

平成 18 年 度

独立行政法人 森林総合研究所

公 開 講 演 会

これからの林業を拓く

講 演 要 旨 集

独立行政法人
森林総合研究所

平成 18 年 度
独立行政法人 森林総合研究所
公 開 講 演 会

これからの林業を拓く

日 時 平成 18 年 10 月 17 日 (火) 13:30~16:30
場 所 イイノホール
東京都千代田区内幸町 2-1-1 飯野ビル 7 階
Tel. 03-3506-3251

発 表 課 題

森林資源の成熟期を迎えて日本林業システムのあり方を考える 野田 英志 (林業経営・政策研究領域長)	2
多様な林型への誘導技術の開発 ー林分成長シミュレーションによる育林診断を目指してー 千葉 幸弘 (植物生態研究領域 物質生産研究室長)	8
効率的な作業機械と路網整備による搬出コスト低減技術の開発 今富 裕樹 (林業工学研究領域)	12
国産材による製材・合板・集成材の製造と需要拡大への取り組み 宮武 敦 (複合材料研究領域 チーム長)	16

森林資源の成熟期を迎えて日本林業システムのあり方を考える

野田英志（林業経営・政策研究領域長）

1. はじめに

日本林業は、図1に見るように、1千万haを超える人工林資源の成熟が進み、「森林を活かす時代」に入りました。この人工林資源を活用して、国産材の生産と木材消費とを再び太いパイプでしっかりと結びつけ、持続可能な森林経営を実現していく上での課題は何か、そしてそれをどう解決したらよいのでしょうか。

森林総合研究所の第2期中期計画において、「森林・林業・木材産業における課題の解決と新たな展開に向けた開発研究」が今年度から始まりました。その中で私たち林業経営・政策研究領域では、林業の活力向上に向けて、他の研究領域や大学とも協力し、「木材利用部門と連携した活力ある

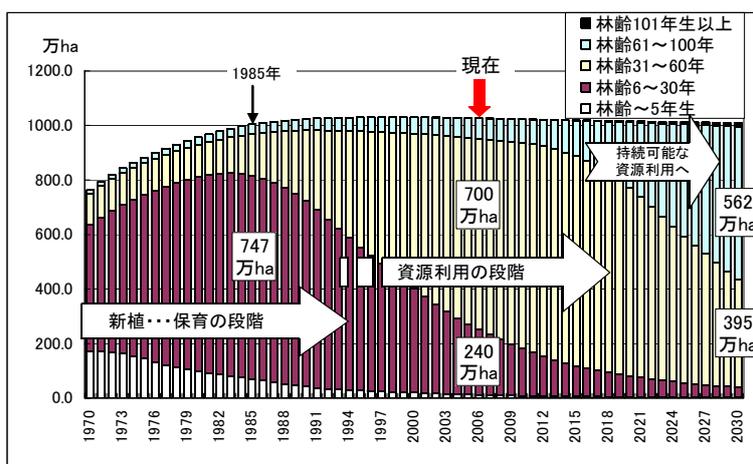


図1 人工林の林齢別面積の長期推移(予測)

注1:「林業セクターモデル」による推計結果(2003年以降、素材需要量一定1,692万m³のケース)
注2:「森林・林業の資源的、社会経済的長期見通し手法の開発」(森林総研交付金プロジェクト外研究)より

る林業の成立条件の解明」に取り組み始めました。ここでは、この新規課題の背景などの紹介も兼ねて、近年の木材市場の動きを見ながら、新しい日本林業システム創出への課題と可能性について考えてみたいと思います。

2. 1990年代からの木材市場変化に日本林業はどう対応したか¹⁾

近年のわが国木材市場の動きを、木造住宅建築と建築用部材供給システムにスポットを当てて俯瞰的に捉えると、(ア)旧来のメインフレームをなした大工・工務店による木造住宅建築とそこへの部材供給が、90年代とくに後半以降、急速に縮小・ローカル化し、都市部を中心に「崩壊」に瀕していること、これに替わり、(イ)住宅部材のプレカット加工システムを組み込んだ、ハウスメーカー主導の木造住宅建築及び部材供給システムが新たに形成され、都市部を中心に今日の木造住宅供給のメインフレームを構成するに至ったこと、が指摘できます。

木造在来工法住宅建築における機械プレカット化率は、図2に見るように、90年の9%から95年の38%、2002年には73%に拡大しました。90年代を挟んだわずか十数年の間に、木造住宅建築の技術革新が生じ一般化したのです。90年代に入り欧州材を利用して飛躍的に供給を拡大した集成材は、正にそうした新しい技術体系を取

り入れたハウスメーカーや大型プレカット工場等が、部材に求める条件（高精度・高品質、供給の安定性）を満たした商品でした。

他方、主に旧来型フレームに対応してきた日本林業の「育林・伐出・加工・流通・消費のシステム」（戦後型林業システム²⁾）は、この市場の変化に弾力的に対応できなかったといっても過言ではないでしょう。

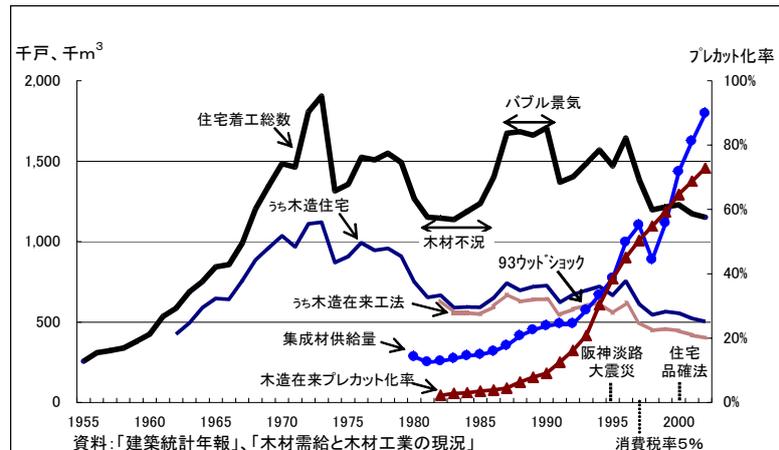


図2 住宅着工数・プレカット化率・集成材供給量の推移
出典：林業経済 57(12)、p.5、2005

90年代からの経済のグローバル化と大競争の流

れの中に、わが国林業も位置づけられていることを改めて考えた時、戦後型林業システムに内在する非効率性や低生産性、高コスト、低品質問題を避けては通れません。課題は、その技術的、経営・経済的再検討の上に、近年の市場の変化に対応し、伐期を迎える膨大な戦後造林木（並材）を活用できる、国際競争力を備えた新しい林業システムを創り上げることです。

では、現・林業システムにおける育林・伐出・加工（製材）の生産性・コストの現状はどうなっているのでしょうか。

3. 日本林業（育林－伐出－加工）の生産性・コストの現状－スギのケース－

後出の表1に川上から川中に至る林業生産全体のコストの現状（一部試算）を示しました。

（1）育林

大川畑修（2003）³⁾によると、スギの1～50年生までの育林所要人工の総数は1 ha 当たり 205 人日。うち下刈り作業が 86 人日と4割強を占めます。育林費は1 ha 当たり合計 251 万円（1～50年生までの林木資本利子を除く累積額）。うち労働費が8割強を占めます。林業労働者が減少する中で、労働集約的な育林施業方式のまま大きな変革はありません（実態としては枝打ちや間伐などの大幅な施業の手抜きが生じています）。

