な狩猟技術が不要で、地域住民が自分たちで実施できる
②特殊な資材が不要で、設置や修理が簡単にできる
③少人数で効率的に捕獲できる
④捕獲効率が低下した場合、ほかの場所に移設ができる
⑤市町が購入できるように、できるだけ低価格にする

捕獲装置の構造設計や資材の検討などを経て、ドロップネット方式の捕獲装置を考案・試作し、現地での捕獲試験をおこないながら改良を重ねました。落下装置の考案・製作については、兵庫県立工業技術センターの技術協力を得ました。

2　装置の構造と捕獲実績

捕獲装置は、建設用足場材で組み立てられた基部と支柱、及び天井部分と側面２面に張られた網で構成されています（図１）。最奥部にエサを置いてシカを餌付け、馴致が進んだ段階で、遠隔装置で網を落下させて捕獲するという仕組みです。

2008年10月から養父市大屋町において捕獲試験を開始しました（写真１）。地域の方々の協力を得ながら、シカを餌付けし（写真２）、2008年11月に第1回の捕獲試験を実施しました（表1）。

その後、網の強度や構造、遠隔装置の不具合等の問題点を改良しながら、養父市と丹波市で捕獲試験を重ね、2009年6月には、はじめて捕獲率100%（装置に進入した3個体すべてを捕獲）を達成しました。

その後、上郡町（西播磨県民局と連携）を含む3地域でさらに捕獲試験を実施し、2010年2月末までに計10回捕獲を実施（捕獲装置を実際に稼動した回数）し、合計53頭を捕獲しました。2009年6月から2010年2月までに実施した6回の捕獲試験では、いずれも捕獲率100%を達成しました（表1）。

3　捕獲装置の改良

その後、捕獲装置については、落下装置の改良、落下装置の設置位置やネットの保持方法の変更などを行ない、より確実に捕獲できるようになりました。また、設置や運用が円滑にできるように、運用マニュアルを作成し、兵庫県森林動物研究センターHPで公開しました（http://www.wmi-hyogo.jp/F1.php?M=B6-5&F=F1）。

現在は、待機場所の制約を減らすために、落下装置の稼動の無線化に取り組んでいるほか、捕獲装置内に誘引したシカが目標頭数に達すると自動的に落下装置が稼動するセンサーシステムの開発に取り組んでいます（農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」）。

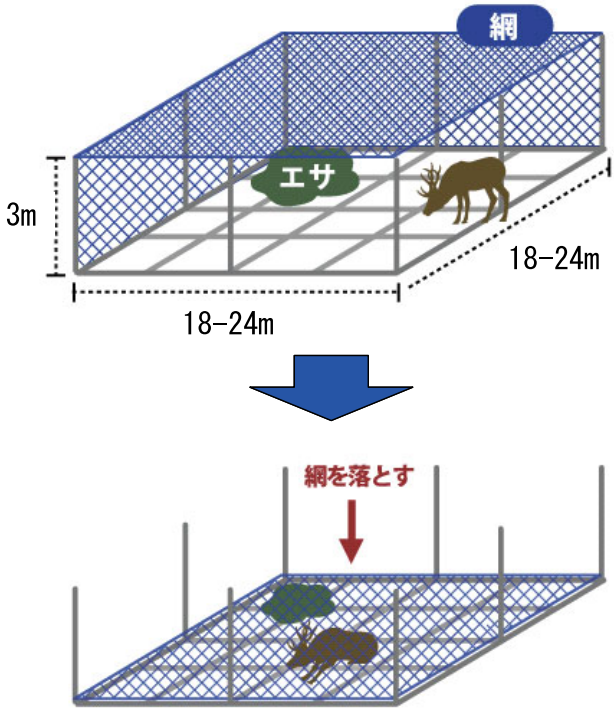


図1　新型捕獲装置の概要

写真2　装置内の野菜クズに餌付いたシカの群れ
（養父市大屋町）

写真1　養父市大屋町に設置した新型捕獲装置

年 月 日	捕獲地	網の規格（m）	捕獲数／進入頭数	捕獲効率
2008. 11. 14	養父市	18×18	０／６	0%
2008. 12. 18	〃	〃	１／２	50%
2009. 03. 11	丹波市	15×18	２／６	33%
2009. 04. 09	〃	〃	３／５	60%
2009. 06. 23	養父市	24×24	３／３	100%
2009. 09. 28	〃	〃	２／２	100%
2009. 10. 27	〃	〃	５／５	100%
2009. 12. 01	〃	〃	８／８	100%
2009. 12. 25	上郡町	〃	１２／１２	100%
2010. 02. 17	〃	〃	１７／１７	100%

表1　新型捕獲装置による捕獲実績（2008年11月～2010年2月）

26　学習放獣後のツキノワグマの行動特性と効果検証

兵庫県森林動物研究センター
主任研究員　横山　真弓

背景と目的

兵庫県に生息するツキノワグマは地域的な絶滅が危惧される一方で、人里への出没が後をたちません。県では、2003年度より「ツキノワグマ保護管理計画」を策定し、被害の防止と絶滅の回避を目標に、出没時の対応を行ってきました。この計画では、出没対応基準（図1）が定められており、有害捕獲された個体は、原則的に1度は学習放獣を行うこととしています。放獣後は、行動を追跡し、集落への再出没の有無を監視することとしています。

また、イノシシ罠に誤ってツキノワグマが捕獲される（錯誤捕獲）問題も多くなってきており、以前は捕殺されることが多くありました。計画策定後は、麻酔をかけて放獣することとしています。

1　学習放獣について

クマ類の学習放獣とは、捕獲したクマに対して唐辛子スプレーをかける、爆竹などで威嚇するなど、クマの嫌悪する刺激を与えた後に放獣することです（写真1、写真2）。クマ類は比較的学習能力が高いとされ、人里へ執着するのも何らかの学習が繰り返された結果と考えられています。学習放獣は、その逆の学習、つまり人間や人里を忌避する学習を取り入れ、人里への執着行動を修正させることを狙いとするもので、強い追い払いであり、被害対策の一つのオプションです。森林にツキノワグマが生息していても、人里に近づかなければ人身事故のリスクは低減させることが可能となるという考えのもとに行われています。

2　行動追跡の方法

学習放獣後の再出没の有無を把握するため、ツキノワグマに電波発信機を装着しました。また、放獣直後の詳細な行動を把握するためにGPS首輪を装着し、位置を取得しました（一部錯誤捕獲個体を含む）。行動追跡は、集落周辺に再出没していないか、被害地域を中心に探索しました。放獣後から冬眠するまでに集落への出没が確認されなければ、再出没無、出没が確認されれば再出没有としました。また、集落周辺にいないことを確認後、個体の位置を特定するため、広域探索を行い、個体を追跡しました。

3　行動追跡に基づく効果の判定

2004年から2009年に放獣され、行動追跡を行った64頭について、行動追跡の結果から判定される効果を図2に示しました。放獣後、捕獲地点とは異なる森林内で行動した個体を「回帰無・再出没無」、捕獲地点周辺へ回帰したものの、森林内に滞在し集落への侵入がなければ、「回帰有・再出没無」とし、合わせて45頭、70％で放獣後の再出没は認められませんでした。残りの19頭30％の個体では、再出没が確認され、一部は、第四区分の安楽殺処分が行われました。学習放獣の効果がまったく認められなかった事例は、牛舎の飼料や家禽などに著しい執着をみせた場合でした。逆に誘引物を除去することができた事例では、放獣後に被害地に再接近しても、利用可能な食物がないため、やがて大きく移動し、その後の被害はなくなる事例があり、誘引物の徹底管理を行うことで効果を上げることができたと考えられました。

3　放獣直後の行動

GPS首輪により詳細なデータが取得されたものについて図3に示しました。放獣後の行動の特徴としては、どの個体も放獣場所から大きく移動するということが挙げられました。全く別の場所に移動する場合（図3（A））や一度は別の場所に移動するものの最終的には捕獲地点（被害地）へ移動する場合（図3（B））などのケースが認められました。現在の学習放獣は、放獣する場所で忌避条件付けが行われているため、放獣場所を忌避している可能性が示唆されました。放獣方法、忌避条件付けについては、より効果的な手法を検討しています。

写真1　学習放獣（轟音玉による忌避条件付）

写真2　GPS首輪を装着したメスグマ
コグマ2頭を連れて行動していた。写真では背中に1頭のみ映っている

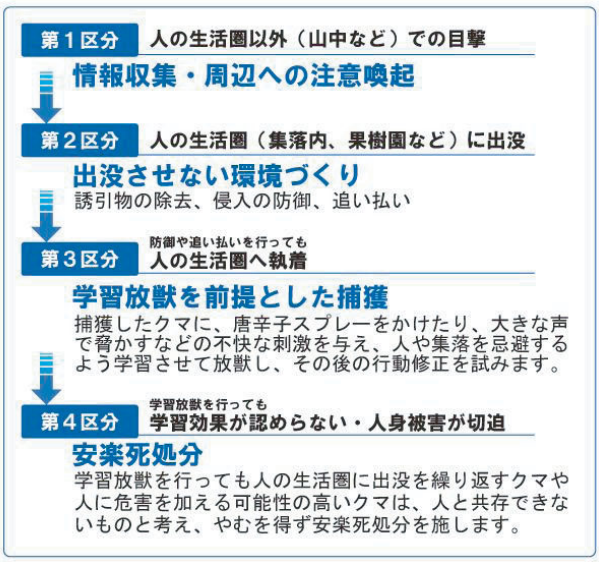


図1　ツキノワグマ出没対応基準
（兵庫県ツキノワグマ保護管理計画より要約）

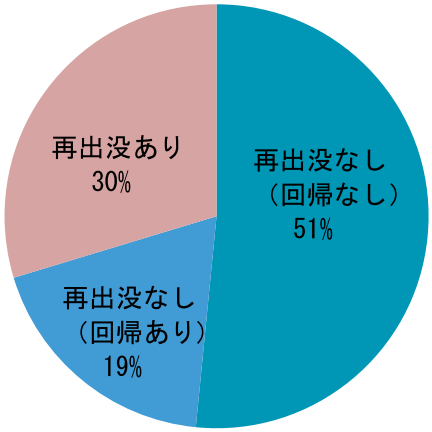
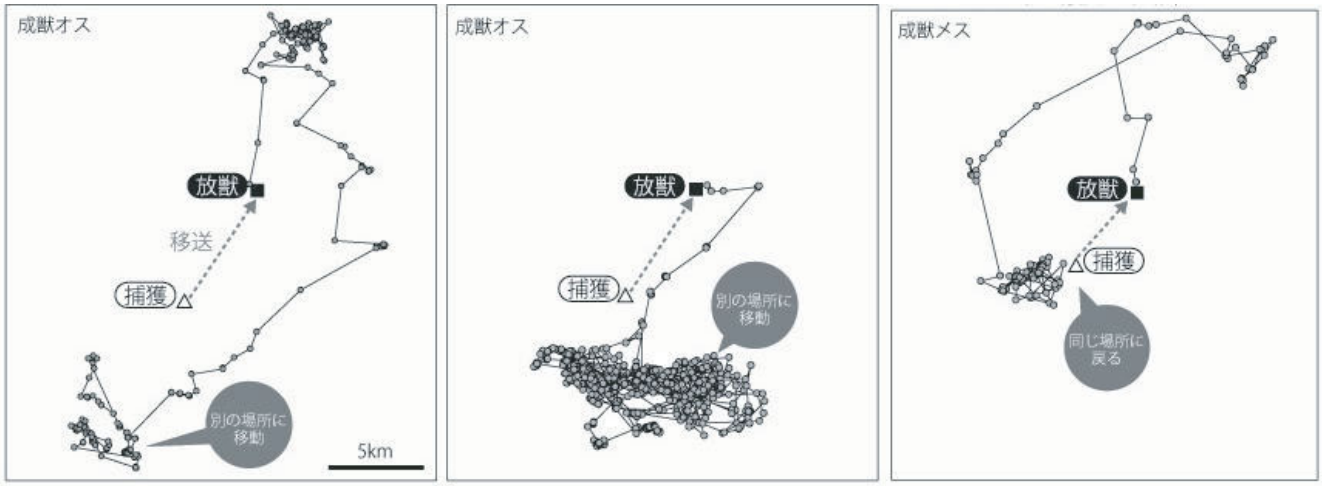


図2　64頭の学習効果の判定結果
2004年～2009年までに行動追跡した個体は64頭であり、そのうち45頭で集落等への再出没は認められなかった。
（2009年までのデータ）



A 別の場所に移動　　B 捕獲地点に回帰した個体

図3　同じ場所で放獣された3頭のツキノワグマの行動データ（GPS）

27　ニホンザルの生息状況の把握と被害対策の検討

兵庫県森林動物研究センター
研究員　鈴木　克哉　　研究部長　室山　泰之

背景と目的

兵庫県のニホンザルは、餌付けされた個体群を除けば、4地域に約9群が生息するのみで、分布は互いに孤立しています。一方で、すべての群れが農作物に被害を出すなど、それぞれの地域で深刻な軋轢が生じています。被害対策として毎年有害捕獲が行われており、無計画な捕獲が続くと地域的な絶滅が起こる可能性もあるため、個体数や加害状況を適切に把握したうえで、科学的かつ計画的な個体数管理や被害管理の方針を定める必要があります。そこで本研究では、兵庫県に生息する野生ニホンザルの個体数と集落利用の現状を把握し、地域個体群の存続性を確保しつつ、軋轢を軽減するための対策の方針について検討しました。

1　各群れの個体数と集落への出没状況

図1は、兵庫県に生息するニホンザルの分布と個体数の現状です。2009年秋にそれぞれの群れに対して個体数調査を行いました。豊岡地域個体群、美方地域個体群にはそれぞれ1群しか生息しておらず、個体数も少なく、地域的な絶滅が危惧される状態であることが分かりました。また、大河内・生野地域個体群の3群については個体数が多く、群れが分裂することにより被害地域が拡大する恐れがあることがわかりました。

また2009年度に、それぞれの群れに対して週1度程度の位置把握調査を行い、集落への出没状況をまとめました（図2）。集落への出没割合は城崎Ａ群（85%）、篠山Ａ群（75%）、篠山Ｃ群（65%）、美方Ａ群（62%）で50%以上と高く、城崎Ａ群のように集落周辺からほとんど離れない群れがいることもわかりました。

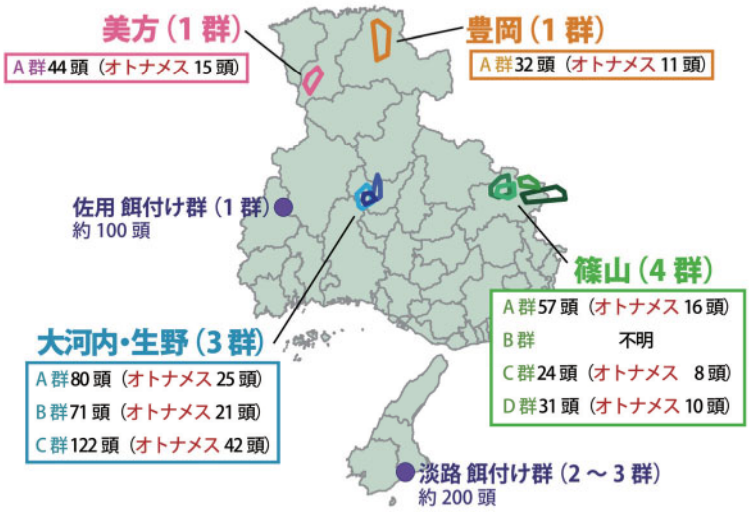
2　各群れの生息環境について

ニホンザルが集落に出没する要因として、森林内の食物資源が不足している可能性が考えられます。そこで、それぞれの群れの行動域周辺で野生ニホンザルにとって好適な環境とされる自然林・二次林がどの程度存在するかを調査しました（表1）。野生のニホンザル1頭あたりに必要とされている自然林・二次林面積 は8-24haであると考えられています。大河内・生野地域個体群は他の地域と比べて自然林・二次林面積が少ないものの、ニホンザルが生息するために必要な面積が著しく不足している状態ではありません。また、生息地内に十分な自然林・二次林面積があっても、集落に依存する群れも存在することが分かりました。

3　個体数管理と被害管理の方針

兵庫県に生息するニホンザルは群れ数・個体数が少ないことから、地域的な絶滅を回避する必要があります。一方で、個体数が増加して群れが分裂すれば、被害地域は拡大します。そこで、繁殖にかかわるオトナメスの数をそれぞれの群れで15頭（絶滅警戒頭数）～20頭（分裂警戒頭数）の範囲内に調整するよう個体数管理を行うことが必要です。

