

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

重点課題アウa

林業の活力向上に向けた新たな生産技術の開発



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

第2期中期計画成果集 アウ a

目 次

アウ a 1 木材利用部門と連携した活力ある林業の成立条件の解明	4
時代の要請に応える私有林経営形態の変革	6
欧米諸国における森林経営形態の変革の実態を調査し、日本でそうした変革が起こるために必要な条件を検討しました。	
森林売買の実態と林業への影響の解明	8
全国の森林組合を対象に森林売買の地域性や要因を明らかにしました。今後の対策として、森林組合による森林売買仲介機能の強化や森林購入資金の低利融資制度の拡充等を提案しました。	
中国における木材市場と貿易の拡大が我が国の林業・木材産業に及ぼす影響の解明	10
中国の木材貿易の展開が日本の林業・木材産業に与える影響を現地調査、政策分析、計量経済モデル分析によって検討しました。	
 アウ a 2 担い手不足に対応した新たな林業生産技術の開発	 12
生産性の向上に向けた高効率作業システムの開発	14
路網と機械が一体となった改良型の高性能林業機械作業システムの試験を行い、高い生産性を達成できました。	
国産樹種のコンテナ育苗技術の開発	16
育苗・造林の省力化・低コスト化のため、国産樹種に適応したコンテナ育苗技術を開発しました。	
天然更新で広葉樹林へと誘導するための判断技術	18
人工林を広葉樹林へと誘導する際、天然更新による誘導の可能性を事前に判断する手法を開発しました。	
追従走行型フォワーダの開発	20
フォワーダによる集材作業の効率向上を目的として、車両追従走行に関する制御機能システムを開発し、一人のオペレータで2台のフォワーダの走行操作が可能となりました。	
簡易レールによる新たな森林資源収穫システムの開発	22
森林内に散在する森林バイオマスや間伐材を効率的に収穫するため、モノレールの技術を応用して、機動性に優れた簡易レールと、敷設装置、収穫搬出機械からなる収穫システムを開発し、その適用範囲と最適作業条件を明らかにしました。	
林業機械オペレータの育成を効率化する習熟モデルの検討	24
熟練したオペレータの機械作業を解析し、効率的に作業を行うための操作技術と作業方法を明らかにしました。	
 アウ a 3 持続可能な森林の計画・管理技術等の開発	 26
持続可能な森林経営の基準・指標を地域へ適用する手法を開発	28
持続可能な森林経営の基準・指標について、わが国で応用可能な指標を抽出するとともに、簡便な評価手法と森林配置手法を開発しました。	
森林管理のために高分解能衛星データによる胸高直径の推定手法を開発	30
スギ・ヒノキの胸高直径を、高分解能衛星を用いて広域かつ効率的に推定する手法を開発しました。	

人工林の長伐期施業のカギは初期の間伐にある	32
長伐期施業においては林齢 30 ～ 40 年生までに将来木を決め、それ以外の樹種の間伐してしまうような施業、つまり若い段階での徹底的な「山づくり」が合理的と考えられます。	
間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント	34
間伐遅れ林分に対して強度な間伐を行った場合の、林分成長や材質への影響評価、風害や虫害のリスク評価、伐出コストダウンの推定等を明らかにし、施業指針として取りまとめました。	
大面積皆伐の対策はどうあるべきか？	36
南九州地方で大きな問題となっている大面積皆伐の問題を経営、生態、防災の 3 分野から研究し、対策のための指針をまとめました。	
スギ花粉はどこから飛んでくるのか？	
ー都市域に影響を及ぼすスギ花粉発生源の特定手法を開発ー	38
スギ花粉飛散予報モデルを応用し、都市域に飛来する花粉の発生源を特定する手法を開発しました。	
いつ、どう伐れば儲かるか？	
ー林業経営収支予測システム FORCAS を使った施業計画ー	40
いつ、どうやって、どのくらい間伐すれば良いのかを探し出すソフトウェア FORCAS（フォーカス）を開発しました。	
航空写真から松枯れ木をピンポイント探査	42
北日本でマツ枯れを発見する最適な撮影時期を明らかにし、その分布位置を正確に求め、樹木に誘導する情報端末装置を開発しました。	
タケの地上部現存量を簡易に推定する	44
管理されなくなった竹林で、トータルのタケの量（重さ）を簡単に知る方法を考えました。	