（2）伐出

2004年度の「素材生産費等調査報告書」によると、スギ（主伐）の伐出労働生産性は平均 3.1m³／人日です。また主伐対象の平均的なスギ林齢は60年生です。素材生産コスト（伐出・造材計）は 6,902 円／m³、うち労賃が 65%を占めます。市場等への運材費は 2,008 円／m³となっています。図3に見るように、90年代に入り徐々に

伐出コストの低減が図られています。

なお間伐の場合、生産性は主伐の6～7割水準であり、コストについては3～4割増しとなっています。

(3) 加工ースギ大型製材工場のケースー

スギ大型製材工場調査
(2005年調査/加工規模トップクラスの4工場

平均)によると、4工場の平均原木消費量は年間8万 m³強(同・全国平均 2,285m³)となっています。労働生産性(従業員1人当たり年間素材消費量)は1,268m³/人年(同・全国平均 419m³/人年)です。製造コスト(製品ベース)は6,750円/m³、うち労働費が45%と、大幅な生産性の向上による労働費の縮減が図られています。また製品のうち乾燥材の占める比率は40～50%(同・全国平均16%)です。

首都圏標準卸価格(2005年、1 m³当たり、卸店着値)はスギ人工乾燥(KD)柱(105角)5万円、集成材管柱(国内産無化粧105角)5万円強の水準に対して、上記の大型製材工場では4万円の水準です(ただし製材経営利潤<営業利益分>を含まず)。確実な量的安定供給力と厳選された品質が確保されれば、集成材とも十分競争できる水準といえます。

上記のトップクラスのスギ大型製材工場では、設備投資も積極的に行われ、更に生産性の上昇、コストの縮減が進んでいます(例えば、重油に替えて木屑ボイラー利用による木材乾燥など)。そして操業度を高めさらに規模が拡大すると見られます。

4. 木材市場変化への対応と課題

(1) 川上の問題への対応と課題

日本林業の川上から川中に至る労働生産性やコストの現状から、川中のごく一部ではありますが、大型製材工場において乾燥材の供給体制が整い、国産材の市場競争力(品質・価格・量的供給力)が高まってきたことがわかります。また合板工場でのスギの利用も近年急増しています。B材(曲がり材や短尺材)などの素材を利用した針葉樹構造用合板の生産増加で、国産材利用量は2000年14万 m³から2005年には86万 m³と急速に拡大してきました。また第四報告で述べられるように、国産針葉樹材利用の集成材生産も然りです。乾燥材や構造用合板、国産材集成材などのユーザーには、国産材利用をアピールする地域ビルダーやハウスメーカーなどが多く含まれると見られます。この点は現在、森林総合研究所の新規課題の中でその詳細な解明を始めた

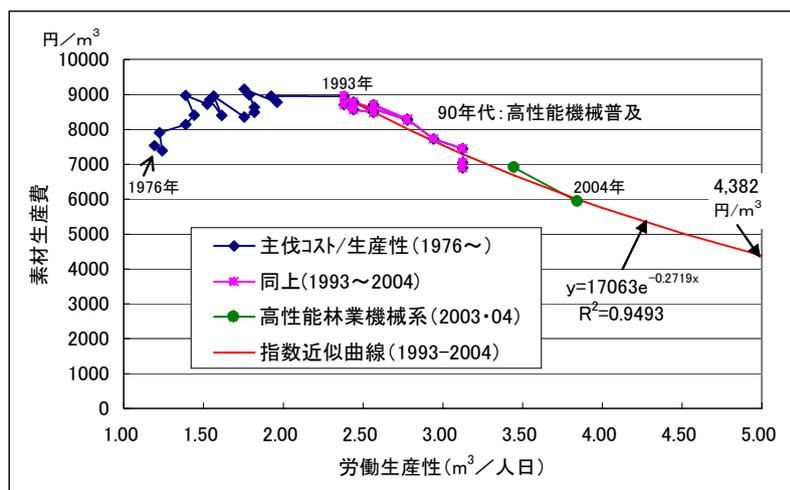


図3 スギ主伐のコスト/生産性の推移(1976～2004年)

出典:「素材生産費等調査報告書」、2005

ころですが、今日の木造住宅供給のメインフレームへの国産材の供給対応が始まったと思われま

こうした国産材加工の大型化（年間原木消費量 10 万 m³ クラスあるいはそれ以上の大型工場）は、後背に広がる膨大な人工林資源の成熟を見込んだ展開でもあります（前掲図 1）。問題は、これに呼応すべき原木供給サイド（川上）の動きが鈍いことで、とくに林業経営の持続可能性を担保した素材の大ロット安定供給の仕組みが未形成な点です。南九州の一部地域では大面積皆伐と跡地の再造林放棄拡大などの問題が指摘されています。

表 1 は育林と伐出の生産性・コストの現状を分析したのですが、現在の木材市場価格、木材供給システムを前提とすると、現行の育林・素材生産の技術・コスト水準では人工林の再生は難しいと思われま

表 1 林業生産の全体コスト(育林-伐出-加工) -スギのケース-

		現状	備考	試算例	備考
単位					
1	スギの育林コスト	万円/ha	251 (注1)	126	ポット大苗等によるコスト削減
	うち労働費	"	205	103	削減目標: 現状の50%
	物件費	"	46	23	参考: 山本速水氏、50万円/haの育林可能性指摘(注2)
			✓	▲	
2	スギ主伐による林家手取り	万円/ha	132~156	202	= (4*5/10000)
3	スギ山元立木価格	円/m ³	4,018		2004・05年平均(注3)
4	市場逆算立木価格	円/m ³	3,404	5,038	= 10-9-8-7-6
5	スギ主伐、平均60年生、2004年	1ha当たり素材生産量	388	400	2004年(注4)
	労働生産性	m ³ /人日	3.1	5.0	図-3から
6	素材生産コスト	円/m ³	6,902	4,382	図-3から
	うち 労 賃	"	4,456	3,000	九州大手素材業3,500-4,000円
7	運材費(山土場~市場等荷卸し地)	"	2,008	2,008	/m ³ 伐出運賃込みの例あり
8				600	山土場での選別費(仮値)
9	素材流通コスト(市売等)	円/m ³	2,386	372	市売手数料6%、積積料600円/m ³ 、運材費(市場~工場)1,000円/m ³ と仮定
	スギ素材価格(径24-28cm) 2004年	円/m ³	14,700		工場着価格(注5)
	" " (径14-22cm) 2005年	"	12,400	12,400	工場着価格
	スギ加工コスト(大型製材工場4工場の単純算術平均)				以下は2005年調査値(注6)
10	原木仕入価格	円/m ³	12,125	12,400	柱取り
11	歩留まり	%	59	59	
12	原材料費	円/m ³	20,798	21,017	
13	製造経費	"	6,750	6,000	5,000円目標の可能性は?
	うち 労 務 費	"	3,030	2,000	
14	乾燥費	"	5,063	5,880	KD・AD込み → KDに 残廃材のエネ利用(注7)
15	一般管理費	"	4,500	4,500	(注8)
16	製品輸送費	"	3,000	3,000	工場立地により変化
17	合計(注9)	"	40,111	40,397	主製品スギKD柱
	チップ・オガ等取入	"	1,188	1,188	