一方で、被害軽減のためには、行政が主体となった捕獲だけではなく、集落が主体となった総合的な対策（防護柵の設置や追い払い、誘引物の除去）が重要です。住民主体の対策を推進するために、行政機関がさまざまな支援を行うことも必要です。



＊佐用餌付け群・淡路餌付け群の数はH18 年に行った聞き取り調査による。

図1　兵庫県に生息するニホンザルの分布と個体数（2009年度）

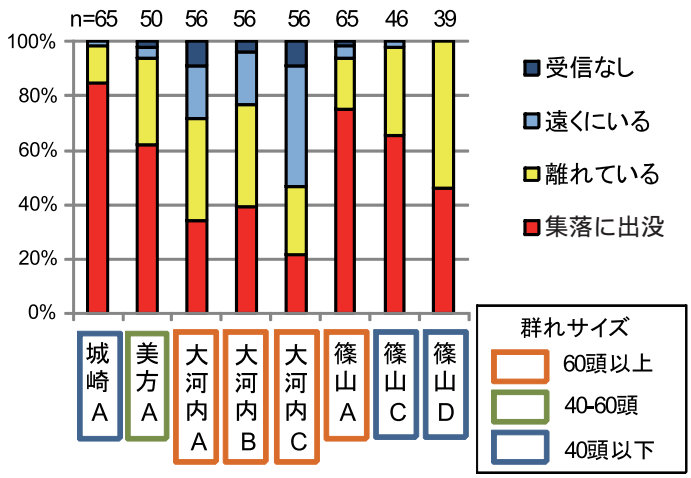


図2　各群れの集落出没率（2009年度）

表1　各群れの行動域周辺における植生割合（2007～2009年度）

	城崎A	美方A	大河内A	大河内B	大河内C	篠山A	篠山B	篠山C	篠山D
行動域（MCP：km2）	24.1	18.3	29.7	18.3	26.1	100.4	35.1	2.7	17.0
行動域周辺（周囲500mの範囲：km2）	37.4	28.6	40.8	28.3	36.4	122.4	51.5	7.1	25.7
自然林・二次林の割合	50.9%	46.8%	24.7%	20.3%	31.8%	67.2%	64.2%	66.5%	66.0%
植林の割合	15.3%	24.5%	60.4%	68.5%	56.9%	16.2%	14.4%	10.6%	13.7%
農耕地の割合	20.7%	25.7%	10.8%	8.5%	7.1%	13.4%	16.9%	19.2%	17.6%
市街地の割合	5.3%	1.5%	1.8%	1.1%	2.7%	1.7%	2.1%	1.3%	1.4%
その他の割合	7.8%	1.6%	2.2%	1.6%	1.5%	1.4%	2.4%	2.3%	1.4%
自然林・二次林面積（ha）/1頭	59.5	30.4	12.6	8.1	9.5	144.4	—	19.8	54.8

28　大規模地震動に対応した治山工法の設計手法の提案

神戸大学都市安全研究センター　沖村　孝
兵庫県農林水産部治山課　村上　晴茂
株式会社ダイヤコンサルタント　鏡原　聖史
兵庫県農林水産部治山課　太田　雄一郎
株式会社ダイヤコンサルタント　荒木　繁幸

背景と目的

兵庫県南部地震以降、土木構造物の耐震設計は、建築物の耐震設計と同様、「壊滅的な損傷を防ぐレベルを想定して社会的に合意できるレベルを設定する方向」にあります。

兵庫県では、大規模地震による災害防止を目的に、斜面の変形を許すが崩壊にはいたらないレベルに耐えるロープネット・ロックボルト併用工法（以下「R・R工法」という。）を地震に強い“ひょうご式斜面工”として、平成9年度から研究開発を行ってきました。本稿は、平成16年3月に策定した「ロープネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針（案）」の概要について、平成18年度砂防学会研究発表会で発表したものです。

1　R・R工法の特徴

構造は図1のとおりで、落石対策として従来からあるロープネット工法にロックボルト工法を併用するものです。写真1に示すように、樹木を極力残し景観に配慮することができる特徴があり、大型機械を用いず、地山の不陸にある程度合わせた施工が可能です。

2　設計の流れ

設計の流れを図2に示します。R・R工法の設計手法は、計画（机上検討、現地検討）、現地調査、設計、施工、維持管理に大きく分かれます。

3　耐震設計の範囲

本県の地域防災計画で示される震源断層とその地震規模から、距離減衰式を用いて設計対象地点の最大水平加速度を算定します。最大水平加速度が300gal以上の場合に対して地震時の検討を行うこととします。これは、振動台模型実験と兵庫県南部地震時の崩壊事例から、300gal未満での崩壊が少ないことを考慮して設定しました。

有馬－高槻断層帯～六甲・淡路島断層帯地震をM7.7で想定した距離減衰式から最大加速度が300galとなる距離は約15kmであり、概略の耐震設計範囲を他の断層等地震を同様にイメージすると図3のようになります。

4　設計手法の特徴と地震時変形量

R・R工法を配置する地盤において、設計震度に対する変形量を直接変形算出法[1]により求めます。本設計法の適用例として、変形計算によって求められた結果とその変形に対する破壊のイメージを図4に示します。計算で得られた変形曲線は、地震動によって発生する残留変形量を示しており、この変形量がある値になると斜面に亀裂が発生（せん断ひずみ1%未満）したり、局所破壊（同5%以下）したり、全体破壊（同5%超）することが振動台模型実験から確認できました。

そこで、活断層からの距離で地震外力を設定し、現地調査によって斜面に分布する潜在崩土層（今後崩壊する可能性のある表土層）の厚さ、土の特性等により、亀裂及び局所破壊に対応するせん断ひずみ5%以下の変形をR・R工法の適用範囲とすることとしました。また、5%超の変形で発生する全体破壊についても、土塊移動の防止に必要とされるロックボルト及びロープネットの耐力を算定し、想定以上の地震力が作用した場合でも被害の拡大防止が図れるようにしました。

なお、今回検討した土質は六甲山系に広く分布するマサ土であり、これ以外の土質に対して本工法の適用性を検討し、順次発表していく予定です。

1）村上ほか（2002）；地震時斜面安定のためのロックボルト・ロープネット併用工法に関する変形量を基にした設計法の提案、土木学会第57回年次学術講演会、Ⅲ、418

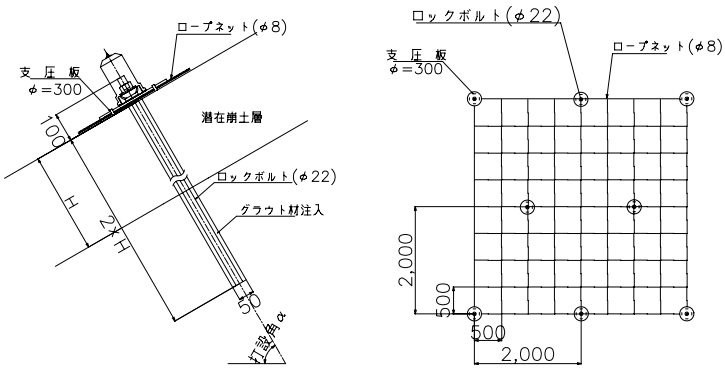


図1　R･R工法の構造

写真1　R･R工法の施工例（神戸市須磨区）

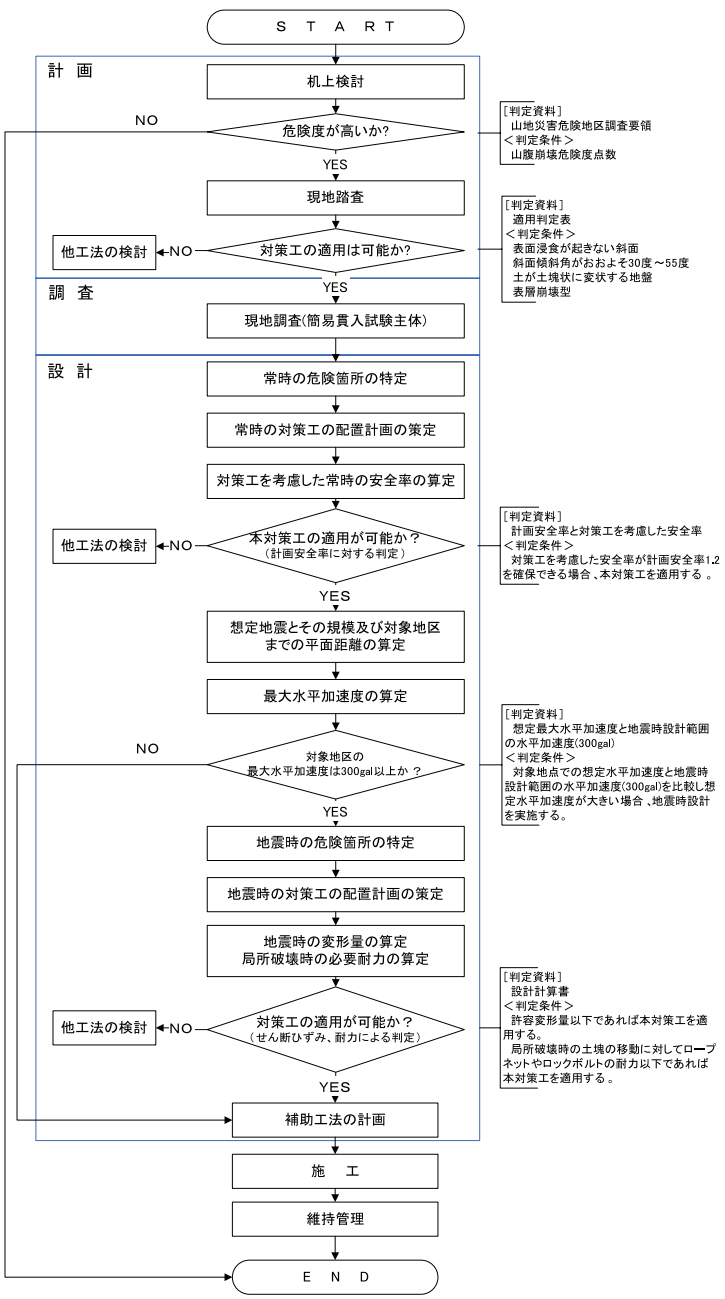


図2　設計の流れ

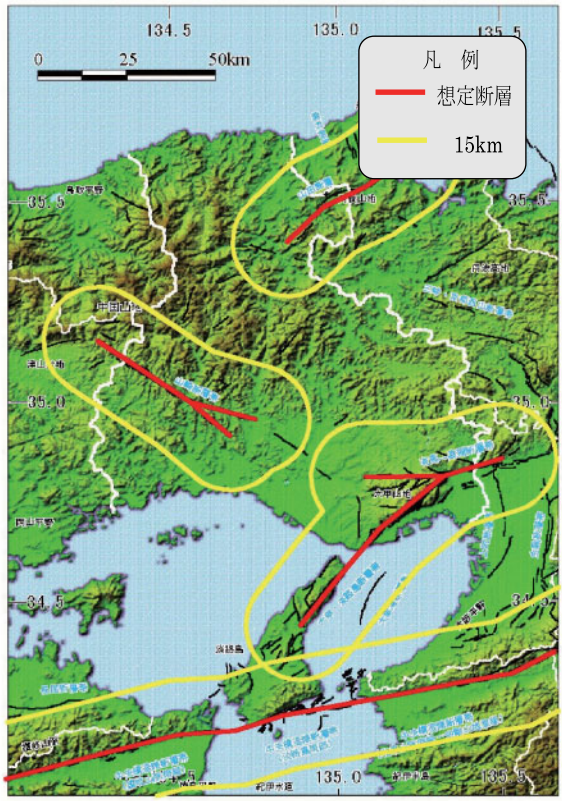


図3　耐震設計範囲イメージ

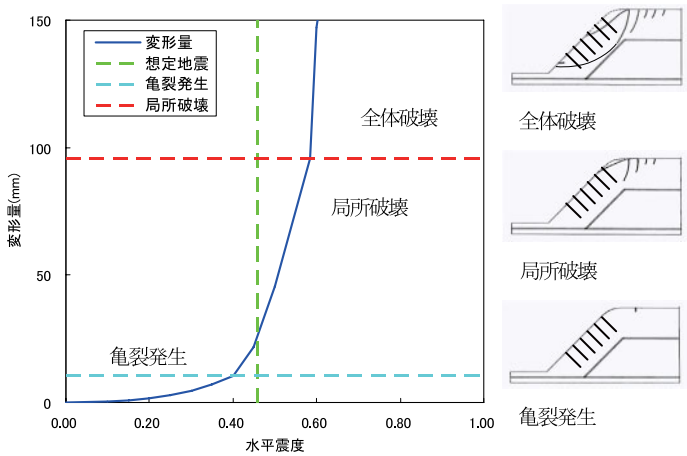


図4　地震時の変形量と破壊のイメージ

29　自然斜面における耐震治山工法の開発について（第3報）

兵庫県農政環境部治山課　西原　玲二
株式会社ダイヤコンサルタント　荒木　繁幸
兵庫県六甲治山事務所　佐藤　慎介
株式会社ダイヤコンサルタント　鏡原　聖史

背景と目的

六甲−淡路断層帯の南部で発生した兵庫県南部地震以降、兵庫県では六甲山系に広く分布するマサ土の地震時表層崩壊について、ロープネット・ロックボルト併用工法（以下「R・R工法」という。）の耐震性能を確認し、設計・施工指針（案）を策定してきたところです。

しかし、県内の活断層には9世紀に播磨地震を引き起こした山崎断層があり、この周辺にはマサ土とは異なる構造の地質が分布するため、他の地質条件においても対応できる耐震治山工法の設計手法の研究・開発を引き続き行うこととしました。本稿は、平成19年3月、地質条件の適用性を拡大したロープネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針（案）の改訂について、平成20年度治山研究発表会で発表したものです。

1　耐震治山工法の構造

図1のとおりマサ土で耐震性が確かめられたR・R工法の構造を採用し、他の地質でも対応する汎用性に優れた工法として、設計手法の開発を目的としました。

2　地質の違い（Nc値プロファイル）

潜在崩土層（今後崩壊する可能性のある土層）を簡易貫入試験（Nc値）により把握することとし、図2に示すNc値プロファイルから、六甲山系等のマサ土はA、B型が卓越するタイプ（単層構造）、山崎断層周辺の古生層はC型が卓越するタイプ（二層構造）と分類できました（図3）。

3　すべり変形が卓越する二層構造の変形挙動

振動台模型の概要は図4のとおりで、模型の縮尺は実斜面の1/10としました。二層構造の作成は、現地調査結果に基づき上層（20cm）を「ゆるく」、下層（40cm）を「密に」締固めました。

単層構造と二層構造の無対策斜面における変形挙動は、0.3G加速度入力後の側面変位量が図5のとおりでした。単層構造は、変位量が上層から下層にかけて徐々に小さくなる「せん断」変形を示していますが、二層構造は上層部（200mm）がほぼ同様の変位量を示す「すべり」変形を起こしており、単層構造と二層構造では変形挙動が異なることがわかりました。

4　二層構造におけるR・R工法の対策効果

二層構造のR・R工法対策斜面では、図6のとおり0.5G以上の入力加速度でも破壊に至らないことがわかりました。これは、上層のすべり変形量に追随してボルト軸力、ネット張力が増加し、耐震効果が発揮されているためです（図7のとおり）。

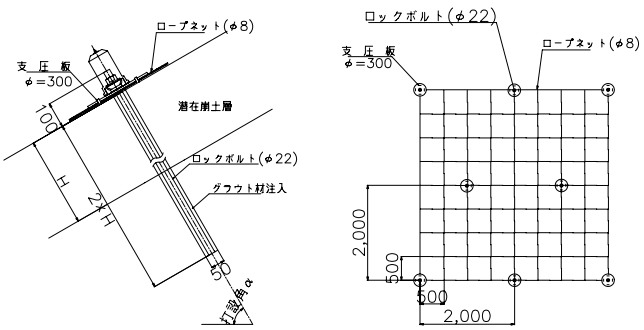
また、表1に示すように実験ではすべり変形量10%が局所破壊による損傷の限界であり、それ以上になると全体破壊することが確認されました。

5　変形量と安全率の関係

斜面方向のすべり変形量を移動層厚で除して無次元化したすべりひずみγsと、入力加速度、土の強度、ボルト軸力から求めた相対安全率Fsr（地震時のすべり抵抗力とすべり力の比、従来の安全率と区別するため新たに定義）は、図8のように近似式で表せることがわかりました。このような相対安全率との関数関係により、二層構造におけるすべり変形量の上限を10%とするR・R工法の適用性を相対安全率から判断する設計手法が確立されました。

なお、今後は許容変形量の妥当性の検証や維持管理、補修方法などについて検討する予定であり、工法の普及をおこなう研究会の設立を計画しています。

1）土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会：土木構造物の耐震設計ガイドライン（案）-耐震基準作成のための手引き-,2001.