森林売買の実態と林業への影響

厳しい林業情勢の下で、育林施業の放棄や伐採跡地の放置だけでなく、森林の売却も全国で見られるようになりました。こうした森林売買の実態を全国規模で調査した結果、経営意欲が減退した小規模林家を中心に森林売却があり、その売買価格は育林投資の回収が困難なほど低額でした。購入者は中小規模林家や素材生産業者などで、特に九州・四国では後者のケースが多く、皆伐された場合、3年以上再造林が行われない傾向がみられます。持続的な森林経営を行うためには、経営意欲のある林家や林業事業体に経営の委託や所有権移動を促すため、森林組合や公的機関による売買や委託仲介機能の強化などが必要であることがわかりました（図1）。

世界の森林経営形態の動きと日本への応用

政府は活力ある林業の再生を目指し、「森林・林業再生プラン」（2009年）を樹立しました。再生のためには「森林売買の実態」に示したような自ら森林経営を行うことが難しくなった小規模林家などに代わって、森林を集約化し効率的な経営を行える仕組みを築くことが重要です。そのヒントを探るため、欧米先進林業国の森林経営の実態を調査しました。その結果、製材工場の大規模化などの素材需要の変化に対応して、複数の森林所有者が連携して地域組織をつくり、木材マーケティングを強化して私有林経営においても積極的な木材経営を行っていることがわかりました（図2）。育林の時代から収穫の時代に入ったわが国でも、森林組合などの役割として組合員の森林を集約化し、マーケティングを強化して林家の林業所得を高める役割が求められていることが明らかになりました。

地域資源の利用による林業・山村の活性化

山村では、大規模林産企業による森林資源の活用や、グリーン・ツーリズムを端緒とする地域資源活用や棚田・藁葺き民家を維持するための市民によるボランティア活動などの社会連携の取組が活発化しています。しかし、実際には山や里の生み出す恵みの多くは域外に取り出され、地域の豊かさに結びついていません。こうした中で、福島県の全国有数の大規模製材企業では、社内山林部による林家への間伐木購入営業が行われ、林家との定期的な取引関係を作っています。購入立木は下請けの伐出業者に生産させ、山元から工場に直送する安定的な原木調達システムをつくり規模を拡大しています。その過程で、原木集荷圏内の林家や伐出業者等に企業活動の成果が分配され、地域の恵みを地域に還元する仕組みが構築されていることがわかりました（図3）。近年、日本を取り巻く木材貿易構造は、中国の木材輸入の飛躍的拡大とともに中国市場の影響力が高まり、わが国の林業政策は輸入材利用から資源の充実してきた国産材の活用に向方向を転換しています。製材や合板、集成材などの大規模林産企業による地域資源活用も全国規模で拡大しつつあり、上記の福島県の企業に見られるような地域の恵みを地域に還元する様々な仕組みを広範に作り出していくことが重要で、木材利用部門と連携して成果の山元への分配システムをつくり出すことが林業・山村の活性化に不可欠な条件であると考えられます。

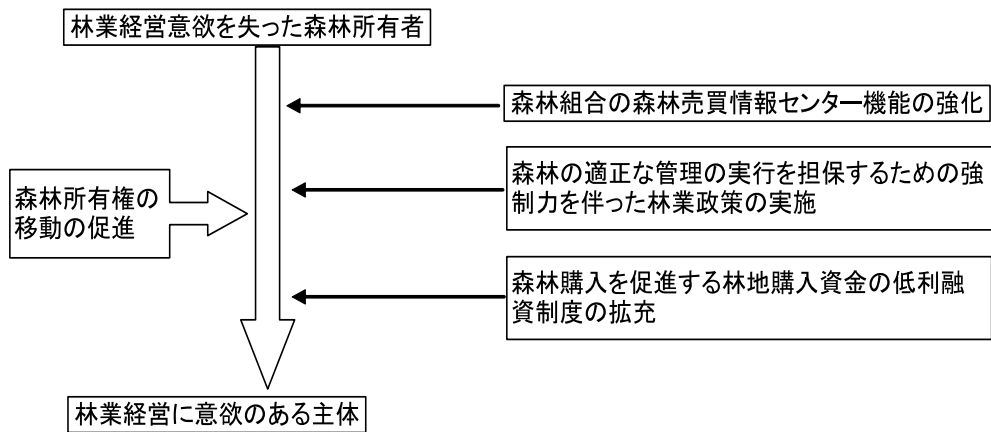


図1 森林所有権移動に対する取組方策

森林所有者に対するサービス			公共利益の確保	例
木材マーケティング、製材工場等との関係構築など	木材販売支援	経営助言	公共利益の確保のための指導および監督	
森林組合（森林官が経営責任者を兼務する場合もある）	森林官	森林官	ドイツ バーデン・ビュルゲンラント	
	森林官		スイス ルツェルン州（改革後）	
森林組合	森林官	森林官	ドイツ バイエルン州	
地域組織の森林官	州森林官	州森林官	スイス ルツェルン州（改革後）	
森林組合連合 一有関係会社	地域の森林組合	州監督官	オーストリア シュタイアーマルク州	
森林管理協会（入札代行）	森林管理協会	林業センター 計画官	フィンランド 地産物入賞	