注1: 大川畑修(2003)「スギ、ヒノキの育林所要人工数、育林費の算定例」(森林利用学会誌18巻3号)

注2: 山本速水(2006)「省力低コスト育林はどこまで可能か」(林経協季報 そまみち No1)

注3: 「山林素地及び山元立木価格調」((財)日本不動産研究所)

注4: 「素材生産費等調査報告書」

注5: 農林水産省統計部「木材価格」

注6: 西村勝美・鈴木喬・野田英志らによる聞き取り調査資料を利用。

注7: 「乾燥材生産の技術マニュアル」((財)全国木材組合連合会、88-97、2006)

注8: 西村勝美(1998)「激変下の国内木材マーケットと国内外の木材産業の動向」(林業経済、No.597:p11)表2から

注9: 合計には、製材加工利潤(営業利益分)を含まない。

表1の「試算例」では、スギ製品の市場競争力保持を見込んだ素材の製材工場着価格 12,400 円 / m³ を前提として、山元土場から工場への原木直送方式や、素材生産コストの更なる低減などを想定して、市場逆算立木価格 (5,038 円 / m³) を試算しました。

伐期が延びることを想定して 1 ha 当たり素材生産量を 400m³ とすると林家の手取りは約 2 百万円に増えます。しかしこれでも現状の育林コストには尚及びません。育林コストを画期的に下げるときの技術革新が不可欠だと云えるでしょう。高知県の山本速水氏(山本森林株式会社社長)は 50 万円 / ha の育林の可能性を指摘しています⁹⁾。表1の試算例では、皆伐とリンクさせ、粗植、ポット大苗の機械植えなどで育林コスト 50 %削減の大胆な目標を立ててみました。すると 1 ha の育林コストは 126 万円となり、80 万円弱が手元に残ります。なお補助金は考慮していません。

人工林の再生が可能な、循環的な資源の利用と整備を図るためには、育林施業での画期的な省力化・労働生産性の向上とコスト低減がどうしても必要であり、伐出の技術革新と共に重要な課題であることがわかります。さらに付け加えると、旧来の役物重視の価値体系の下で作られた労働集約的な育林施業技術の体系とは別に、今日の変化した木材需要をきちんと踏まえて、また人口減少社会下の将来の林業労働者減も見込んで、品種改良・苗木生産から始まる新しい育林施業体系を創り出す必要があると考えたいのですが、いかがでしょうか。

(2) システム変革への課題

以上はコスト試算から見た川上での技術革新の必要性の議論ですが、これと並んで重要なのは、植伐の意思決定および素材の販売交渉力を持つ主体を有する「地域森林経営システム」を構築する必要性です。バイイングパワー⁹⁾を持つ川中の大規模加工企業への国産材の大ロット供給システムを創る上で、個々の林家や小規模伐出業者による個別の対応では量的にも力関係でも限界があり、また従来の多数の売り手と買い手からなる原木市売方式による木材供給システムも、この新しいシステムには馴染み難いからです。一般には林家を組合員とする森林組合系統が新システムづくりの主要な担い手と考えられますが、地域によっては大規模原木供給者である国有林や、原木市場が自身の経営転換や経営拡張の一貫として育林経営の組織化に取り組むことも考えられます。また大型化する製材工場自らが自社原木の確保を確実にするために、個別林家の人工林資源の集約化を進め、大ロット化、計画生産へのイニシャチブをとる方向もあり得るでしょう。製材工場は従来、原木市場や素材生産業者を介して素材を調達しており、山元とは直接顔の見える関係を持ちませんでした。しかし今後、さらに経営規模を拡大する過程で、原木の長期安定確保に向けて、積極的な資源獲得、資源育成の戦略を、資源利用者たる加工企業がもつ方向も考えられます。ただ、育林経営(林家など)へ適正な利益を還元していくためには、買い手独占のシステムではなく、素材販売交渉力を持つ森林組合や国有林、原木市場などの素材供給主体を据えた前記の「地域森林経営システム」を創って、域内に、強力な原木の買い手を牽制する

拮抗力⁹⁾を作り出すことも必要ではないでしょうか。この点は、中期計画の課題推進の中で、更に検討して行くべき点と考えております。

国産材の大ロット供給システム構築に向けて、「新流通加工システム」に引き続き「新生産システム」が動き出しました。大型加工を軸に国際競争力を高め、ハウスメーカーなどの大手ユーザーに直結する国産材の新しい供給システムづくりとして期待したいと思います。

5. おわりに

21世紀において持続可能な循環型社会が模索される中で、その理念を最も体現できる産業が、森林をベースに持つ林業といわれます。その観点に立って、経済がグローバル化した中で日本の新たな林業システムをどう仕組み展開していったらよいのでしょうか。エンドレスな課題ではありますが、環境の世紀といわれる21世紀初頭の現在、日本林業の新しい持続可能な経済循環システムを構築するビッグチャンスでもあり、貢献すべき課題が山積していることを肝に銘じて、今後も研究を進めたいと考えています。

なおここでは、国産材の生産と消費とを太いパイプで結びつける上での課題に絞り込んで報告致しました。

1)野田英志(2005)「木材市場構造の変化と国産材の市場対応」、林業経済、58(8):16-18

2)具体的には、吉野林業など先進林業地や新興林業地に見られる密植・枝打ち・多間伐の労働集約的な育林施業体系、現物熟覧を基本とする市売流通機構などにおける木材の選別・評価のシステム、価値歩留まり重視の木取り・加工技術、など。

3)大川畑修(2003)「スギ、ヒノキの育林所要人工数、育林費の算定例」、森林利用学会誌18(3):195-200

4)山本速水(2006)「省力低コスト育林はどこまで可能か」、林経協季報 そまみち No1:16

5)売り手に対する買い手の優越的な購買力のこと。

6)J.K.ガルブレイスが提唱した考え方。今後、日本林業の長期趨勢として、木材産業が比較的少数の有力企業に集中し、その結果、地域材の強力な「買い手」が生まれ、買い手寡占ないし買い手独占的パワーが生じ、競争的な市場機能は失われる可能性があります。この買い手独占に対する効果的な抑制力は、強力な「買い手」に向き合う強力な「売り手」を、集団組織化などを通して創り出す中で発揮されると考えられます。「拮抗力」の形成が日本林業の大きな課題の1つとなると思います。