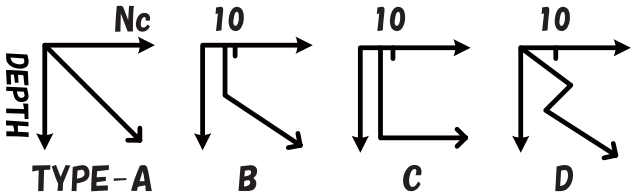
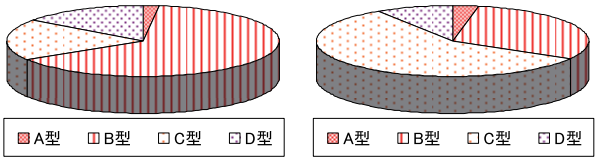


図2　Nc値プロファイル分類



マサ土(花崗岩)
(A、B 型が卓越する単層構造)

古生層(超丹波帯)
(C、D 型が卓越する二層構造)

図3　Nc値プロファイル分類例

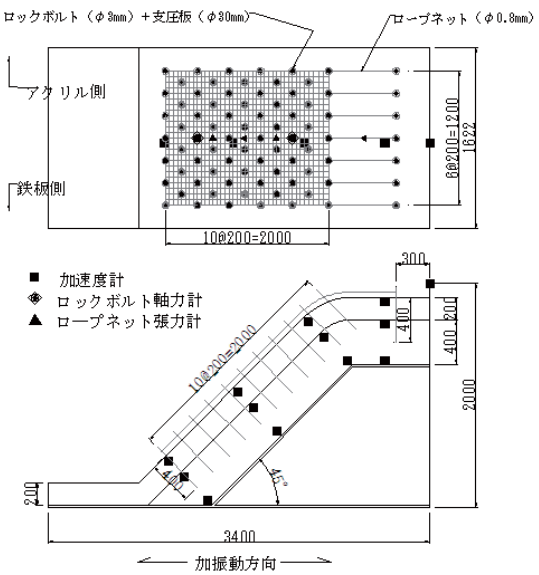


図4　二層構造模型実験の概要

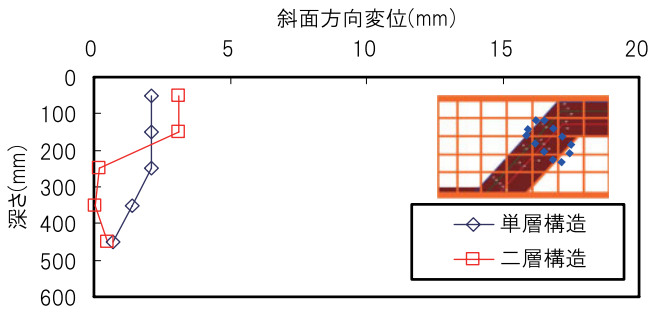


図5　地盤構造による変位量の比較

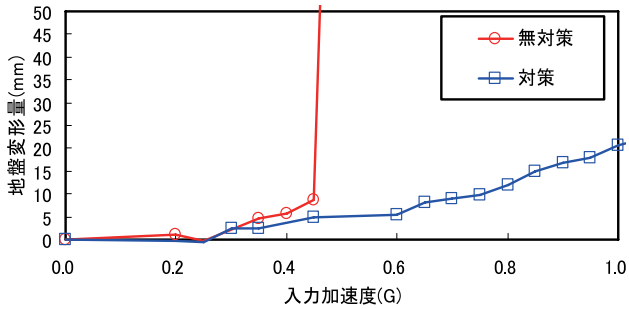


図6　斜面の変形量の比較（二層構造）

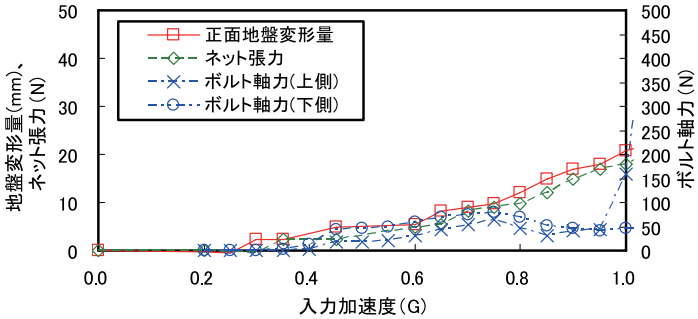


図7　加速度と変形量・軸力・張力の関係（二層構造）

表1　破壊状態の定義（二層構造）

破壊状態	破壊レベル	定義	ひずみ
亀裂発生	小	亀裂が発生した状態	—
局所破壊	中	局所的な崩落を含む天端沈下、のり尻隆起などの永久変形を生じる破壊	10%
全体破壊	大	連続した破壊面がのり尻を含む斜面全体を占める破壊	—

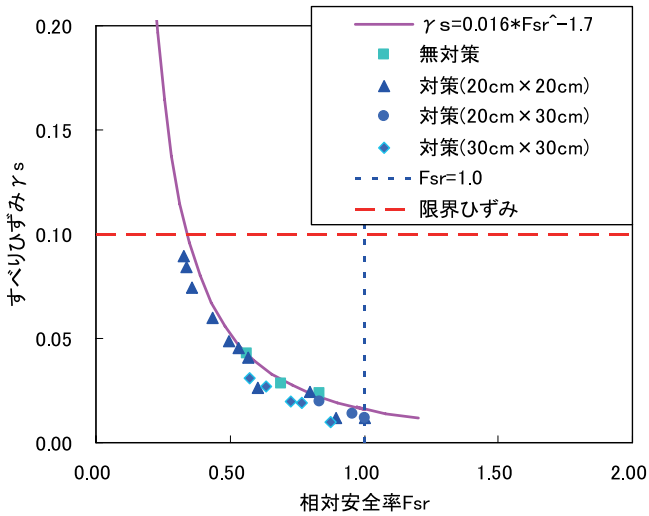


図8　すべりひずみと相対安全率

30　アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート治山ダムの対策工法

兵庫県六甲治山事務所　藤原　秀樹　兵庫県六甲治山事務所　杉山　和史
株式会社ダイヤコンサルタント　松田　文利

背景と目的

都市の後背地である六甲山系には1,400基を超える既設治山ダムがあり、所管している兵庫県六甲治山事務所が、平成13～16年度に目視点検調査を行ったところ、昭和40～50年代中頃に施行された治山ダムについて、セメントに含まれるアルカリ成分が骨材に含まれるシリカと化学反応して骨材とモルタルが乖離し、コンクリート構造物にクラックが発生する等（以下「アルカリ骨材反応」という。）の劣化が認めらました。

本稿は、コンクリート治山ダムの適切な維持管理を行うため、アルカリ骨材反応による劣化対策における調査概要及び修繕・機能強化工法の方向性を取りまとめたものであり、平成20年9月の治山研究発表会で発表したものです。

1　目視点検（1次）調査と対策の経過概要

昭和40～50年代中頃に施行された治山ダム849基のうち、約3割の堤体にアルカリ骨材反応による劣化が見られました。

このため、平成16年度に目視点検（1次）調査を行い、アルカリ骨材反応に関する兆候7項目の点数付けで劣化度を評価するとともに、治山ダムの施工位置上下流の状況・地形、保全対象等を加味した社会的条件の4項目について評価しました（表1）。

この評価結果から、優先的に対策工事を実施する治山ダム51基のリストを作成しました。

2　詳細（2次）調査について

対策工事における詳細（2次）調査として、目視可能な範囲の①クラック分布（クラック開口幅測定含む、写真1）、②超音波によるクラック深さ測定（図1）、③堤体のコンクリートコア圧縮強度試験と超音波伝搬速度等の測定（図2）、④2次元有限要素法による内部応力の解析（図3）、⑤採取した供試体によるアルカリ骨材反応の促進膨張試験（JCI-DD2法）等を行いました。

調査の結果、アルカリ骨材反応の見られる治山ダムの安定性については、貫通クラックに関してはダム堤体の安定を損なうものが見られたものの、堤体劣化部のコンクリート圧縮強度の評価値は最低でも10N/mm2であり、通常の内部応力に対する強度は確保されていることがわかりました。（図2、図3）。

さらに、促進膨張試験の結果からは、アルカリ骨材反応の進行がほぼ終期の状態であり、今後さらなるアルカリ骨材反応による劣化の可能性は極めて低いことが確認できました（図4、表2）。

3　修繕及び機能強化工法

治山ダムの機能回復を図る修繕工法は、止水とクラック充填を主な目的として、亜硝酸リチウム溶液と無機系注入材のクラック注入工、並びに無機系塗布材の表面塗布工を行いました。また、不安定な貫通クラックに対しては、鋼板・H鋼材で補強しました（写真2）。

機能強化工法では、既存の堤体にクラック注入工・表面塗布工を施工して修繕した後、土石流流体力を考慮した堤体断面となるよう新規コンクリートで増厚するとともに、現在の計画基準で必要な堤高に嵩上げする、増厚嵩上工法を行いました（写真2）。

4　今後の取り組み

これまでの取り組みから、今後は、治山ダムの断面構造タイプ毎に不安定となる貫通クラックの位置範囲を特定し、必要な対策工の諸元を設定する対策工設計マニュアルを作成したいと考えています。

また、平成20年度の国庫補助による機能強化事業の創設を機会に、土石流流体力を考慮した機能強化対策を主体とする治山ダムの改良により、アルカリ骨材反応による劣化対策を推進していきます。

表1　目視点検（1次）調査による評価項目

目視により点検・評価した項目リスト

＊アルカリ骨材反応に関する兆候（7項目）

① 横クラック開口幅
② 白色物質の有無
③ 漏水・漏水跡の有無
④ ポップアウトの有無
⑤ 堤体のハラミ
⑥ 段差の有無
⑦ アルコツ割れの割合

＊社会的条件（4項目）

① 下流に既設砂防堰堤の有無
② 保全対象までの距離
③ 渓床勾配
④ 保全対象の種類

写真1　クラック分布状況

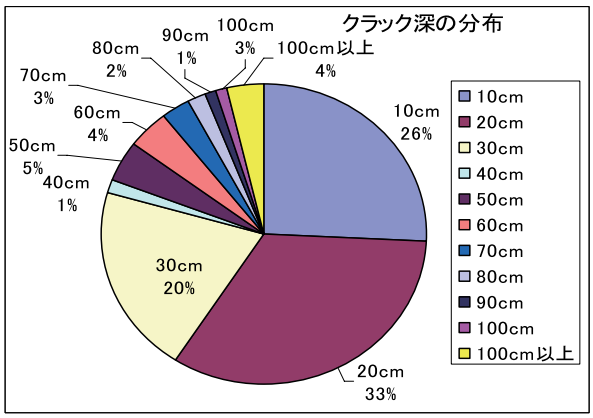


図1　クラック深の分布状況

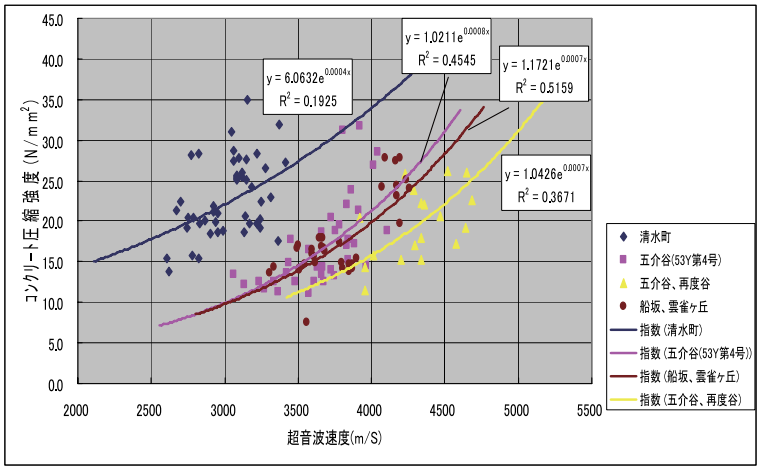


図2　採取コアのコンクリート圧縮強度と超音波速度の関係

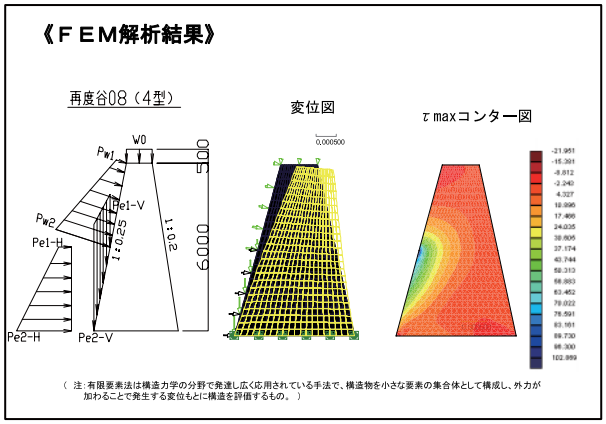


図3　二次元有限要素法による解析図

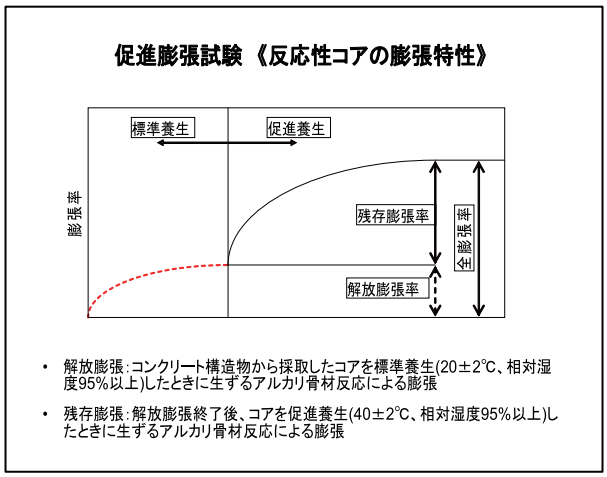


図4　アルカリ骨材反応による促進膨張特性

表2　供試体の膨張率

番号	業務名	膨張率（13週経過時）								
		試料①	試料②	試料③	試料④	試料⑤	試料⑥	最小	最大	平均
1	山都治山ダム（17単調第5号）	-0.001	-0.001	-0.003	0.005	0.000	0.000	-0.003	0.005	0.000
2	ロー里山治山ダム（18Y調第1号）	0.003	0.007	0.006	-0.001	-0.004	-0.008	-0.008	0.007	0.001
3	下谷上中一里山治山ダム（19K調第6号）	0.002	0.001	0.002	0.036	0.021	0.039	0.001	0.039	0.017

H鋼による貫通クラックの補強(水表)

クラック注入、表面塗布と嵩上工

写真2　修繕及び機能強化工事

31　養父市大久保地区における地すべり災害復旧について

兵庫県但馬県民局朝来農林振興事務所　高寄　誠　　国土防災技術株式会社　真弓教史

背景と目的

平成18年10月8日、養父市の鉢伏高原西側で幅200m、長さ200m、総移動土砂量は50万m^3を超えると推定される大規模な土石流の発生を伴う地すべりが発生しました（写真1、2）。当地区では昭和60年にも大規模な地すべりが発生しており、今回は旧地すべり地の上部から東側にかけて幅200m、奥行き50m、高さ25m程の土塊が新たに滑動しました。

鉢伏山から高丸山稜線の南側のほぼ全域が地すべり地形を呈しており、長期的には山頂部の斜面が不安定化して、滑落崖がさらに後退するような地すべりの発生が懸念されます。

本稿は、平成18～20年度に実施した災害関連緊急地すべり防止事業と治山施設災害復旧事業（総事業費約17億円）による対策計画と工事について、平成21年11月の治山研究発表会で発表したものです。

1　地すべり活動の状況

当地区の地質は、新第三紀鮮新世照来層群の安山岩と凝灰角礫岩が互層をなしています。

今回の地すべりにより、前回の地すべりの対策工が被災し、集水井工、アンカー工、法枠工、杭打工が破壊されて現場内で無残な姿をさらしており、地すべり滑動の大きさを物語っています（写真3、4）。また、下部渓流では谷止工、床固工、土留工等の大部分が埋没、破壊される等の大きな被害が発生しました（写真5）。地すべり発生の原因は、3日間で累積374㎜の豪雨により、大量の地下水が流入し、間隙水圧が上昇したことによると考えられています。