地域組織の
強化、再編

図2 欧州4ヶ国における地域組織の比較

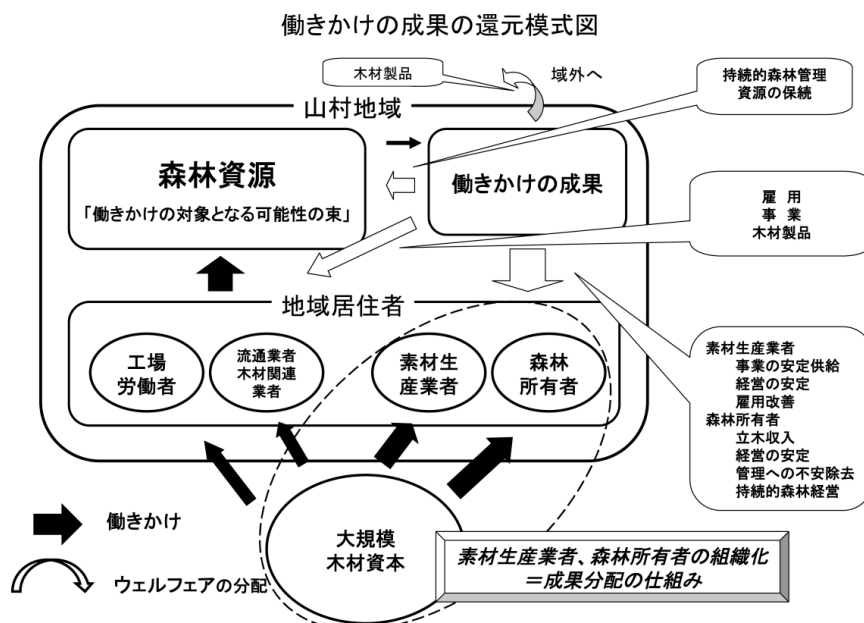


図3 大規模林産企業による木材販売成果の地域内分配システム

時代の要請に応える私有林経営形態の変革

林業経営・政策研究領域
関西支所
筑波大学（元北海道支所）

岡 裕泰、久保山裕史、堀 靖人、石崎涼子
山本伸幸
立花 敏

政府は、森林・林業再生プランにおいて今後10年間に国内から生産される木材の量を大幅に増やすことを目指しています。そのために克服しなければならない課題の1つは、自ら森林経営を行うことが難しい小規模な森林所有者などに代わって効率的な森林経営を行うことができる仕組みを築くことです。

欧米諸国などでは、製材工場の大規模化などの状況変化に対応して私有林の森林経営形態を変革し、積極的に木材生産を行っている国々（先進林業諸国）があります。そこでは民間資金を導入した所有構造の改革をとともなう森林投資型の変革と、林家の森林所有権は維持しながら地域組織の再編で対応する地域組織型の変革が起こっており、わが国でそうした変革が起こるための条件について検討しました。

森林投資型の森林経営形態

北米や南米、オセアニアでは、森林投資・管理会社（TIMO）や不動産投資信託会社（REIT）が、個人や年金基金等から集めた資金を用いて林産企業や個人の所有する森林を買収し、大規模な森林経営を行う動きが活発化しています。TIMOやREITは、森林の成長や木材価格の動向から収益評価を行い、高い収益の見込まれる森林を買収し、林地開発も視野に入れつつ大きな木材販売収益をもたらす森林経営を行っています。

今後、わが国において、森林投資を実現させ普及するためには、適正な森林価格鑑定および収益性判定の手法を開発し、林業の適地を見直すとともに、収益を上げる人工林施業体系を再構築する必要があります。

地域組織型の森林経営形態

欧州諸国のなかでは、製材工場の大規模化などの状況変化に対応するために、複数の森林所有者を束ねる地域組織を新設または再編して、木材マーケティングや供給力を強化しようとする動きがみられます。その新設初期投資には公的助成が与えられ、その後は木材販売による収益から組織運営ができるよう促す仕組みがとられています。また、森林官は公益的な機能確保のための監視や助言などに重点化し、木材の生産や販売に関わる業務は受益者が費用を負担する方向で経済的な自立を図る