多様な林型への誘導技術の開発 ー林分成長シミュレーションによる育林診断を目指してー

千葉幸弘（植物生態研究領域 物質生産研究室長）

1. 育林診断の必要性

わが国林業と森林資源整備のあり方を考えたとき、森林施業の取るべき方向性は従来にも増して多様化していると言えます。これまで広く行われてきた人工一斉林は、一般材を効率的に生産することを目指してきました。そこでは、植栽密度、間伐の強度や回数などはほとんど画一的に実行され、伐期齢も50年前後を想定していました。こうした画一的な施業指針に従っている限り、「収穫表」を活用することによって材積収穫量などを予測することができました。しかし近年は、間伐などの施業が適切に実行されず、その解決策として50%程度以上を伐採するような強度間伐を推奨する動きがあり、一方で、従来の短伐期人工林を転換して長伐期林や複層林などへの移行が求められつつあります。こうした人工林を巡る様々な動きは、従来の施業技術に対する大きな変化をもたらすこととなります。現実的には、人工一斉林を複層林や混交林などに誘導する上で未解明の技術的問題が多々あります。施業を誤れば、これまでに築いてきた森林を破綻させる可能性さえあるのです。



写真1 ヒノキ高齢林（三重県）



写真2 スギ異齡人工林（岐阜県）

「育林」は長期に及ぶ林業システムの原点と言えるでしょう。目標に応じた森林を如何に誘導するか、将来の森林の姿を如何に想像できるかが、林業経営を左右します。森林の成長過程を予測して施業効果をイメージできれば、森林を育てる上で生じる疑問や不安を解消する一助になるはずです。そこで私たちは、様々な森林への誘導を図ろうとしている林業経営者のニーズに応えるため、従来の画一的な人工一斉林施業の枠にとらわれない、柔軟な森林施業を想定した成長モデルを開発し、どんな森林に誘導するのが望ましいかを判断する情報を提供しようと考えています。

2. 林分成長モデルの概要

ご紹介するモデルは大きく3つの部分で構成されています。従来の林分成長モデルは、ほとんどの場合、幹材積を扱っていましたが、間伐の影響を直接受ける枝葉の存在を組み込まなければ、人工林の成長を的確に予測することはできません。

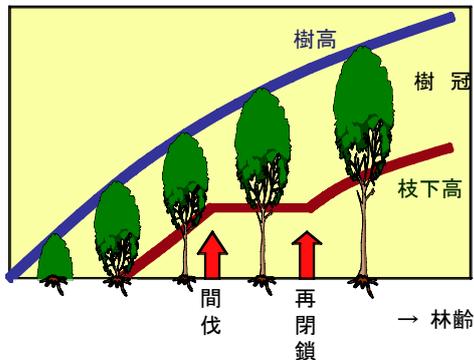


図1 林冠の閉鎖過程と樹冠長の推移



写真3 閉鎖林における下枝の枯れ上がり

以下、今回ご紹介するモデルの概要です。

(1) 人工林成長モデル

人工一斉林では間伐のたびに、林冠の閉鎖と解除を繰り返し、徐々に樹冠長が伸びていきます(図1、写真3)。樹冠長は枝葉量と密接に関係しており、また後述するように枝葉量によって幹の成長が変化します。間伐ごとに変化する樹冠長に基づいているので、林分構造の変化に柔軟に対応することができます。

(2) 樹幹形モデル

幹は枝が合流することによって形成されますが、その仕組み(分枝構造)をモデルに組み込むと幹の形状をうまく再現することができます。間伐のたびに変化する樹冠長(枝葉量)から、間伐ごとに変化する樹幹形が予測できます。

(3) 光環境評価モデル

林内の光環境を推定するためには、胸高断面積合計や収量比数などを使う方法がありますがあまり推定精度はよくありません。ここでご紹介する方法は、樹木をパソコン内に自由に配置させて、お好みのヴァーチャル森林を作って、任意の場所の全天空写真から開空度が計算されます。

3. 間伐による樹幹形と現存量の変化

今回のモデルでは、植栽密度や間伐の仕方を任意に設定することができます。一般的な間伐施業を実施している国有林の場合と、優良大径材の生産を目的とした吉野林業を事例としたシミュレーション結果をご紹介します。実際の人工林では、間伐を繰り返すたびに図1のように枝下高が変化していることが確認され、その結果、林木は林分密度を反映した成長経過(胸高直径や枝下高)を辿ることが再現されました。その過程で変化する樹幹形は、図2のように推定すること

ができます。林分密度をどのくらいに維持すれば、形状比がどのように変化するか、そして年輪幅はどうなるのか、長期的な間伐施業の効果を判断しながら、将来計画をたてることができます。

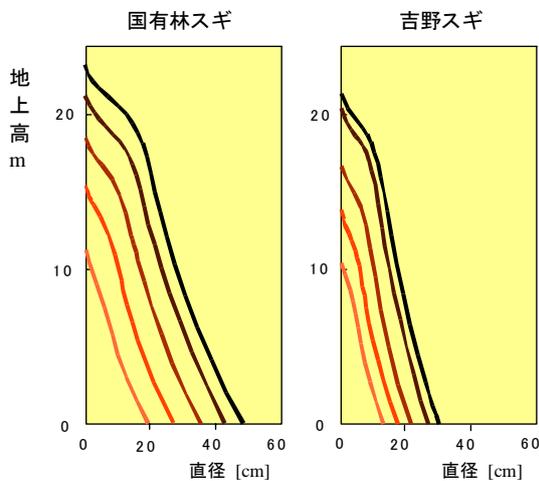


図2 樹幹成長のシミュレーション

国有林および吉野地方で実施されている間伐パターンを適用し、20年ごとの樹幹形を图示しました。植栽密度や間伐強度を変えることによって得られる将来の樹幹形や年輪幅を知ることができます。

またこのモデルでは、葉・枝・幹の林分あたりのバイオマス成長を推定することができます(図3)。図中の○印は実測値を示していますが、シミュレーション結果がよく一致しています。例示した国有林だけではなく、植栽密度や間伐管理が全く異なる吉野スギなどでも推定結果は良好であり、樹冠長をベースにした本モデルによって、間伐の効果を的確に表現できることがわかります。

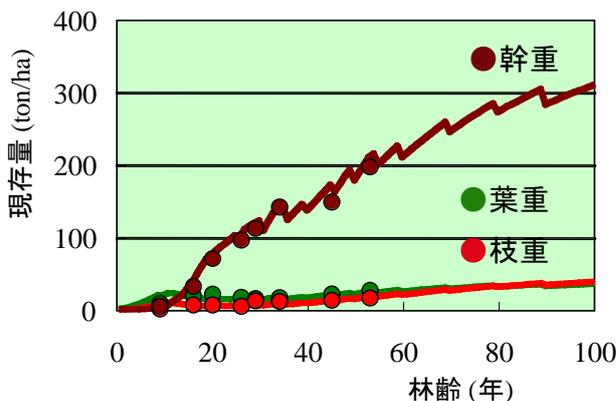


図3 葉、枝、幹のバイオマス成長経過のシミュレーション

国有林で実施されている典型的な間伐パターンを適用しました。実線は推定結果で、間伐ごとに断続的に成長していることがわかります。長伐期化を視野に、どのような間伐を実施するのが適当か、判断することが可能になります。