2　地すべりブロックの区分および対策工の概要

現地の状況、調査・観測の結果から、地すべりを3つのブロックに区分し、対策工を実施しました（図2）。

（1）本体ブロック

今回の地すべりで大きく滑動した中心の部分です。ブロック内の旧2号集水井がGL－12mで滑動により破断されたことや（写真6）、歪計観測、地下水検層の結果からすべり面を想定しました。なお、集水井の工事中に基岩上に明瞭なすべりの擦痕も確認されました（写真7）。

対策工は、排土工、地下水をブロック内に浸透させないための整地工、地下水を排除するための集水井工と集水ボーリング工、地すべりを抑止するための杭打工（鋼管抑止杭）を施工しています。

（2）背後ブロック

地すべり滑落崖から湧水が異常に多く見られ、前回の地すべり滑落崖が約40m山側に後退して発生していることから、今後も後退性の地すべりが発生すると考えられ背後ブロックを想定しました。

対策工は、滑落崖面の湧水対策として滑落崖上部に集水井工と集水ボーリングを施工し地すべりブロック内に流入する地下水を排除した後、滑落崖面の安定を図るために法枠工とアンカー工を施工しました。

（3）残留ブロック

既設法枠工とアンカー工が被災した区域で、土塊が完全に移動しきれず残留している状態にあり、基岩直上部の脆弱な強風化層をすべり面と判断し、地すべりブロックを想定しました。

対策工は、表層部の法切を行った後、アンカー工併用の法枠工を施工し斜面の安定を図ります。

3　施工効果および今後の対策について

本体ブロックの工事はすべて完了し、現在は目標安全率を上回り、地すべりは安定している状態となっています（写真8～10）。

今後の対策は、地すべりの背後への拡大を防止する工事、本体ブロック末端の崩壊対策の山腹工事を進めていき、全体の概成に向けて工事の進捗を図っていきます。

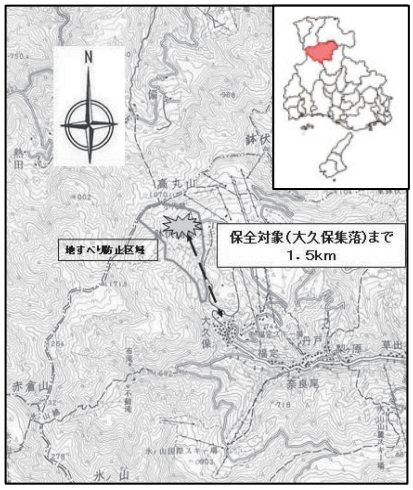


図1　位置図

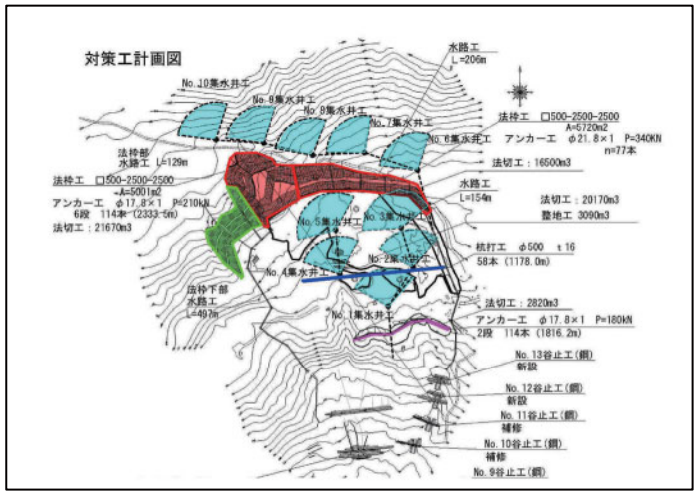


図2　対策工平面図

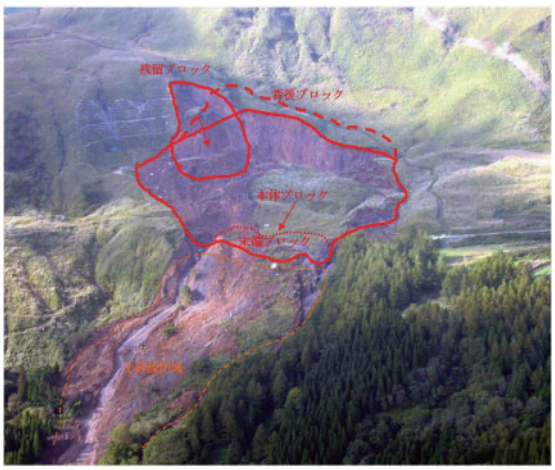


写真1　全景（被災直後）

写真2　地すべり上部の状況

写真3　被災した集水井

写真4　被災したアンカー工

写真5　被災した下流治山ダム

写真6　途中で破断された既設集水井

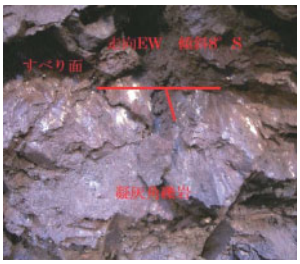


写真7　集水井掘削で確認された擦痕

写真8　地すべり復旧状況全景（H21.10）

写真9　下流治山ダム復旧状況（H21.10）

写真10　地すべり本体ブロック復旧状況（H21.10）

32　平成21年台風第9号災害を踏まえた兵庫県の総合的な治山対策の推進

兵庫県農政環境部治山課　　林　一郎

背景と目的

平成21年8月9日～10日にかけて、台風9号の影響で兵庫県下に暖かく湿った空気が連続して流れ込み、播磨北西部から但馬南部にかけて24時間雨量200㍉以上の記録的な豪雨をもたらしました。この集中豪雨では、死者20人、行方不明2人のほか、家屋の全半壊が1,100棟以上、床上・床下浸水が約1,800棟等、甚大な被害が発生するとともに、山地・森林については、風倒木被害地等の谷筋からの流木・土石流など特徴的な被害が発生しました。

本稿は、局地的で記録的な豪雨の発生が頻発する現状から、今回発生した山地災害を分析し、今後同様な豪雨災害に備えるための「山地防災・土砂災害対策緊急5箇年計画」の取り組みについて、平成22年7月の砂防学会誌「新砂防」に掲載されたものです。

1　山地災害の発生の場所

第1の特徴は、風倒木被害地の再度災害の発生です。兵庫県では平成16年に4個の台風が接近し、県内の人工林において風倒木被害が広域的に発生しました。この度の台風9号による強雨区域が、平成16年の主な風倒木被害区域と重複したことが、再度災害発生の原因といえます（図1、2、写真1）。

第2の特徴は短時間の強い降雨量により、流域の小さな谷筋からの異常出水が顕著であり、谷筋の人工林が土石流に巻き込まれて流木化している事例が多かったことです（写真2）。

山地災害が発生した178ヵ所について整理すると、人家裏山の小規模災害を除く出水型災害の57ヵ所の内、49ヵ所（約86%）が谷筋人工林で発生し、崩壊型災害の71ヵ所の内、45ヵ所（約63%）が風倒木被害地で発生していました（表1）。

2　流木災害

災害の形態的な特徴として、流木を挙げることができます。河川の異常増水により河畔林の立木が流出し、下流の橋などに流木が絡まり河道を閉塞させ橋梁等の流出や破損、水害被害を拡大する結果となりました（写真3）。なお、河川に流入した流木発生源調査が行われ、佐用町の庵川・水根川流域、船越地区、朝来市の神子畑流域において、内訳は、立木が81%、間伐木が10%、風倒木が9%と報告されました（表2）。

3　既設山腹工・谷止工の施工効果

写真4は、山腹工及び治山ダムの施工効果の事例です。隣接する未施工箇所の崩壊と対照的で、この崩壊により発生した流木・土砂は下流の治山ダムで抑止されています。

4　山地災害に対する復旧・復興への取り組み

この災害を契機に、県では県土整備部砂防課並びに農政環境部治山課及び豊かな森づくり課が一体となり、治山ダム・砂防えん堤の重点整備と災害に強い森づくりを総合的に推進する「山地防災・土砂災害対策緊急5箇年計画（平成21～25年度）」を樹立しました（図3）。

治山ダム・砂防えん堤については、この5ヵ年間は従来の整備量の概ね2倍の量を整備し、特に被害の集中した風倒木被害地と谷筋人工林を対象に「流木・土砂流出対策」として、新規県単独事業で実施することにしています。

なお、現在山地の人工林資源の成熟化が進んでいることから、今後崩壊が発生した場合、土砂のみならず流木の発生が懸念される事態となっています。治山ダムの設計にあたってはスリットダムの検討が必要と考えています（写真5）。

また、災害に強い森づくりによる森林整備については、流木発生を抑止するため危険木除去や災害緩衝林育成等による整備を行うことにしています。

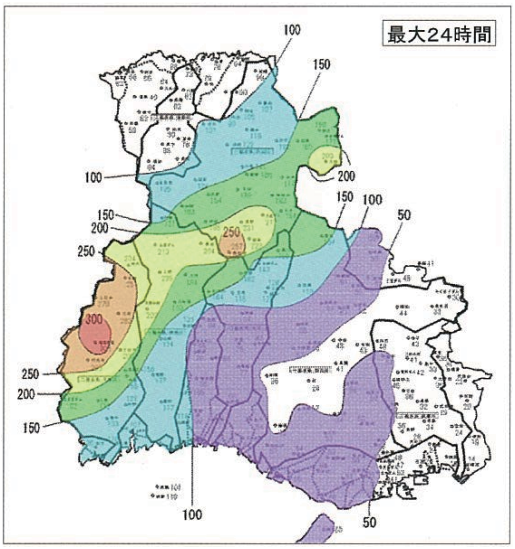


図1　24時間降雨分布

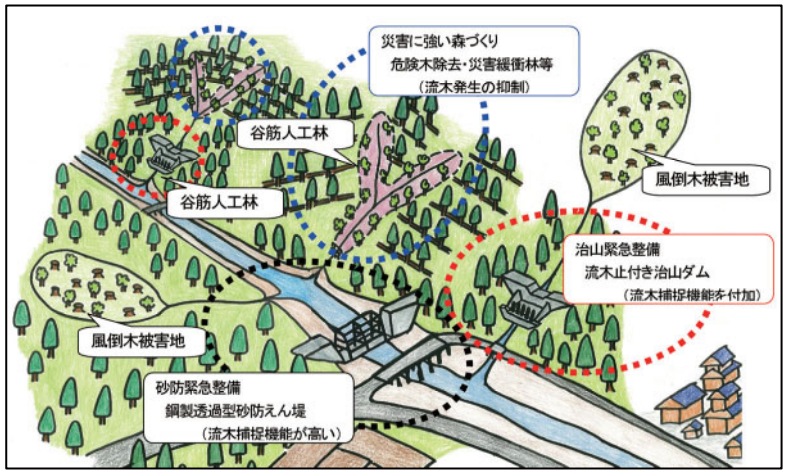


図3　山地防災・土砂災害対策緊急5箇年計画のイメージ図

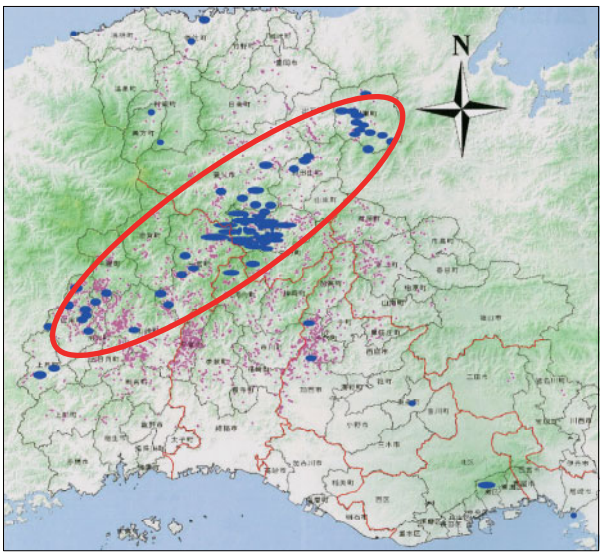


図2　山地災害発生箇所（青丸）と風倒木被害地（赤点）

表1　山地災害の発生場所と形態（単位;箇所数）

区　分	出水型	崩壊型	計
谷　筋	*52（3）*	0	52（3）
風倒木被害地	5	*45*	50
その他	0	26（13）	26（13）
計	57（3）	71（13）	128（16）
人家裏小崩壊	18	32	50
合計	75（3）	103（13）	178（16）

※（　）は天然林で内数
※谷筋と風倒木被害地の災害割合はほぼ同じ。
※災害形態は、崩壊型がやや多い。
※出水型の約86%（52-3/57）が谷筋人工林で発生。
※崩壊型の約63%（45/71）が風倒木被害地で発生。

写真1　風倒木被害地の崩壊
（佐用町船越）

写真2　人工林の谷筋での荒廃
（朝来市田路）

写真4　風倒木被害地で流木・土砂流出を抑止した山腹工・治山ダム（宍粟市一宮町）

写真3　流木の閉塞による橋梁破損
（朝来市新井、円山川）

表2　河川に流出した流木の発生源内訳（単位;m^3）

区　分	立　木	間伐木	風倒木	計
佐用町	207 (76%)	14 (5%)	53 (19%)	274 (100%)
朝来市	1,549 (81%)	209 (11%)	149 (8%)	1,907 (100%)
合　計	1,756 (81%)	223 (10%)	202 (9%)	2,181 (100%)

出典：平成21年台風第9号災害の復旧・復興計画、
平成21年12月、兵庫県災害復興室

写真5　流木の捕捉に有効なスリットダム
（佐用町大船）

33　現地発生材の有効利用について－石材現地破砕と撤去丸太の再利用－

兵庫県但馬高原林道建設事務所　　小長井　信宏

背景と目的

兵庫県北部但馬地域に位置する森林基幹道三川線は、硬い地層と柔らかい地層とが分布している地域にあります。硬い地層は硬岩・中硬岩が約半数を占め、一方柔らかい地層は強風化軟岩を主体としており、シルト分・含水比が多くCBRが1%を下回る区間もあり、路床・盛土の築造が極めて困難な状況にありました。また、残土場の確保が困難な地域であり、既設工事の残土場の上に山盛りにして仮置きしていました。

今回報告する取組みでは、この残土を石材と土砂とにふるい分け、砕石や埋め戻し土砂として舗装工・路床土置換えに有効利用することで、残土処分量の縮減を図りました。本稿は、平成20年9月の近畿中国四国地区第45回治山林道研究発表会で発表したものです。

1　残土の有効利用（路盤・路床材）

（1）残土ふるい分け（写真1）

残土をスケルトンバケット#240と#150の2段階使用により、石材と土砂にふるい分けました。

（2）石材現地破砕（写真2）

ふるい分けした石材を破砕して砕石に製造していく過程です。製造効率をあげるため、大型ブレーカーで石材を小割りし、スケルトンバケットバックホウで20t自走式破砕機へ投入しました。また、破砕砕石の場内整理・はねつけは、バックホウ0.6m^{3}を使用しました。

破砕して製造した砕石の材料試験を行いました。その結果、粒度分布は道路用砕石C－40の規格に収まり（表1、図1）、適正な路盤材として使用が可能であることがわかりました。

（3）舗装工、路床土・盛土の置換（写真3、4）

現地で破砕した砕石材は、下層路盤として使用しました。施工業者からは、締め固まりやすい砕石だとの評価を得られました。ふるい分けした土砂は適度に礫を含んでおり、土質試験の後、強風化軟岩地域での置換え路床土・盛土として有効利用しました。

2　残土の有効利用に係るコスト分析

残土ふるい分け・現地破砕による路盤材は、購入砕石に比較して大幅なコスト増となりました。

一方、残土ふるい分け・路床土等の置換えは、セメント系固化剤での安定処理に比較して経済的となりました。

これらの経費に、同工区における過去4年間の残土処分経費（盛土留かごよう壁、排水施設、盛土等の経費）を合計し、残土1m^{3}当たりの割り出し単価を比較したところ、今回の取組み全体で1,019千円のコスト縮減を果たしたことが分かりました（表2、3）。

3　撤去丸太の再利用・コスト分析

また、現地発生材の利用方策として、既設の丸太柵工に注目しました。切土法尻に設置していた丸太柵工のうち、積雪グライドにより倒壊したものについて、撤去丸太から腐朽の進行していないものを分別して、丸太積工に再利用しました（写真5）。