とともに、それを担う地域組織はその負担に応える責任を負います。

これまでの歴史の中で公益の確保や組合員の利益の確保、多角化した事業の雇用確保など、様々な目的を担われてきたわが国の代表的地域組織である森林組合の今後の役割を再定義する上で、以上の欧州諸国の経験は貴重な道標となります。育林の時代には、公的造林施策や間伐施策に対応して、公的資金が大きな原動力となっていましたが、収穫の時代には資源の伐採収入を原動力に、組合員（森林所有者）の林業所得を高める役割が求められることが明らかになりました。

民間投資促進と公益確保策のあり方が鍵を握る

今後、これまでに築きあげた森林資源を有効に用いて、林業・林産業の活性化を図り、併せて国土と生物多様性を保全することが要請されています。そのためには、欧米諸国の知見も取り入れながら、民間部門からの森林投資を促進する一方で、適切な公的監視制度の再構築を図ることによって、公私両面からの適切な森林管理のあり方を抜本的に問い直し、持続可能な森林経営を実現することが必要です。

こうした調査分析の結果は、森林・林業再生プランをはじめとする政策検討の材料として活用されています。

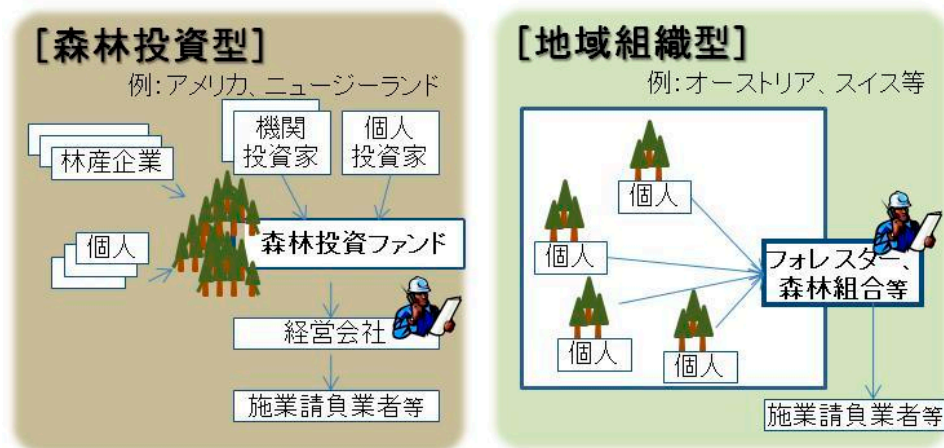


図1 森林投資型と地域組織型の概念図

表 森林投資・管理会社（TIMO）と不動産投資信託会社（REIT）

		森林投資・管理会社 (TIMO)	不動産投資信託会社 (REIT)
投資	資金源	投資家、年金基金等	
	流動性	中程度 (買い手が見つからないと投資資金の回収は不可)	高い (株式市場で売買可能)
	利益分配	収益一手数料 ー税金 (収益の35%)*	収益の90%以上を投資比率で配当 ー税金(配当の15%)*
林地・林木の 売買	手順	投資家と協議	会社が判断
	基準	投資利回りや投資収益で判断する	左と同じ
森林管理	所有権	なし	あり
	管理者	直接または 管理会社に委託	管理会社に委託

* 米国の場合

森林所有者に対するサービス			公共利益の確保	例
木材マーケティング、製材工場等との関係構築など	木材販売支援	経営助言	公共利益の確保のための指導および監督	
森林組合（森林官が経営責任者を兼務する場合もある）			森林官	ドイツ バーデン・ビュルゲンランド州
			森林官	スイス ルツェルン州（改革前）
森林組合			森林官	ドイツ バイエルン州
地域組織の森林官			州森林官	スイス ルツェルン州（改革後）
森林組合連合 →有限会社化			州監督官	オーストリア シュタイアーマルク州
地域森林組合			州監督官	
森林管理協会 （入札代行）	森林管理協会	林業センター 計画官	林業センター 監督官	フィンランド
		地主の介入		