シミュレーションを事前に行うことによって、間伐後に期待される直径成長量や林冠の再開鎖速度などを予測することができますが、それだけではなく、短伐期林から長伐期林への移行に必要な判断材料が提供され、また形状比の変化などから風害リスク等に対する施業上の留意点を整理することもできると考えられます。

4. 林内光環境の推定法

複層林化や混交林化しようとするとき、下木成長を管理するための林内光環境の評価が不可欠

です。伐採パターンとしては単木状、列状、群状などが考えられますが、上木サイズが一様でない場合もあるでしょう。そういう場合、林内光環境を評価するためには、仮想群落を用いたシミュレーションが効果的です。

図4左はヒノキ林で発生した集団枯死木によるギャップの全天空写真ですが、これを模してパソコン空間に作り上げた「ヴァーチャル森林」が右図です。樹種や樹高によってある程度の調整は必要になりますが、事前に用意した「樹形」をパソコン空間に適当に配置して、全天空写真と同様の「全天図」を作図すれば開空度が計算できます。この方法によって、様々な林分構造の森林を作ることができますから、伐採前に林内の光環境を事前にチェックすることができるというわけです。

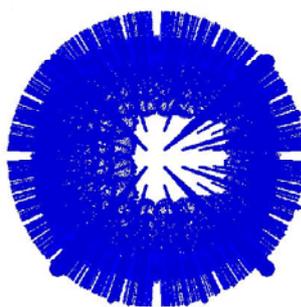


図4 仮想林分の林冠構造と全天写真を模した光環境シミュレーション

左の写真は実際の林冠ギャップ(開空度13.1%)、右図は平均樹高20m、600本/haの仮想林分に20m四方で枯死木を発生させたものです(開空度14.9%)

また林内に植栽された下木の成長は、20%以下の暗い条件では林内光環境に強く依存することが知られていますが、こうした下木成長のモデル化も見通しが得られていますから、ヴァーチャル森林を用いることで、複雑な空間構造を持つ林分での下木成長を評価することが可能になるでしょう。

5. おわりに

最近、長伐期林や複層林といった単純な施業の枠組では対応困難な複雑な施業が求められるようになりました。それは「長期育成循環施業」に端的に示されるものであり、間伐と択伐の境界が曖昧になり、単層林と複層林が混在し、上木伐採や小面積皆伐のあとに、更新木の成長を同時に実現させるといった熟練した技量が必要です。

市場が求める木材を確実に生産し、森林の持つ諸機能への期待に応え得る森林を育てるためには、施業現場では様々な状況に柔軟に対応しなければなりません。多様な森林施業の中から適切な施業を選択して、優れた森林に誘導するためには、事前に施業効果を判定する「育林診断システム」が有効に機能すると考えられます。そうした質の高い施業情報を持つことが、結果として、持続可能な林業経営を実現するものと考えます。

効率的な作業機械と路網整備による搬出コスト低減技術の開発

今富裕樹 (林業工学研究領域長)

梅田修史 (林業工学研究領域 森林路網研究室長)

岡 勝 (林業工学研究領域 収穫システム研究室長)

1. 研究の背景

わが国では間伐が必要な林分が多く存在し、林業の活性化を通じて間伐等の森林整備を推進していくことが今日の大きな課題となっています。長引く木材価格の下落という状況の中でこの課題を解決するために、間伐作業の生産性の向上、とりわけ搬出コストの低減が強く求められています。プロセッサやハーベスタ等の高性能林業機械の導入活用は一定の労働生産性の向上や低コスト化に貢献していますが、当初の目標にかかげたレベルには達していません。北欧等の林業先進国と比較すればわが国の搬出コストは依然として高い状況であり、今後外材と競合していくためには飛躍的な労働生産性の向上とさらなる搬出コスト低減が求められます。そのためにはわが国の地形傾斜等の作業条件の特性を踏まえた上で、高性能林業機械等に対応した伐出システムについて効率化、低コスト化といった視点からの再構築が必要です。その伐出システムの根幹となるものが路網整備です。路網整備なくして低コスト伐出システムの実現は不可能です。林野庁の資料によれば、わが国の林道と作業道を合わせた路網密度は16m/haと極めて低く（例えばオーストリア：87m/ha、ドイツ：118m/ha）、路網整備は急務の課題です。路網整備により高性能林業機械等の活用度を高めることができ、さらに路網密度を高くすることによって伐採木から道までの距離（集材距離）が短縮され、伐出作業の効率化、低コスト化を図ることができます。近年、林道の新規開設が進んでいない状況を考慮しますと、低コストで作設することができる作業道の開設が不可欠です。

本課題では、各種の伐出機械の生産性、これら伐出機械を組み合わせた伐出システムと搬出コストについて、さらに低コスト伐出システムの実現に向けて不可欠な低コスト路網（ここでは、幅員2.5m～4m程度の恒久的な使用に耐える道）の開設に当たって必要とされる開設条件について報告します。

2. 搬出コストを低減するための伐出システムとは

伐出機械の活用を前提とした伐出システムの選択は、立地条件、施業面積、施業方針等により決められます。特にわが国のような地形条件が複雑な森林においては機械が適用できる条件に制約を受けます。図1は間伐作業においてどのような高性能林業機械が使用されているかを地形傾斜と集材距離の関係から調査したものであり、機械の適用範囲を推測することができます。タワーヤード、スイングヤード等の架線系機械は傾斜15～35度、スキッド、フォワード等の車両系機械は傾斜25度以下の林地で適

用されています。一方、集材距離はスキッド、フォワーダでは100mから1000mあたりまで適用されている一方、タワーヤードでは200m以下、スイングヤードでは80m以下の短距離集材に適用されています。図2は伐出機械を組み合わせた各システムでの集材距離に対する伐出コストの試算例です。集材距離が長くなれば伐出コストは高くなりますが、システムによってその増加傾向は異なります。システムNo.4、5（タワーヤード、集材機システム）はシステムNo.1、3（ハーベスタ・フォワーダ、トラクタシステム）に比べ伐出コストは高くなっています。作業条件により直線の傾きと切片は変化しますが、その違いから各システムでの直線の交点を求めることで集材距離による最適なシステムを選択することができます。例えば、ウインチ付きグラップルシステム（No.7）では40～50m、スイングヤードシステム（No.6）では約80mまでが低コストで搬出できる範囲であり、短距離型システムといえます。林内作業車システム（No.2）は50～300mあたりまでが低コストで搬出できる範囲となり、中距離型システムといえます。このように伐出コストを集材距離の1次式で算出することにより、必要な路網間隔と低コストで搬出できるシステムの選択を容易に把握することができます。図では伐区面積や出材積等の条件を一定としましたが、現場に応じて条件を変えることでより現場に適応した伐出システムや路網密度を把握することができます。