丸太柵工の撤去・分別・廃材処分の経費は、同規格の丸太（丸棒加工材）を購入した場合と比較して、373千円のコストが縮減できました（表4）。

4　まとめ

硬い岩盤の切土や残土処分場がないため仮置きした残土及び軟弱な路床等、悪条件をうまく噛み合わせることにより、お互いの欠点をカバーさせてしまうという逆転の発想が実現しました。

また、今回の取り組みにおいては経済的にも有利でしたが、運搬車両からの排出ガス削減、路面の損傷や沿線住民の負担の軽減等、経済性以外の視点からも現地発生材の有効利用に努めるべきだと考えます。

表1　現地破砕砕石の材料試験

試験の種類	試験項目	規格値 下層路盤材 （切込砕石等）	現地破砕砕石 試験結果	
			試験施工	本施工
骨材ふるい分け試験	粒度分布	0.074mmふるい 通過重量 10%以下	0% （別表2）	1% （別表2）
修正CBR試験	修正CBR	10%	29.8%	58.6%
液性・塑性限界試験	0.4mmふるい 通過分のPI	9以下	5.7	8.0

出典：　簡易舗装要綱　（社）日本道路協会
林道必携（技術編）

図1　破砕砕石の粒度分布

規格値は切込砕石（C－40）

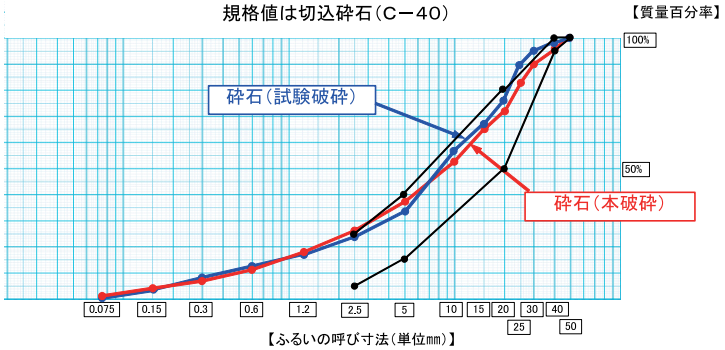


表2　経済比較①（残土有効利用）

■残土有効利用経費

項目	数量	単価	金額	割出単価
		円	円	円
路盤材現地破砕経費				
土砂ふるい分け	395 m3	620	244,900	
現地破砕	395 m3	3,408	1,346,160	
自走式破砕機設置撤去	1 式	82,806	82,806	
ﾊﾞｯｸﾎｳ積込み	395 m3	156	61,620	
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ運搬	395 m3	717	283,215	
積上げ運搬費	1 式		253,000	
小計	395 m3		2,271,701	**5,751**
路床土・盛土置換え経費				
土砂ふるい分け	1,065 m3	620	660,300	
ﾊﾞｯｸﾎｳ積込み	1,065 m3	156	166,140	
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ運搬	1,065 m3	430	457,950	
路床土置換え	1,065 m3	285	303,525	
小計	1,065 m3		1,587,915	**1,491**
計	1,460 m3		**3,859,616**	**2,643**

■通常経費（比較）　金額は直接工事費

項目	数量	単価	金額	割出単価
		円	円	円
路盤材購入				
材料費（RC－40）	395 m3	2,650	1,046,750	
小計	395 m3		1,046,750	**2,650**
路床土・盛土改良経費				
路床土ｾﾒﾝﾄ改良　CBR=20	615 m3	3,034	1,865,910	
盛土改良　EX-60	450 m3	321	144,450	
（水平排水材）				
小計	1,065 m3		2,010,360	**1,887**
残土処分経費	1,460 m3	1,248	1,822,080	
小計	1,460		1,822,080	**1,248**
計	1,460 m3		**4,879,190**	**3,341**

表3　残土処分経費一覧表

工事名	残土量	残土処分経費				伐採経費	立木補償	経費合計
		カゴ枠土留	排水施設	法面保護	残土盛土			
	m3	円	円	円	円	円	円	円
16単基3－5	0	0				0	0	0
17単基3－5	0	0				0	0	0
18基3－5	3,111	358,110	440,673	107,414	2,084,956	198,000	180,000	3,369,153
18基3－6	14,740	2,763,435	1,413,295	181,764	12,280,576	743,000	133,000	17,515,070
19基3－5	0	0				0	0	0
19基3－6	2,070	1,425,240	759,939	238,166	1,563,260	0	0	3,986,605
計	**19,921**	4,546,785	2,613,907	527,344	15,928,792	941,000	313,000	**24,870,828**
	m3	円	円	円	円	円	円	円

1m3当たり残土処分経費　　1,248 円

表4　経済比較②（撤去丸太再利用）

■廃材再利用経費

項目	数量	単価	金額	割出単価
		円	円	円
丸太柵工撤去・分別	626 m			
丸太柵工除去	8 日	73,420	587,360	
丸太・鉄筋分別	3 日	50,232	150,696	
小計	25 m3		738,056	
廃材処分経費				
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ運搬（4t）	4 m3	1,933	7,732	
産廃処分（木材）	3 t	12,000	36,000	
鉄くずスクラップ	1,150 kg	−27	−31,050	
小計	4 m3		12,682	
計（数量は差し引き）	21 m3		**750,738**	**35,749**

■通常経費（比較）　金額は直接工事費

項目	数量	単価	金額	割出単価
		円	円	円
購入丸太				
丸棒（φ100）	1,050 本	1,070	1,123,500	
計	21 m3		**1,123,500**	**53,500**

写真1　ふるい分け作業

写真2　現地破砕

写真3　下層路盤工

写真4　盛土材料の置換え

写真5　丸太積工施工状況

34　県営林道沿線から木材搬出を促進するための取り組みについて

兵庫県但馬高原林道建設事務所　橋本　志信　　兵庫県但馬高原林道建設事務所　栗林　健一

背景と目的

路網整備と高性能林業機械による搬出コストの低減が課題となっているため、兵庫県では、平成18年度から既設県営林道の利用区域内に特化して「路網整備」と「木材搬出」を促進する目的で「路網拠点林道整備事業」に取り組んでいます。

当事業は、グラップル・プロセッサ・フォワーダ等の車両系作業システムに対応した「作業土場の整備」や、「200m程度の短距離支線開設」を行うハード事業です。新規の県単独事業としてスタートし、試験的に行った事業地５箇所の整備が本年度完了しました。本稿はその成果をとりまとめ、今後の課題等について検討を行ったものであり、平成20年10月林道研究発表会で発表したものです。

1　“つかう”ための課題整理と新たな施策展開

木材生産基盤となる県営林道を“つくる時代”から“つかう時代”へ転換すべく、林道の問題点等の意見を聞くために利用者を集めた会合を開き、頂いた意見を基に課題を大きく2つに大別しました（図1）。

これらの課題を解決するための4つの取組方針、ⅰ「木材の搬出を行うこと」、ⅱ「作業道との接続を重視すること」、ⅲ「高性能林業機械に対応した林道施設にすること」、ⅳ「他のセクションとの連携・情報共有を図ること」を設定し、新たな施策として“路網拠点林道整備事業”を構想しました（図2）。

2　事業候補地の決定

地域毎に候補地選定作業を行う組織（図3）を編成し、山元に利益が出る取り組みとなるよう候補地の選定作業を行いました。候補地の選定基準は次の3つの条件をすべて満たす箇所としました（図4）。

① 森林基幹道の供用箇所
② 7齢級以上の人工林が集中している箇所
③ 技術面及び経費面で森林所有者、林業事業体が森林基幹道に作業道を接続できない箇所

この条件による選定の結果、29箇所候補地を選定し、木材を搬出するために必要な要素（路網整備計画、木材搬出計画等）による評定を行い、評点の高い5箇所を優先実施することにしました。

3 設計方法と施工事例

（1）設計方法

素材生産施設の設計にあたっては、効率的な素材生産を行っている現場を参考にし、3つのポイントを整理しました。

① 積込場所を1.0m～1.5m高くするなど、作業土場、集積所等を適正に配置する（写真1・2）。
② 10m以上のトラック車廻しや、幅約8m以上の作業土場を設置する（図5）。
③ 流通コスト縮減に向け、現場から製材工場へ直送可能となるよう、「路網拠点林道」の想定をホイル型車両とし、林道3級規格を標準とする（図6）。

（2）施工事例

森林基幹道峰山線では、2ヵ所の路網拠点施設を整備しました（図7）。森林所有者が路網拠点を使って作業道を開設し、58haの木材搬出計画区域を定め、林内路網密度を148m/haとする計画を作成しました。路網拠点施設の利用状況は、写真3のとおりです。

4 まとめ

林業事業体、行政の各セクションの実務者、所有者が一つの目標に向かって取組んだことにより、間伐関連事業などとの連携が図られ、林業事業体、所有者の施業意欲が向上し、実効性の高い事業計画を作成することができました。その結果、路網を活かした木材搬出が実施されました。今後は、提案型集約化施業などを取組むとともに、市町営林道へ事業展開することで、地域木材資源の利活用が促進されると期待されます。

① 近くまで作業道がきているが、林道の敷地は県の土地なので接続できないと思っていた。
→ 他人の土地に対する遠慮
作業道と林道をつなぐ施策を展開していない。
② 法面や、盛土が高くて、山に入れない。
作業スペースがない。
→ 林道利用者にとって使いやすい施設ではない。

新たな施策展開

図1 “つかう”ための課題

写真1 トラック積込効率の改善

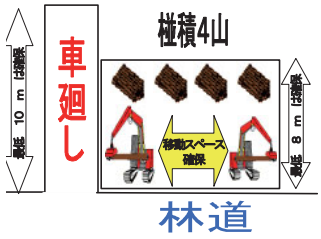


図5 トラック車廻しと作業スペースの工夫

図2 “路網拠点林道整備事業”イメージ図

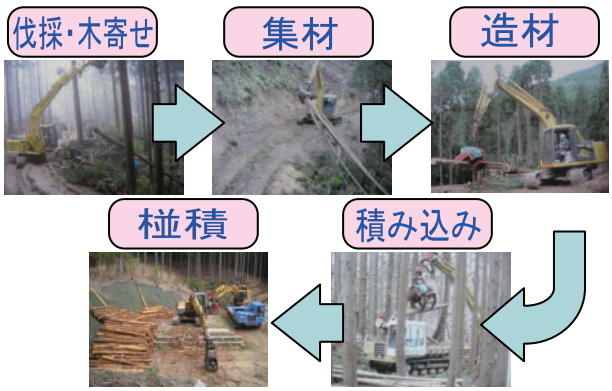


写真2 作業土場・集積所の適正配置

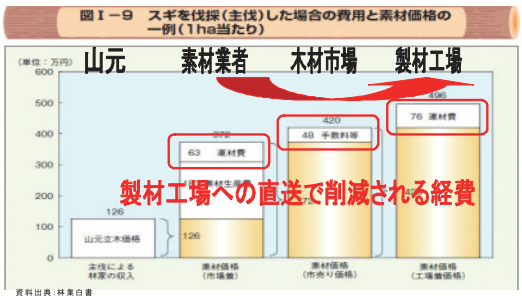


図6 流通コストを削減するための工夫

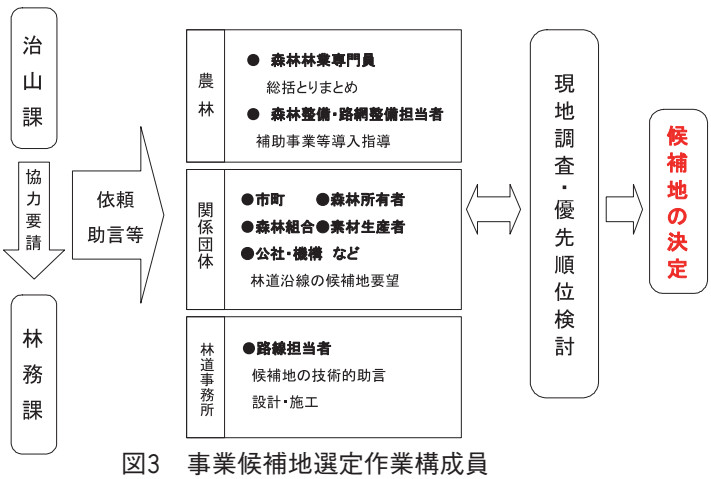


図3 事業候補地選定作業構成員

図7 路網拠点整備箇所図(峰山線)

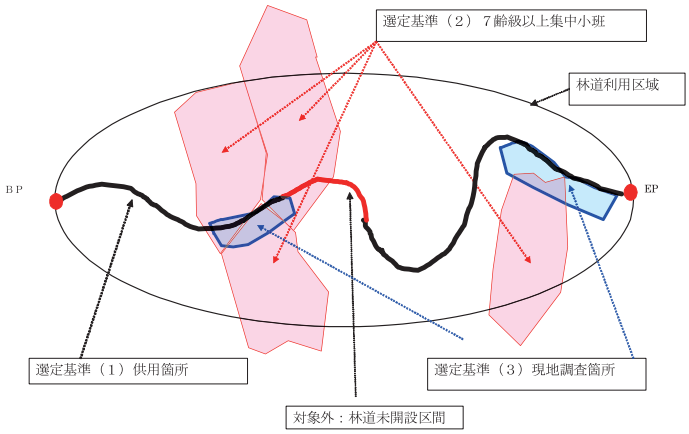


図4 選定基準イメージ図

写真3 路網拠点利用状況

35　在来種を排除した法面緑化配合について

兵庫県但馬高原林道建設事務所　宗接　聖史　　兵庫県森林林業技術センター　山瀬　敬太郎

背景と目的

これまでに林道事業の法面緑化で使用されている植物種子には、平成17年に施行された外来生物法の「要注意外来生物リスト」に掲載されている外来種子や国内の在来種とは遺伝系統的に異なる「外国産在来種」が含まれており、地域特有の生態系の破壊や遺伝子撹乱につながり、生物多様性保全へ悪影響が懸念されています。

このため、兵庫県では平成17年度にプロジェクトチームを立ち上げ、外来生物法に適合した新たな緑化配合の調査・検討を行ってきました。本稿は、従来緑化の問題点を明らかにし、改善対策に加え、新しい種子配合を決定し、その現場適合性の検証結果について、平成20年10月の第44回林道研究発表会で発表したものです。

1　従来緑化の問題点

これまで配合してきた外来種ウィーピングラブグラスは、発芽良好で成長も早く、初期緑化に適していますが、強靱で強い侵略性を持つことから、周辺の在来種の生息場所を奪うなど、生態にも影響を及ぼしています。また、環境の配慮面から配合してきたコマツナギなど在来種においても、単価、流通面での理由から、国内産と遺伝子レベルの違う外国産が多く混入され、交雑による遺伝子撹乱が指摘されています。

2　改善方法の検証

従来の5種配合（ウィーピングラブグラス、トールフェスク、ヨモギ、メドハギ、ヤマハギ）による緑化を行った8路線において、周辺からの在来種の侵入と遷移状況について調査検証しました。その結果、コナラ、タラノキ、アカマツ、カラスザンショウなどの配合種以外の自生の在来種5～14種が確認されました（表1・写真1）。この結果から、初期においてリスクの高い在来種を配合せずとも植生遷移が期待されると判断され、今後、自生種の侵入増加や成長を促進していく上で、侵略性の高い外来種と外国産在来種を排除した、新しい種子配合を検討することとしました。

3　新しい種子配合の決定

種子の選定にあたっては、一般に流通していることや施工実績を考慮したうえで、侵略性の高い要注意外来種、花粉症の原因とされる種を排除し、冬草ではクリーピングレッドフェスク、レッドトップ、夏草ではバミューダグラス、肥料種としてマメ科のホワイトクローバーの新しい4種を選定しました（表2）。この新しい種子配合は、種子吹付工をはじめ、植生マット、補強土壁の壁面緑化等の二次製品において、林道工事の仕様として採用することとしました。

また、発生期待本数については、現地周辺からの木本種の侵入が期待できること、その侵入が容易となるよう、道路土工指針の掲載値（下限値）を参考に、草本群落の目標数を1,200本／㎡としました。

4　新しい種子配合による緑化の検証

新しい種子配合による初期緑化と在来種の侵入状況について調査し、現地での適合性を検証しました。宍粟市、香美町での2路線6ヵ所において、植被率と植物種を調査した結果、全ての箇所において、施工後3ヶ月で、基準の植被率70%を超え、降雨による表土侵食も確認されず、さらに、タケニグサ、クマイチゴ、マツカゼソウ等、数種類の先駆種の侵入も確認されています。新配合による初期の緑化目標は達成され、その後は、在来種主体の植生遷移も期待できるものと考えられます（図1・写真2・3）。