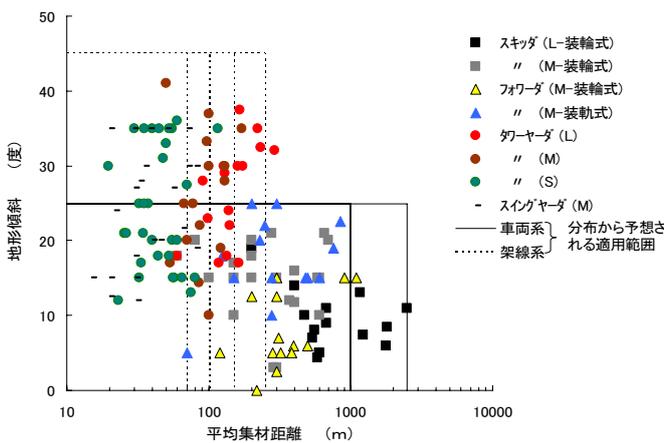


図1 地形傾斜と平均集材距離からみた伐出機械の適用範囲

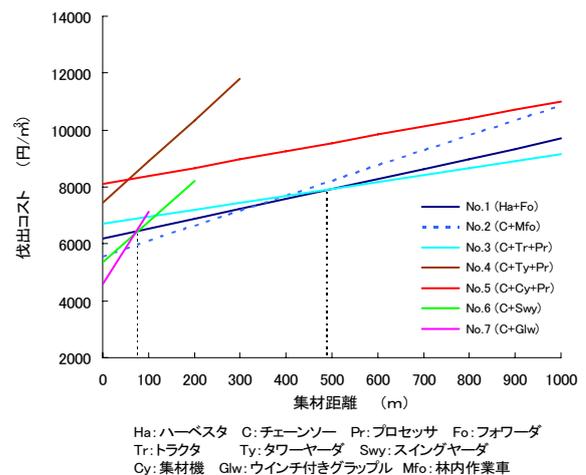


図2 各種伐出システムによるコスト試算

3. 崩れない低コスト路網を開設するためには

林道・作業道は山地斜面に作設されるため自然条件を無視すれば崩れてしまいます。特に作業道は低コストで作設されるため、道を保全するコンクリート構造物等は基本的に作りません。このため自然条件を考慮した崩れない道を作るためには、開設する場所の検討が重要なポイントとなります。さらに林道のように設計・施工規準がないため、伐出機械と伐出方法を考慮した道の規模や道の作設法も重要となります。写真1は作業道上での木材の積込み作業です。安全で効率的な作業を担保するのは堅固な路面から成る道の開設にあり、安全コストや路網維持管理コスト軽減にもつながります。崩れない路網は長い目で見れば低コスト路網といえます。近年、フォワーダが走

行する作業道を高密度（例えば200m/ha）に開設し、チェーンソー（伐倒）－グラップルローダ（木寄せ）－プロセッサ（造材）－フォワーダ（集材）という伐出システムにより、間伐材の伐出コストの低減に成功しているケースがみられます。このような高密路網を活用した伐出システムでは崩れない低コスト路網の開設は必須です。



写真1 作業道上での積み込み作業

（1）作業道の開設位置

山地斜面のどのような場所に道を開設すれば構造物を作らなくても崩れない道を作設できるのか、斜面の地形条件から検討しました。図3は茨城県筑波山系北部の加波山周辺において路網開設が難しい（コストがかかる）場所を抽出した例です。緑色の部分は傾斜30度以上の斜面であり、この部分に道を作設する場合には盛土のり面に何らかの構造物が必要となります。黒い実線は傾斜が変わる点を連ねた線（遷急線）であり、斜面崩壊が発生しやすい箇所です。赤色の部分は岩が露出しているところであり、道を作設する場合コスト高になる箇所です。このような図面を通して路網開設のための斜面情報図を作成することで路線の開設不適地を判定することができます。

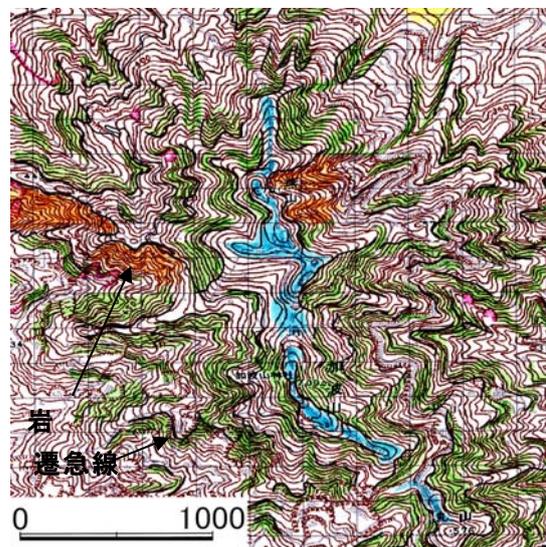


図3 崩れない路網開設のための斜面情報図

（2）作業道の規模

作業道の規模（幅員、縦断勾配等）は伐出機械、地形傾斜、搬出材の長さ等、様々な要因で決まり伐出システムの方向性が反映されます。表1はグラップル・フォワーダによる伐出システムを採用している4県9箇所を調査した作業道の規模です。幅員は2.6～3.5mと幅がありますが、縦断勾配は、約10度と大差はありません。幅員と縦断勾配は伐出機械の走行と作業のしやすさに影響します。切土のり面はほぼ90度近い角度で切土され、切土高は1.5～3mです。切土高は1.5m程度が崩壊の危険が無く、良いとされていますが、斜面の土質、根の伸長深などにより幅があります。盛土のり面は路肩部を保持し、路面の有効幅員を確保するため大事な箇所です。盛土のり面勾配が50度を超える場合には何らかの構造物を施工し、のり面が保持されるようにします。のり面保護のためには支障木を利用した木製構造物が一般的に作られますが、古タイヤ等を利用した土留工が構築されることもあります。

表 1 作業道の規模

規模 調査地	切土のり面		路面		盛土のり面		斜面傾斜 (切土上) (度)	路網密度 (m/ha)	平均集材 距離 (m)
	のり勾配 (度)	斜距離 (m)	幅員 (m)	縦断勾配 (度)	のり勾配 (度)	斜距離 (m)			
秋田県	73.7	3	3.5	10	50.7	1.83	34.3	214	15.3
茨城県	49.9	1.9	2.6	8.8	45.7	1.6	19.8	267	12.6
山梨県	—	—	2.6	10.7	—	—	29.7	—	—
高知県	71.8	1.5	2.8	10.5	53.2	1.9	37	271	13.4

(3) 作業道の作り方

一般に作業道の作設は切土を谷側斜面に盛りながら行います。谷側の盛土部の締固めが十分でないと、車両の走行時に盛土側が沈下し、最悪の場合には盛土部が崩落する場合があります。作業道路網を構築して伐出作業を行っている秋田県と高知県の調査地での作設方法を比較しますと、前者は上記の切土を谷斜面に盛って作設しますが、1年ごとに締固めて3年間をかけて完成させるのに対し、後者は盛土のり尻から路面まで盛土部、地山部の区別なく締固める点に特徴があります。図4はこれまで調査した路面の支持力を示したものです。

CBR値は路面の荷重を支える能力を表し、林道などの碎石路面では30～50の値です。高知県の場合では路肩側の値が山側よりも大きな箇所が多い一方、秋田県の場合では山側の値が大きい箇所が多くなっています。茨城県は緩傾斜であるため締固めを行っていない道です。各地域で土質が異なるため、今後締固め特性との関係を調べる必要がありますが、路体全体を締固める高知県での作設法は安定性に優れた方法であることが分かります。