今後、草本類の衰退、侵入在来種状況の継続調査や自生種の移植や埋土種子を利用した緑化手法の開発研究を進めることが必要です。

表1　調査路線の法面状況と在来種の侵入状況（林道笠形線）

調査地名	現地条件				法面内で確認した自生種数
	経過年数	法勾配	上部状況	緑化工法	
笠形①	14 年	8 分	天然林	植生シート	11 種類
笠形②	11 年	8 分	人工林	植生シート	14 種類
笠形③	6 年	5 分	天然林	厚層基材	11 種類
笠形④	5 年	5 分	天然林	厚層基材	6 種類
笠形⑤	4 年	8 分	人工林	植生シート	14 種類
笠形⑥	3 年	5 分	天然林	厚層基材	5 種類

写真1　従来配合による法面状況

表2　配合種子の選定検討

種　　名	施工実績	外来生物法 要注意外来生物	兵庫県 問題種※	花粉症	総合評価
イタリアンライグラス		×		×	
ウィーピングラブグラス	○	×	×		
オーチャードグラス		×	×	×	
クリーピングレッドフェスク	○				採用
ケンタッキーブルーグラス	○		×		
ホワイトクローバー	○				採用
トールフェスク	○	×		×	
バミューダグラス	○				採用
ペレニアルライグラス		×	×	×	
レッドトップ	○				採用

※兵庫県外来種対策に向けた提案より（文献引用）

決定

種　　名	分　類	特　　徴
クリーピングレッドフェスク	冬 草	高冷地でも好成績。
レッドトップ	冬 草	高冷地でも好成績。2～3 年で衰退。
バミューダグラス	夏 草	暑さ、乾燥に強い。
ホワイトクローバー	マメ科草本	窒素を固定する根粒植物。

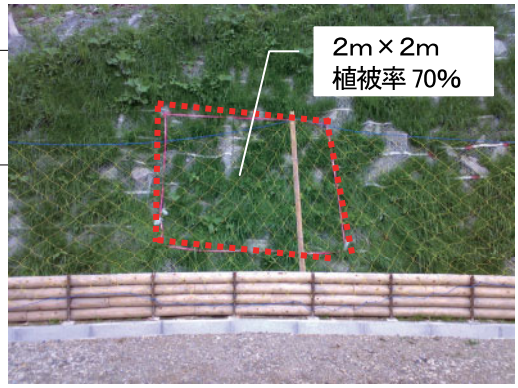


写真2　新配合による緑化調査（1ヶ月）

写真3　侵入した在来種
タケニグサ（左）、タラノキ（右）

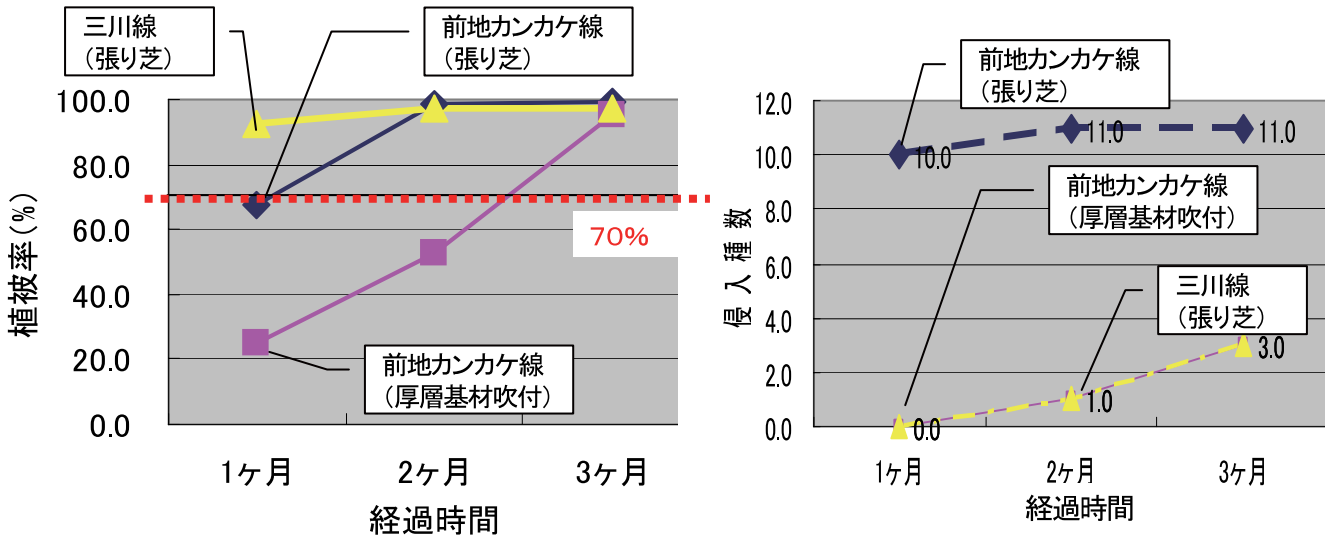


図1　植被率の推移（左）と在来種の侵入種数（右）

36　保安林解除の意見聴取事案の具体的対応

兵庫県神戸県民局神戸農林水産振興事務所　　太田　雄一郎

背景と目的

神戸市北区有馬町内の土砂流出防備保安林の解除予定告示に対して、平成14年11月に地域住民の方々33名より異議意見書が提出されました。主な反対理由は、解除予定地が過去に違法開発のあった場所であり、解除にすれば行政が違法行為を追認することになるとのことでした。県としては、森林保全による公益保護を争点とした開発事業者・地域内での賛成派と反対派の対立による地域紛争を避けるため、双方協議による合意解決を目指しました。

本稿は、異議意見書提出の資格者の特定や開発による防災施設計画に関する技術的課題について取りまとめたものであり、平成17年6月の森林保全研究会会報「しんりんほぜん」に掲載（平成16年11月投稿）されたものです。

1　解除申請計画の概要

平成12年11月、事業者Aが新規建設計画したホテルへの進入道路の幅員確保のため、保安林（幅6m延長190m、図1、図2）の解除が必要となり、事業者Aから保安林解除申請書が提出されました。

県は保安林転用に代替する防災施設計画が適正と判断し、平成14年10月に解除予定の告示をしました。

2　異議意見書提出の資格者

異議意見書提出の資格者は、法令により当該保安林の解除に直接の利害関係を有する者とされていますので、土砂流出防備保安林の趣旨から、解除申請地の下流域における土砂流出及び洪水氾濫の恐れのある区域に関係する者を範囲としました（図3）。

（1）土砂流出に関する区域

現地は過去に大規模な土砂流出被害が発生していない状況でした。しかし、既往調査例（S51小豆島ほか）[1)]による河床勾配から見た崩壊・土石流の到達範囲（ピンク色）及び地形地物区分による土砂氾濫の範囲（水色）を図4のように決定しました。

（2）洪水氾濫に関する区域

保安林が転用された場合の洪水ピーク流量の増加率が1%以上の範囲で、30年確率降雨強度で下流市街地の水路が溢水する場所とし、合理式計算による溢水範囲（ピンク色）及び地形地物区分による溢水の氾濫範囲（水色）を図5のように決定しました。

3　主な異議意見と県の見解が対立

平成15年2月の意見聴取会における「解除は、過去の不法開発（舗装面の道路利用）を追認する『やり得』」との意見に対し、県は同年7月の説明会で「事業者Aが復旧命令の履行工事を継承・完了して違法状態が解消され、改めて保安林解除申請を受けたもので『やり得』はない」と回答する等、議論は平行線でした。

県は、これからの事業者Aと地域住民双方の協議により解決するものであると判断し、同年9月に解除を前提とする工事開始を許可しました。

4　解決に向けた事業者Aと地域住民の主張

平成15年10月より、県は事業者Aと地域住民の双方が話し合うテーブルを仲介しました。防災施設計画に関する争点を表1に示します。地域住民は、解除しない保安林斜面（図2残置保安林）の安全に言及する等、従来にない課題の検討が必要となりました。

復旧命令の履行工事時の地質調査から、阪神淡路大震災の震度でも斜面は安定するものと評価できましたが、長期的には経過観察等の監視を行う等、より安全性の高い開発についての協議が模索されました。

その結果、双方は地域の発展を前提に防災、ホテル計画の縮小、環境保全など計十項目の覚書を定め、平成16年10月に基本合意が成立しました。

1）芦田ら（1985）；河川の土砂災害と対策、森北出版、第三章P70

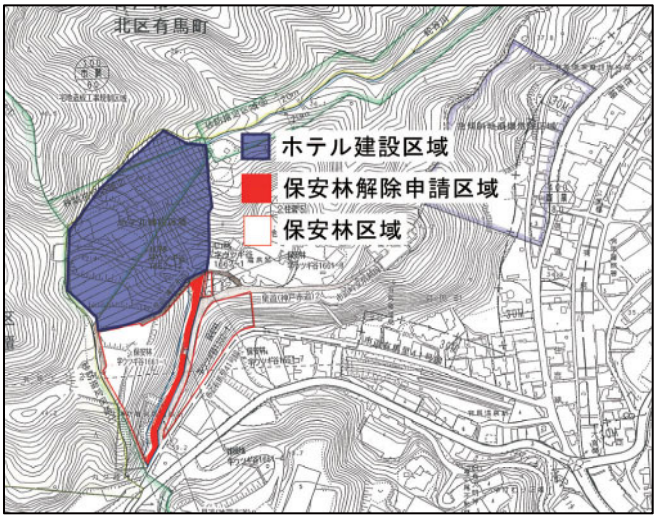


図1　位置図

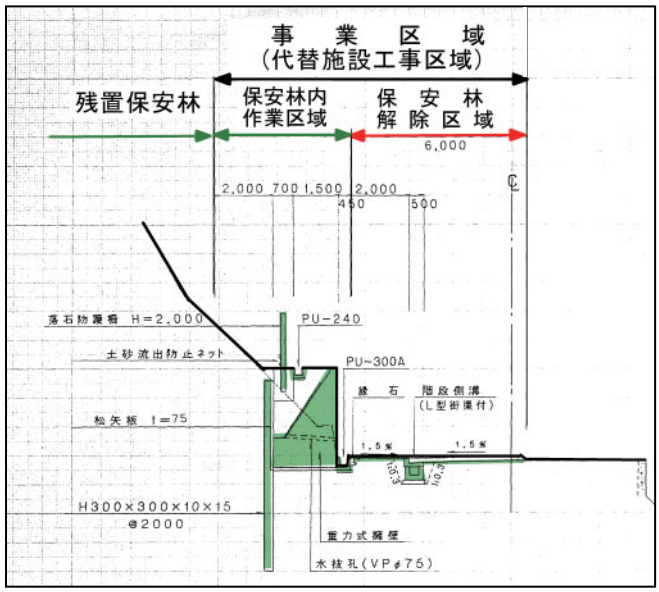


図2　事業区域の標準横断面図

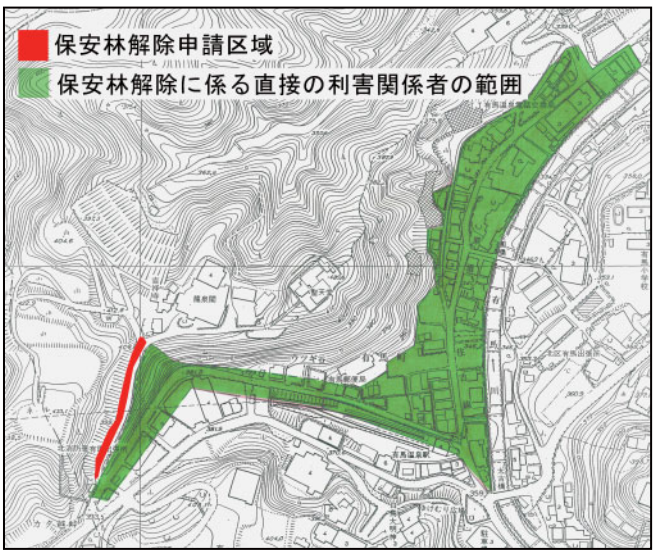


図3　保安林解除の直接の利害関係者の範囲

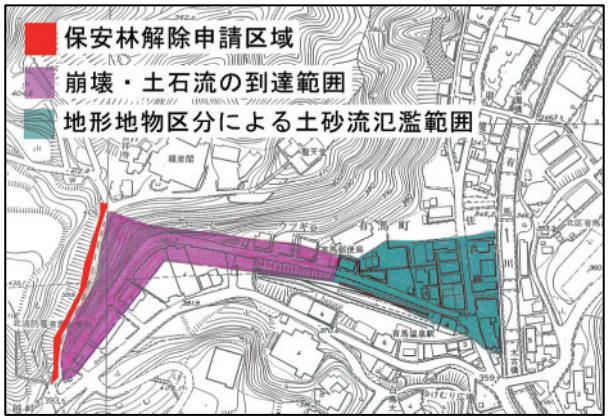


図4　土砂流出の恐れのある区域

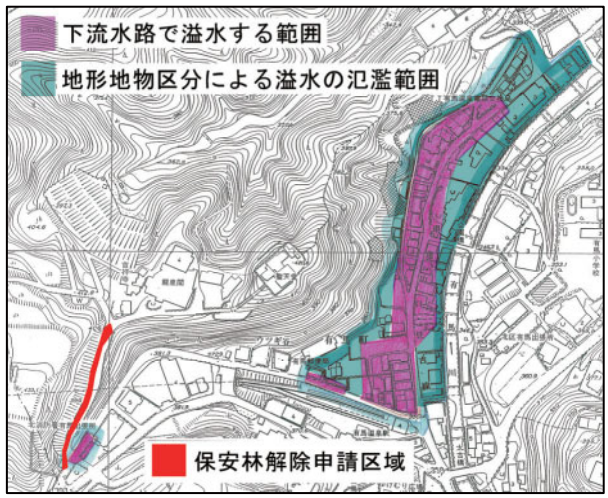


図5　洪水氾濫の恐れのある区域

表1　解決に向けた地域住民と事業者Aの主張

争点	地域住民	事業者A
保安林下流の水路改修計画	S13、S42 の大災害時の雨に対して安全といえない。	S13、S42 の既往最大 10 分雨量よりも設計雨量は大きいので安全。
保安林斜面の安定性	保安林解除した後に残置される保安林は豪雨時、地震時には危険性が高い。	調査データで計算した安全率から、いずれの場合も安全。 長期的観点からは、常に経過観察等の監視が必要。
洪水調整池の設計容量	洪水到達時間を詳細に計算すると容量が不足。	県技術基準に適合している。

37　里山における防災機能向上への取組について

－「県民緑税」を活用した里山防災林整備の取組とその効果 －

兵庫県農政環境部治山課　上田　直樹　　兵庫県農政環境部治山課　梶並　紀雄
兵庫県但馬県民局豊岡農林振興事務所　須本　孝幸

背景と目的

平成16年の一連の台風による森林被害を踏まえ、兵庫県では森林の防災面での機能強化を早期・確実に進めるため、平成18年に導入した「県民緑税」を活用し、里山防災林整備など「災害に強い森づくり」に取り組んでいます。

里山防災林整備では、集落背後にある土砂災害の恐れのある里山林100ヵ所2,000haを対象に、鬱閉した広葉樹林等の整備や簡易な防災施設を設置し、防災機能の強化を図っています。事業の整備効果を検証するため、整備のよる土砂流出量や植生の回復状況の変化、住民の防災意識の変化等を調査しました。本稿は、その検証結果について、近畿中国四国地区第45回（H20年）及び第46回（H22年）治山林道研究発表会で発表したものです。

1　集落裏山の現状と課題

化石燃料の普及や生活様式の変化に伴い、里山林利用の減少や管理放置が進み、過密等による水土保全機能の低下や急斜面では大径木化による人家への倒木の恐れが生じています。

2　里山防災林整備の概要

（1）森林整備

集落に隣接した概ね20m範囲については、人家等へ倒木の恐れのある危険木を伐採し、樹高を低く抑えた低林管理を実施し、山側の鬱閉した広葉樹は、本数調整伐によりコナラ等の高林を保全する管理を実施しています。（写真1・図1）

（2）簡易防災施設等

急斜面では、表面侵食を抑える丸太柵工や土留工を設置し、荒廃渓流には、床固工や水路工を設置し、渓床の安定を図っています（写真2、3）。

3　事業効果の検証

整備効果を検証するため、学識者による事業検証委員会を設置し、検証方法等の検討に加え、現地調査データ等の分析により効果検証を実施しました。

（1）土砂流出量の比較

広葉樹林の本数調整伐を行った整備区と未整備の対照区において、土砂受け箱を設置し（写真3）、降雨により流出する土砂量を計測し、比較を行いました。その結果、約6割の土砂流出を抑止し、表面侵食防止機能が向上していることが確認されました。（図2）

（2）植生回復状況

上記と同じ調査区において、林床を構成する植物の植被率を10m×10mの方形区で測定しました。整備2年目で、植生の回復（植被率13→40%）が一部で確認されました。

（3）地域住民の防災意識の変化

整備地の集落へのアンケート調査を実施した結果（20集落629人から回答）、住民の75%が倒木に対して、53%が土砂災害に対して、「安心になった」との回答を得ました（図3）。また、整備を契機に、裏山の維持管理を行う組織の結成や地域防災マップの作成など、地域ぐるみで防災に取り組む事例も確認されています（表1・写真4）。

4　集中豪雨に対する防災機能

平成21年の台風第9号等の記録的な豪雨においても、丸太柵工が崩壊土砂を抑止するほか、簡易床固工が上流からの流木を捕捉する等、減災効果が期待できることが実証されました（写真3）。

相次ぐ豪雨災害を最小限に抑えるため、未整備の山地災害危険地区の対策に加え、地域住民の裏山に対する管理や防災意識の喚起を高め、総合的な防災・減災対策を進めていく予定です。

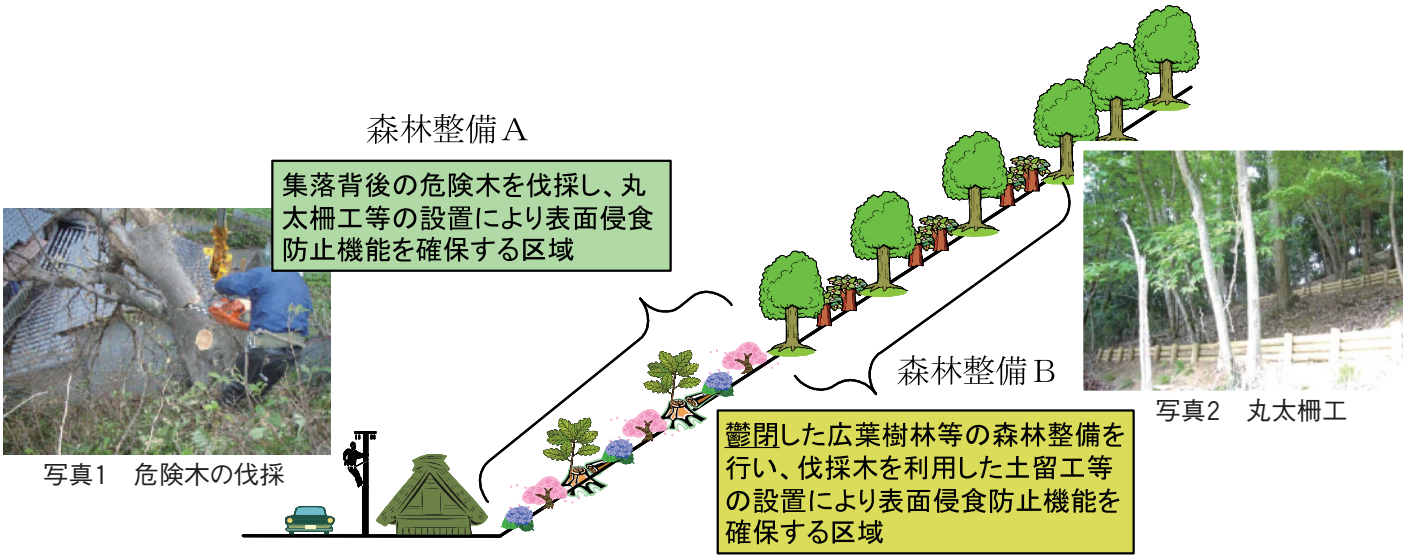


写真1　危険木の伐採

写真2　丸太柵工

図1　里山防災林整備の森林整備の区分

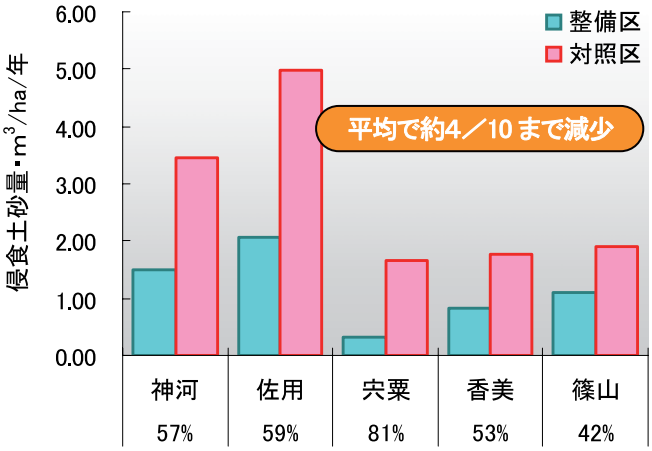


図2　土砂流出量の比較結果

※森林林業技術センター調査による

写真3　床固工（H21災で流木を捕捉:佐用町）

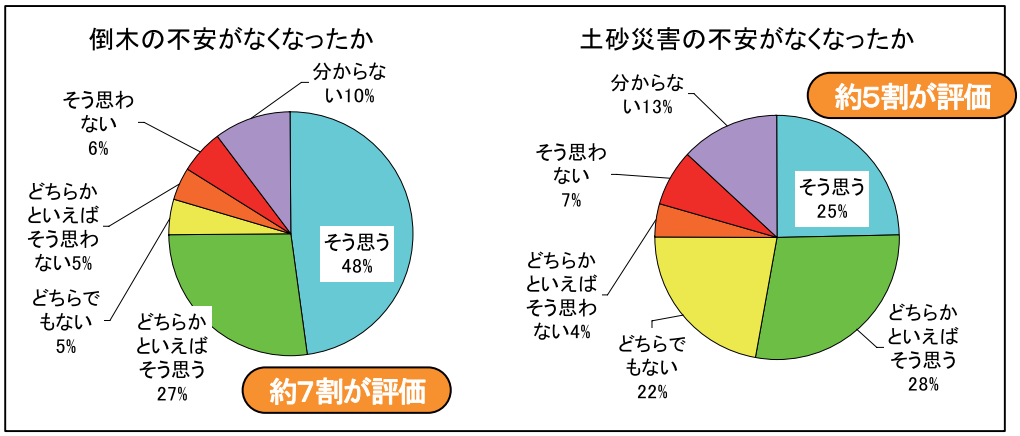


図3　住民アンケート調査の結果（左:倒木の不安　右:土砂災害の不安）

表1　地域ぐるみの防災取組の状況

取 組 内 容	集落数（地区名)注
点検パトロールや裏山危険箇所診断マップの作成等	10集落(宍粟市矢原地区ほか)
環境・防災教室の開催	５集落(豊岡市久畑地区ほか)
組織の形成による維持管理活動の実施	１集落(豊岡市林地区)

注）延べ集落数：複数の取組を実施している集落がある。

写真4　維持管理組織の形成（豊岡市）

38　風倒木被害地における警戒避難基準雨量－兵庫県の事例－

兵庫県農林水産部豊かな森づくり課　山田　裕司
応用地質株式会社　大角　昌弘
兵庫県農林水産部総合農政課　村上　晴茂
応用地質株式会社　中村　晋

背景と目的

平成16年は全国各地で大規模な自然災害が多発した年であり、兵庫県においては、台風16号（8月）、18号（9月上旬）、21号（9月下旬）、23号（10月）が大きな影響をもたらしました。但馬、淡路地域では、大規模な水害や土石流などの土砂災害が発生し、播磨地域では強風によって立木がなぎ倒される大規模な風倒木被害が発生しました。

風倒木被害地は、倒木処理や跡地造林による復旧対策とともに、再度災害防止のための治山対策が行われました。しかし、依然として表層土の脆弱化による崩壊の危険性が高く、梅雨期等の降雨に対する警戒が課題でした。本稿は、風倒木被害地における警戒避難のための基準雨量を引き下げた事例について、平成19年度砂防学会研究発表会で発表したものです。

1　対象地域及び検討の流れ

兵庫県の土砂災害に対する警戒避難基準雨量（CL：土砂災害の発生と降雨状況をもとに土砂災害が発生する危険性を示す基準線）は、住民が警戒避難するための情報として、平成16年度に兵庫県砂防課が、県内を23ブロックに区分し設定していました（図1）。

平成16年台風23号により、播磨地域を中心に多数の風倒木、斜面崩壊が発生しました。また、強風による山地の擾乱により土砂生産環境が変化し、わずかな降雨でも斜面崩壊が発生する危険性が高まっていました。そこで、CLの暫定的な引き下げについて検討することにしました。風倒木被害後のCLを引き下げる地域として、北播磨、中播磨、西播磨、但馬地域の1～17ブロック（14ブロックを除く）を対象とし（図1）、特に被害の激しかったブロックをモデル地域（4～11ブロック）とし、土砂災害の履歴や降雨データを分析しました。

2　ＣＬ引き下げの考え方

平成16年台風23号災害直後の10月・11月の衛星画像と17年4月・5月の衛星画像を用い、この6ヶ月間に発生・拡大した崩壊地（132ヵ所）を判読・精査（表1）しました。この期間内の最大時間雨量時に崩壊が発生したと仮定し、降雨量との関係から、暫定CLを推定しました。対象とした崩壊地は、ブロック内にある雨量観測所との距離が5km以内（127ヵ所）の箇所としました（図2）。

3　暫定ＣＬの設定

CL式はY＝aX＋bであるため、暫定CLも傾きaは現行CLと同一とし、切片bを5%ピッチで減少させ、崩壊地の降雨プロットを暫定CLが下回る位置のbを求め暫定CLとしました（図3）。

4　平成18年7月豪雨災害での検証

平成18年7月の豪雨で風倒木被害地に発生した崩壊と降雨データを用いて、暫定CLを検証したところ、22箇所の崩壊のうち20箇所において暫定CL超過後に災害が発生しており、設定した暫定CLの有効性が確認されました。

図4は多可町八千代区大屋地内において発生した崩壊（写真1）について、降雨量と暫定CLの関係を表したものです。人家に土砂が流入するような崩壊（7月19日4時二回目崩壊）が発生する数十時間～1日前に、降雨は暫定CLを数回超過しており、警戒避難が必要になっている状況がよく現れています。地元住民は、崩壊発生19時間前の7月18日9時、小崩壊が発見されたことから近隣避難所に避難しており、今回提示した暫定CLについては、総合的に減災行動を支援するツールの一つとして有効であると考えられました。

5　今後の検証

今後、雨量データと災害データを基に定期的に暫定CLを検証し、見直していく予定です。

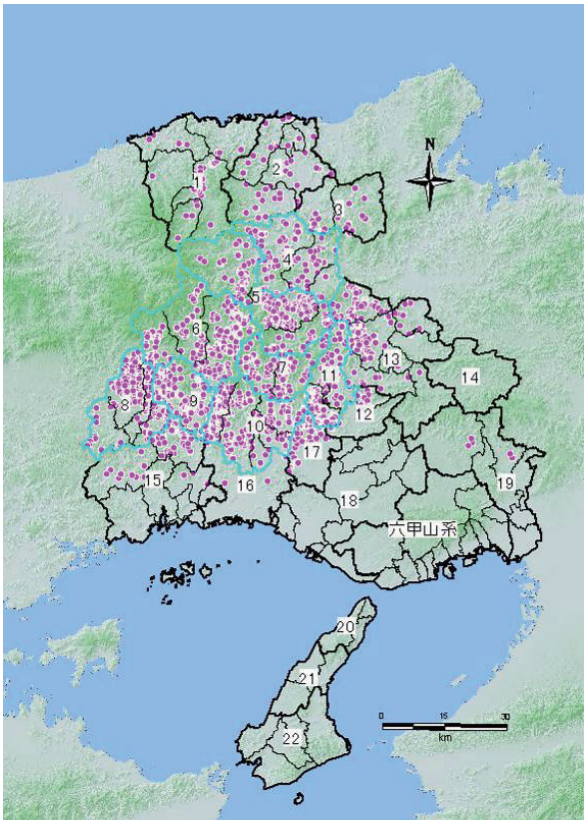


図1　風倒木被害地（ピンク円）、CLブロック区分（No・黒枠内）及びモデル地域（水色枠内）

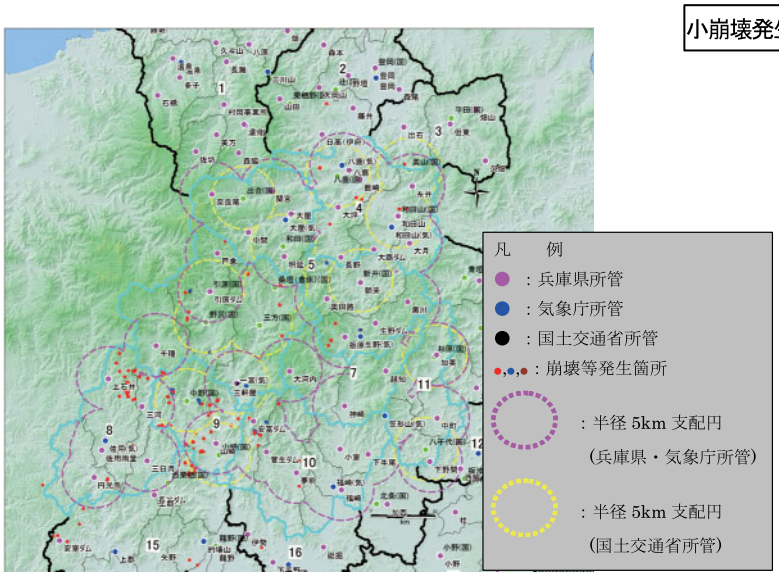


図2　雨量観測所と衛星画像判読による崩壊等発生場所

表1　衛星画像判読の結果

ブロックNo	崩壊地	土石流発生源	侵食・堆積	ブロック計
4	8	1	1	10
5	4	2	3	9
6	16	2	3	21
7	0	0	0	0
8	25	0	0	25
9	41	3	7	51
10	10	2	4	16
11	0	0	0	0
合計	104	10	18	132

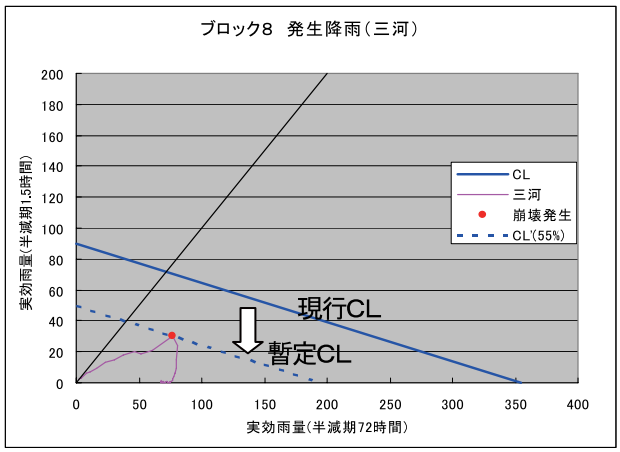


図3　現行CLと崩壊発生降雨（ブロック8、三河）

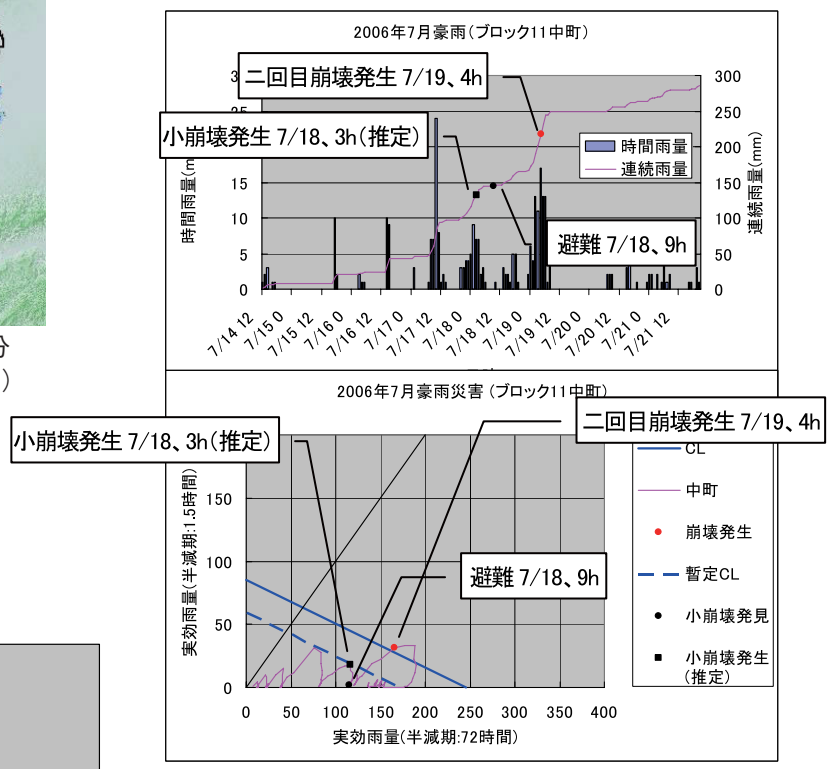


図4　暫定CLの検証（ブロック11、多可町）

写真1　ブロック11、多可町の小崩壊、二回目崩壊

39　山地防災啓発活動を推進する土石流模型実験装置の力学的機構

兵庫県農政環境部治山課　太田　雄一郎　　社団法人　兵庫県治山林道協会　西川　謙吾

背景と目的

平成12年に（社）兵庫県治山林道協会が開発した土石流模型実験装置は、土石流の恐ろしさや治山ダムの役割を視覚的に表せることから、子供たちや大人に人気のイベントツールとなっており、地域における防災意識の向上につながるものと期待されています。