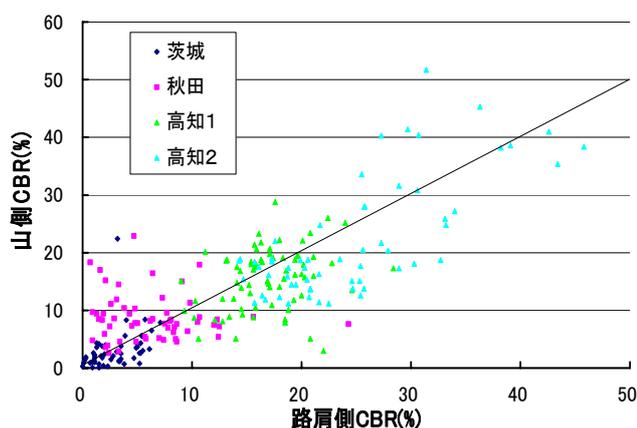


図 4 路面支持力による道の評価

4. おわりに

搬出コスト低減技術の開発にあたって、これまで地形条件・地理条件等に応じた伐出システムの類型化、高性能林業機械等による伐出システムの生産性算定モデルや伐出コスト予測手法の開発等、コスト低減に向けた伐出システムの選択手法を中心とした研究に取り組んできました。今後はさらなる労働生産性の向上・低コスト化を目指すために、高密度路網活用による車両系システム等の新しい伐出システムの生産性やコストを明らかしつつ、機械と路網が一体となった伐出システムの構築へ向けた研究への取り組みを推進していく必要があります。さらに低コスト伐出システムのポイントとなる作業道に関して、路体の性能・耐久性の評価とともに降雨量等の気象条件や土質条件に応じた施工法の開発、地形・地盤情報を考慮した路線計画手法の開発等に関する取り組みを推進していく必要があります。

国産材による製材・合板・集成材の製造と需要拡大への取り組み

宮武 敦（複合材料研究領域 チーム長）

1. はじめに

「循環型社会の構築」や「地球温暖化防止」の実現に向けて、森林及び森林資源の役割はますます重要になって来ています。我が国としては、成熟した人工林資源を有効に利用しつつ、適切な管理によって豊かな森林を永続的に維持していくことが必要であり、そのためには林業経営の成立が不可欠です。しかし、木材産業における使用原料はその8割を海外からの輸入材に頼っており、このことが林業経営の自立を困難にする一因となっています。したがって、木材利用に関しては、国際競争力を高めるための加工技術の高度化とコスト低減や新用途開発のほか、川上と川下の連携強化によって、使用原木を輸入材から国産材へ転換してその需要拡大をはかる必要があります。このため、森林総合研究所では、大きな需要先である製材、合板、集成材工業への国産材需要拡大のために各種の研究開発を行っています。製材については平成12年～16年の5年間において「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」を実施、さらに、合板や集成材については平成17年～19年の予定で「スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価（以下、「構造用新材料」）」をスタートさせました。ここでは、国産材利用に関する森林総合研究所のこれまでの取り組みと今後の展開について述べてみたいと思います。

2. 国産材利用に関するこれまでの取り組み

(1) 製材

建築用製材の出荷量は、年々減少の傾向にあるものの平成16年で1,100万 m^3 ほどあり、国産材供給先として最も大きなシェアを占めています。平成12年の建築基準法の改正や品質確保法の施行を受けて、スギの製材品を安心して住宅建築に使えるように、より品質の高い製品をより安価に供給できる乾燥システムが要求されるようになりました。そこで、「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」では、高温過熱蒸気等を使った新しい木材乾燥技術を開発するとともに、原木丸太の選別、高温処理による乾燥割れの抑制などによって乾燥材の品質を確保するための一連の技術開発を行いました。建築用の製材品に占める乾燥材は、出荷量、比率ともに増加しており（図1）、プロジェクト成果の普及により生産技術が

向上し品質の高い乾燥材が数多く市場にでることを期待しています。

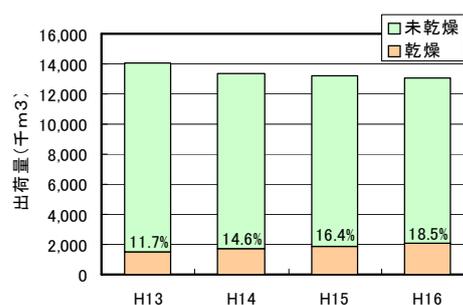


図1 乾燥された建築用製材の出荷量の推移

注) 図中の百分率は乾燥材の比率

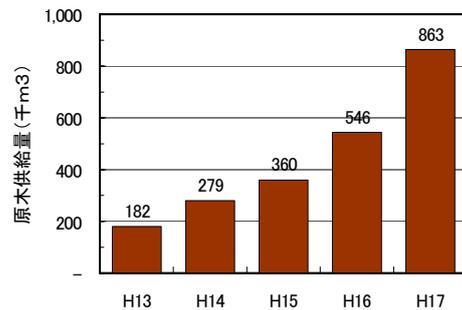
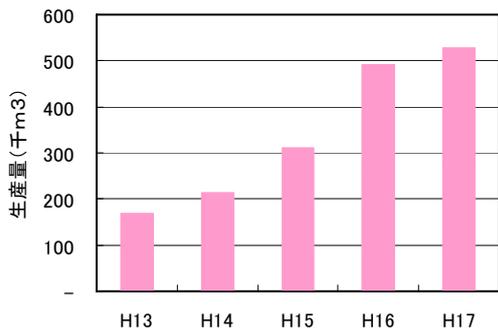


図2 厚物構造用合板の生産量の推移

図3 合板への国産材原木供給量の推移

(2)厚物構造用合板

厚物構造用合板の製造、評価、利用に関する技術について、森林総合研究所を中心に、大学、公立試験研究機関、ハウスメーカー、民間団体等との共同研究を重ね、厚物構造用合板の強度性能（曲げ、面内せん断、釘接合せん断等）や厚物構造用合板を住宅床に利用した場合の耐震性能や遮音性能を明らかにするとともに、厚物構造用合板の利用方法に関するマニュアルの作成や普及に努めました。これらの成果を受けて、平成15年の「合板の日本農林規格」の改正では、厚さ24mm以上の厚物構造用合板「2級」に対するヤング係数の基準値が見直され、スギを用いた合板製造が容易になり生産量の増大に貢献しています。また、平成15年には公庫技術基準「木造住宅工事共通仕様書」においても厚物構造用合板を利用した床組が認められるなど、厚物構造用合板を採用した住宅の建設が容易になりました。厚物構造用合板の生産量は年々増加の一途を辿っており（図2）、平成17年には生産量は53万m³、原木丸太供給消費量（図3）は86万m³を超えました。

(3)集成材

平成8年に改正された「構造用集成材の日本農林規格」は、水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤の採用、積層数の緩和などを通じて構造用集成材の生産効率向上に