平成21年台風9号災害では、山腹の崩壊や渓流からの土石流により被害が発生する一方、治山ダム・砂防えん堤が設置された谷筋では被害が防止され、図らずもその効果が再認識されました。しかし、県内の治山施設整備率は50％程度とまだまだ低い状況です。

本稿は、災害時犠牲者ゼロを目指すため、山地防災啓発活動を推進する土石流模型実験装置の秘密、治山ダムにより土砂流出をコントロールする機構を紹介するものです。

1　土石流模型実験装置の概要

図1のとおり全長290㌢全幅90㌢高さ60～150㌢勾配17.5°のFRP樹脂製です。上流の山腹区間は長さ75㌢、勾配30°、中流の谷筋区間は長さ160㌢、勾配17°、下流の河道区間は長さ55㌢、勾配9°、河幅7㌢、深さ3.5㌢程度です。また、土石流発生用の給水ポンプ能力は毎分50㍑、土石流となる砂礫は自然石で粒径2㍉程度（図2）を使用しています。

2　土石流の力学的機構

水流、土石流に関する物理量は表1の理論式で規定され、土石流に流動化する条件[1)]は、地下水で飽和した土層が崩壊する条件に、表面流の水深を考慮して決定することとされています。

崩落（乾燥）の発生限界式　$\tan\theta 0 \geqq \tan\phi$（堆積砂礫として粘着力を無視）

崩壊（飽和）の発生限界式　$\tan\theta 1 \geqq C_*(\sigma-\rho)\tan\phi/(C_*(\sigma-\rho)+\rho)$

土石流の発生限界式　$\tan\theta 2 \geqq C_*(\sigma-\rho)\tan\phi/(C_*(\sigma-\rho)+\rho(1+h0/d))$

θ;勾配、C_*;堆積土砂濃度、σ;土砂比重、ϕ;土砂内部摩擦角

ρ;水比重、d;土砂平均粒径、h0;水深、h0/d=1.4

3　実験装置の物理量

砂礫と水の物理量を$C_*=0.6$、$\sigma=2.6$、$\rho=1$、$\phi=35°$、h0/d=1.4とすると、乾燥土の崩落限界$\theta 0 \geqq 35°$、飽和土の崩壊限界$\theta 1 \geqq 18.8°$土石流限界$\theta 2 \geqq 11.3°$となり、山腹区間は崩壊条件に、谷筋区間は土石流条件に、最大限度でよく適合しています。ポンプ能力の9割を給水（0.75㍑/s）した場合の土石流流量等を計算すると、図3、4のとおりです。

4　理論計算と実験のシナリオ

山腹区間に置いた砂礫は給水を開始するとたちまち崩壊を起こし、谷筋区間で水流と混合し土石流となります。理論では、勾配17°で土石流流量は給水量の5倍、段波高は4.2㌢です（図3、4）。治山ダムが無い場合、直進性のある土石流は左に曲がる深さ3.5㌢の河道を乗り越え氾濫し、勾配が緩く（9°）なるにつれて速度低下しながら、ずるずる河道を進み、橋梁下で引っ掛かり閉塞、河道内を土石堆で埋めた後、後続の土石流が谷出口で扇状に氾濫します（写真1）。

勾配17°における土石流のエネルギーを抑止するのに必要な治山ダム高は15㌢（図4）です。実験ではダム高5㌢と7㌢の2基、合計12㌢が設置され、80％の高さですが、河道深3.5㌢を加えるとほぼ必要な高さとなり、エネルギーが軽減した土石流は、河道を乗り越えられず、氾濫被害が防止されます（写真2）。

ダム満砂後も被害が防止されることが確かめられています。堆砂敷の緩勾配化（11°程度）による土石流流量等の軽減（波高1.7㌢）が考えられますが、流動中の土石流の水分が堆砂敷へ浸透し、土石流が一時停止・貯留され、徐々に流出するような流量調節により、河道での氾濫被害が防止されると考えられます。

1）高橋保（1977）；土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研究所年報

表1　水流、土石流の流速・流量・流動濃度及び土石流を抑止するために必要なダム高に関する理論公式

○マニングによる水流速度公式

水流量；Q0 、粗度係数；n＝0.01、水路幅；B における流速；V0 及び水深；h0

$$h0=Q0/(B\cdot v0)=(n\cdot Q0/(B\cdot \sin\theta^{1/2}))^{3/5} \quad \cdots\cdots(1式)$$

○高橋による土石流公式

土粒子内部摩擦角；ϕ、土粒子比重；σ、水の比重；ρ における土石流の流動濃度；Cd

$$Cd=\tan\theta/(\sigma/\rho-1)\cdot(\tan\phi-\tan\theta) \quad \cdots\cdots(2式)$$

水流量；Q0、土砂堆積濃度；C*、土石流流動濃度；Cd における土石流流量；Q

$$Q=Q0\cdot C*/(C*-Cd) \quad \cdots\cdots(3式)$$

土粒子の平均粒径；d＝2 ㎜、重力加速度；g、定数；ai・sin α ＝0.02、土石流流下幅；B における土石流流速；U及び土石流の波高；H

$$\left.\begin{aligned} &H=Q/(B\cdot U)\\ &U=2/(5\cdot d)\cdot(g\cdot\sin\theta/(ai\cdot\sin\alpha)\cdot(Cd+(1-Cd)\cdot\rho/\sigma)^{1/2}\\ &\quad\times((C*/Cd)^{1/3}-1)\cdot H^{3/2}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4式)$$

水深；h0 及び（4式）の土石流流速；Uから重力加速度；g、土石流のエネルギー補正係数；α＝1.7 における土石流を抑止するための必要なダム高；DH

$$DH\cdot\cos\theta \geqq h0+\alpha\cdot U^2/(2g)\cdot\cos\theta \quad \cdots\cdots(5式)$$

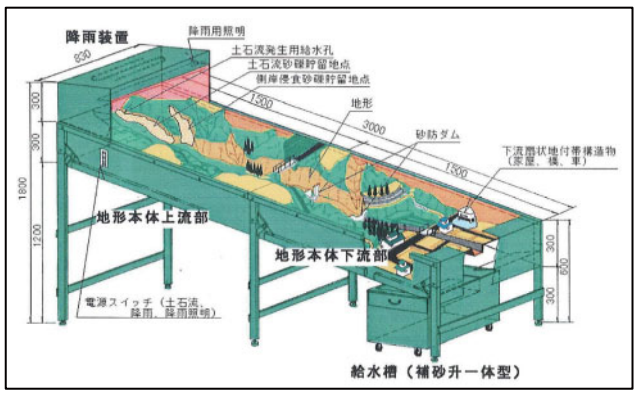


図1　土石流模型実験装置の外観

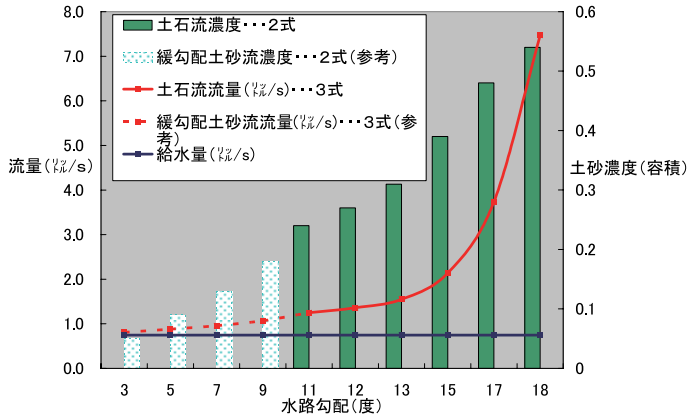


図3　勾配と土石流濃度・流量の関係

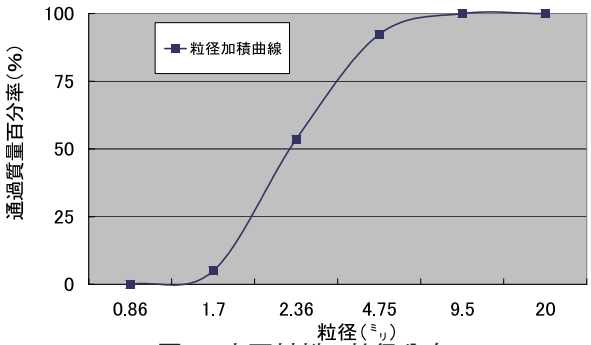


図2　土石材料の粒径分布

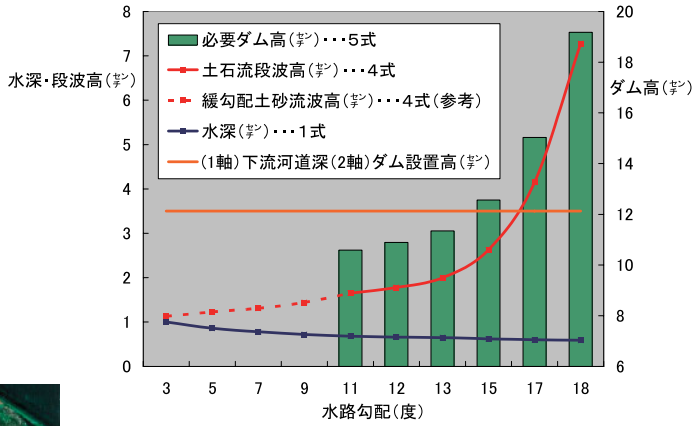


図4　勾配と土石流段波高・必要ダム高の関係

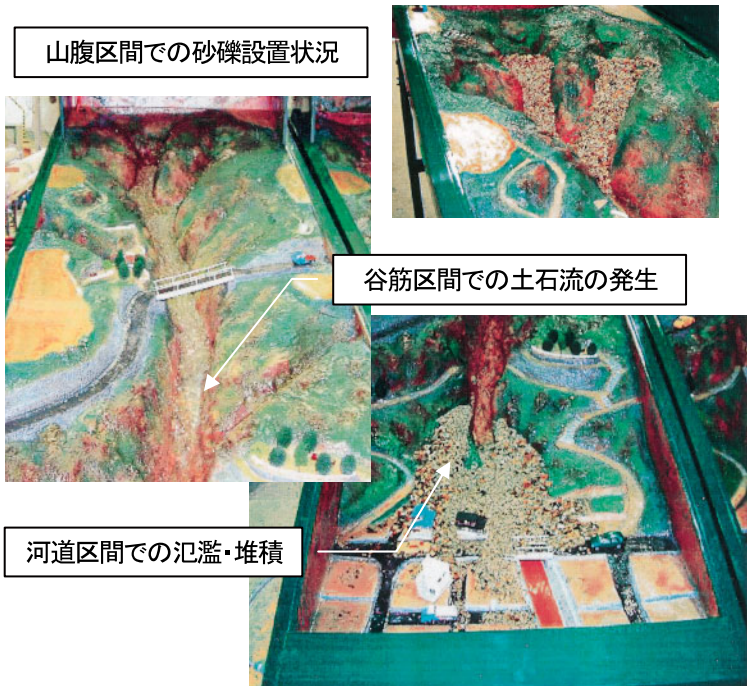


写真1　治山ダム無しの場合の土砂災害発生

写真2　治山ダムの土石流抑止状況

“兵庫の森のチカラを生かす研究”編集委員会委員（平成22年8月～23年3月）

所　属　名	職　名	氏　名	備　考
兵庫県農政環境部農林水産局 林務課	林業専門 技術員	谷口　英樹	
兵庫県農政環境部農林水産局 治山課	副課長	太田　雄一郎	
同上	課長補佐兼計画 調査係長	塩谷　嘉宏	
兵庫県農政環境部環境創造局 豊かな森づくり課	副課長	酒井　宏一	
兵庫県農政環境部環境創造局 自然環境課	課長補佐兼 野生鳥獣係長	土井　幸亮	
兵庫県立農林水産技術総合センター 森林林業技術センター	研究主幹	岩村　裕	事務局
兵庫県森林動物研究センター	業務部長	松本　聡	
同上	研究員	藤木　大介	
社団法人　兵庫県治山林道協会	常務理事	太田　髙正	事務局

研究成果へのお問い合せ先

区　分	問い合せ先	電話番号
Ⅰ　森を知る　森を使う	兵庫県立農林水産技術総合センター 森林林業技術センター　資源部	0790-62-2118
Ⅱ　木を知る　木を使う	兵庫県立農林水産技術総合センター 森林林業技術センター　木材利用部	0790-62-2118
Ⅲ　野生動物を知る　被害から守る	兵庫県森林動物研究センター　研究部	0795-80-5500
Ⅳ　森を守る　暮らしを守る	兵庫県治山課　計画調査係	078-362-3471

編集後記

森林は、地球温暖化の防止や県土の保全、水源のかん養、生物多様性の保全等多様な機能を有しており、県民が安全で安心して生活していく上で重要な役割を有しています。

これらの役割を果たすために、色々な分野で森林林業関係者が調査研究を行った最近の知見を一つの冊子にまとめ、「兵庫の森のチカラを生かす研究」としてこのたび編集し発刊いたしました。

これらの研究成果が広く県民の皆様への利用につながる事を期待しており、これにつながる調査研究が今後も継続することにより、兵庫の森のチカラが益々高まり、森林の多面的機能が発揮され、県民生活の安全安心につながると考えています。

本誌を取りまとめるに当たり、ご支援、ご協力をいただきました多くの方々にお礼申し上げるとともに、中心となって編集にお力をいただいた森林林業技術センター岩村裕研究主幹に感謝の意を表します。

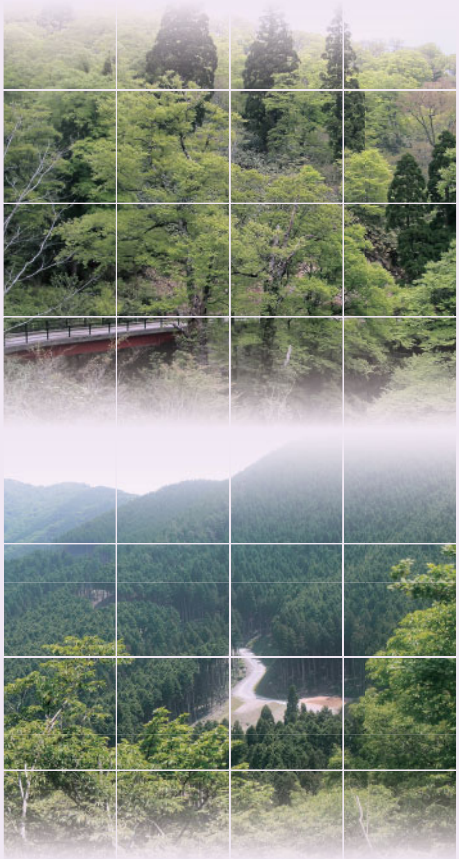
平成23年３月

社団法人　兵庫県治山林道協会

兵庫の森のチカラを生かす研究

平成23年3月　発行

発行　　社団法人兵庫県治山林道協会
会長　田路　勝
編集責任者　太田髙正
〒650-0012　神戸市中央区北長狭通5丁目5-18
電話　078-371-0210　FAX　078-371-6632
ホームページ　http://www.chisanrindou.jp
印刷所　　ウニスガ印刷株式会社



表紙写真／上：氷ノ山・鉢伏山　下：笠形山5月
裏表紙写真／上：新緑（森林基幹道 瀞川・氷ノ山線）　下：人工林（森林基幹道 千ケ峰・三国岳線）