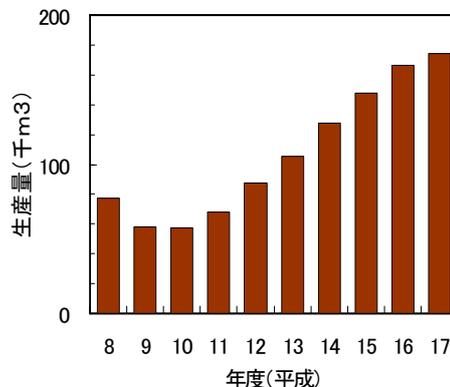
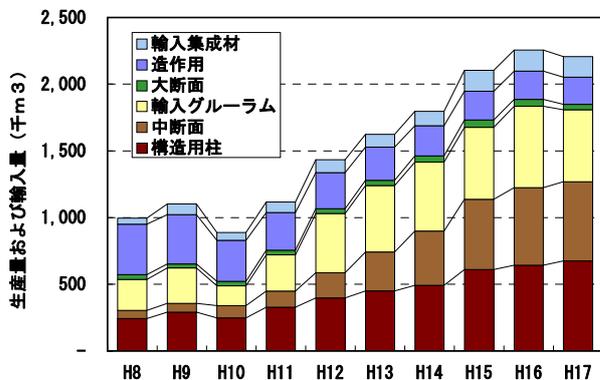


図4 集成材の国内生産量および輸入量の推移

図5 国産針葉樹材を用いた集成材の国内生産量の推移

日本集成材工業協同組合調べ

寄与するとともに、曲げヤング係数と曲げ強さ（例えば、E105-F300）などの性能表示を行うようになりました。平成7年に発生した兵庫県南部地震以降、消費者や建築行政の動向が木造住宅の建築分野に様々な変化をもたらす中で、構造用集成材は住宅用柱や梁としての地位を急速に確立し、その生産量・供給量を伸ばしました(図4)。しかしながら、低コストで品質の安定した集成材を大量に供給できたのは海外から安価でかつ安定的に原料ひき板が輸入・供給されたからでした。これに対し平成17年に国産針葉樹材を利用して国内生産された集成材は約17万m³で、同年の供給量220万m³に対してそのシェアは7.7%に過ぎません。ただ、国産材を用いた生産量は平成10年以降、徐々に増加の傾向にあります(図5)。この間、スギの利用を主体とした集成材工場の建設や、スギを用いた異樹種集成材の開発事業などが活発に行われました。

3. 国産材需要拡大のための構造用新材料の開発

スギの特徴を生かした厚物構造用合板は住宅床の部材として順調に生産量を伸ばしていますが、その性能は住宅の耐力壁や屋根等へと適応範囲を拡大することが可能で、更なる需要拡大が望めると考えられます。また、集成材の8割が住宅向け用途であることを考えると、構造用集成材の日本農林規格(JAS)がラミナの品質として要求する節やヤング係数の基準は厳しく、製品歩止まりの低下ひいては競争力の低下を招いていると考えられます。また、現在利用されている集成材は住宅用構造材としては過剰品質であると考えられることから、その要求性能を的確に把握する必要があるとの結論に達しました。そこで、これらの課題を解決して多くの地域材が利用できるように、表1に示す構成課題から成るプロジェクトを立案しました。課題(1)～(7)は構造用集成材、課題(8)は厚物構造用合板、課題(9)はこれら構造用新材料への原木供給問題に焦点をあてたものです。プロジェクトの実施・遂行にあたっては、全国の各地域の実情や最新の研究・開発成果が反映されるように北海道立林産試験場、岩手県林業技術センター、宮城県林業試験場、長野県林業総合センター、富山県林業技術セン

表1 「スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価」の構成課題

課題番号	課題名
(1)	現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価
(2)	現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価
(3)	新集成材の耐火性能付与とその評価
(4)	新集成材の接合強度評価
(5)	新集成材の耐久性評価
(6)	新集成材の接着技術の高度化とその評価
(7)	新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発
(8)	新しい厚物構造用合板の製造技術と壁・屋根への適用技術の開発
(9)	スギ等地域材の加工過程における利用拡大条件の解明

ター木材試験場、京都府林業試験場、岡山県木材加工技術センター、広島県立林業技術センター、愛媛県林業技術センター、宮崎県木材加工技術センター、国立大学法人東京農工大学、独立行政法人建築研究所と共同して行うことにしました。

平成 17 年には、オビスギ、アカマツ、台形ラミナ、幅はぎラミナ、スギ LVL、コナラ LVL などを含む集成材ラミナ約 9200 枚の曲げ、圧縮、引張強度のデータ、また、スギやアカマツ等を用いた集成材やカラマツ-スギ、カラマツ-トドマツ及びエゾマツ、スギ-ヒノキ、スギ-ベイマツ、スギ-北洋カラマツを複合した異樹種集成材など約 340 体の曲げ、圧縮、引張強度のデータを収集しました。これらのデータに基づいて、平成 17 年に行われた構造用集成材の JAS に関する見直しでは、現行 JAS に規定されているラミナ等級より低いヤング係数のラミナ利用を可能にするラミナ等級(L40、

L30) の新設、これら新設されたラミナ等級を使用したラミナ構成の新設のほか、特定異等級対称構成集成材（異樹種集成材のようにラミナ構成により曲げ強度性能の確保を目的とするもの）の新設（図 6）を提案しました。また、厚物構造用合板については、厚さ 24mm の厚物合板を用いた大壁仕様、真壁仕様共に壁倍率 5 倍を超える高倍率耐力壁の仕様を明らかにしました。

特定対称異等級構成			
ME120-F330	ME105-F300	ME95-F270	ME85-F255
L160	L140	L120	L110
L110	L100	L90	L80
L30	L30	L30	L30
L110	L100	L90	L80
L160	L140	L120	L110

図 6 JAS に提案された新しいラミナ構成

4. 今後の課題と展望

プロジェクトの研究成果は、JAS 改正、建築学会設計基準、マニュアルの作成等を通じて、設計者等が正しく利用できよう、そして、消費者に理解してもらえるように情報の整備を行っていく予定です。そして、何よりも、JAS 改正により国産材の使用可能な範囲が広がるようにしていく必要があります。今後、さらにラミナ品質の向上や異樹種集成材を効率的に製造できる新しいラミナ構成の検討が必要です。地域の原木供給体制の効率化を含むラミナの大量供給、これに対応した効率的な製造技術についても検討する必要があります。また、スギ厚物構造用合板の製造では、原木需要の増加に伴って供給上の問題にも直面しましたが、林野庁の「新流通」事業や、メーカー、県林務部、森林組合等の連携によって、このハードルが乗り越えられつつあり、これからさらに国産材による製材・集成材・合板の需要を長期的に拡大していくためには、原木の伐採や搬出、さらには林業のあり方に至るハードとソフトの両面での連携が必要であると考えられます。

平成18年度
独立行政法人 森林総合研究所
公開講演会講演要旨集

平成18年10月17日 発行

編集・発行

独立行政法人 森林総合研究所

企画調整部 研究情報科 広報係

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

Tel 029-829-8134 Fax 029-873-0844

E-mail : kouho@ffpri.affrc.go.jp

URL : <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>