地域組織の
強化、再編

図2 欧州4ヶ国における地域組織の比較

森林売買の実態と林業への影響の解明

研究コーディネータ
林業経営・政策研究領域
東北支所
関西支所
四国支所
九州支所

駒木貴彰
都築伸行
林 雅秀
田中 亘
垂水亜紀
山田茂樹

厳しい林業情勢の下で、施業放棄や伐採跡地の放置だけでなく森林売却も全国的規模で見られるようになりました。本研究は、森林所有権の移動実態を全国規模で調査し、適切な森林管理が実施できる方策を明らかにすることを目的に実施しました。その結果、経営意欲が減退している小規模林家を中心に森林売却があり、それに対して森林の購入は在村の中小規模林家や素材生産業者、企業等様々であり、地域性がありました。また、森林の売買価格は育林投資の回収が困難なほど低額でした。さらに、売却後の森林が皆伐された場合、伐採後3年以上再造林が行われない傾向がみられました。こうした実態分析を基に、持続的な森林管理が担保されるための方策を提示しました。

全国の森林組合に対して所有権移転の実態を把握し、適切な森林管理を行うための方策を明らかにするために平成16年と17年の2カ年にわたってアンケート調査を行うとともに、関係者への面接により森林売却の理由を調べました。

1. 主な森林売却および購入階層

長期間にわたる木材価格低迷を主要因とする林業への関心の低下や林業後継者がいないなどの理由により、所有森林面積20ha未満の小規模な林家層を中心に森林の売却が行われていました。特に、北海道や九州では不在村所有者が売却する事例が多くみられました。

一方、森林を購入する階層は、森林所有規模が50ha以下の小中規模の林家や素材生産会社を中心とする林業関連企業、林業とは接点のない他業種の企業や地方自治体等でした。特に、四国や九州では素材生産企業が森林を購入するケースが多くみられました。

2. 森林の売買価格（1ha当たり）

森林（土地と立木）の売買価格には幅がありました。アンケートの結果から北海道、東北、関東そして九州では50万円以下、また北陸・中部、中国・近畿、四国では100万円以下という価格が主体でした。こうした森林の売買価格の違いは、売買の対象となった樹種や林齢、立地条件、地域的な林産業の成立の歴史、そして購入者側の思惑など、さまざまな要因が関わっていると考えられます。ただ、この売買価格帯から明らかなことは、育林投資が回収できないほど低い価格で森林が売買されているということです。

3. 森林売却後の森林の取り扱い

森林売買に伴い売却された森林に対して皆伐作業が行

われた場合、皆伐後3年以上再造林が行われない事例が多くみられました。特に、負債整理を目的に皆伐した場合や素材生産業者が購入した森林を皆伐した場合などに再造林放棄が目立つようです。

今後の対策

森林売買は再造林放棄をもたらす可能性があることがわかったことから、これを回避するために以下のことが考えられます。森林の適正な管理を継続するという観点から、経営意欲を失った森林所有者から意欲ある経営者層に経営委託や所有権の移動を促す必要があります。そのためには、森林組合に対する森林売買取引情報の集約と仲介機能の強化を図る必要があります。また、施業計画を実行できない所有者に対しては、経営委託勧告など強制力のある措置を講じることや森林購入資金の低利融資制度の拡充等によって、意欲ある事業体に森林を集中させることも考えるべきでしょう。

情報源

山田茂樹（2006）森林所有権移転の実態—高知県—、『森林・林業・木材産業の将来予測 —データ・理論・シミュレーション—』、森林総合研究所編、日本林業調査会：205-225

駒木貴彰（2006）森林所有権移転の実態—北海道—、『森林・林業・木材産業の将来予測 —データ・理論・シミュレーション—』、森林総合研究所編、日本林業調査会：226-238

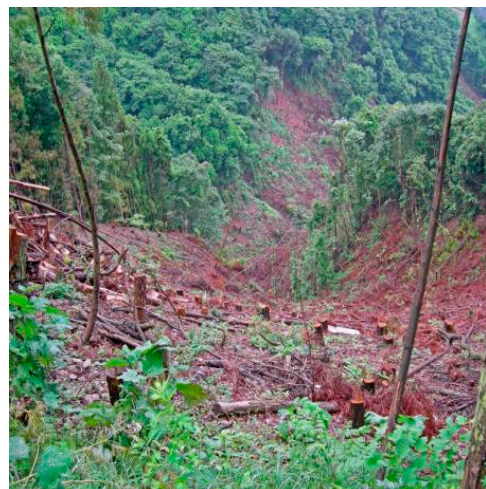
都築伸行、野田巖、駒木貴彰（2007）四国・九州における素材生産業者等による土地付き立木購入の実態、森林応用研究、16(2)：93-99

駒木貴彰（2008）森林所有権流動化の現状、木材情報、12：5-8



再造林されたカラマツ林地（北海道東部地域）

伐採後の再造林が計画的に行われることが重要です。

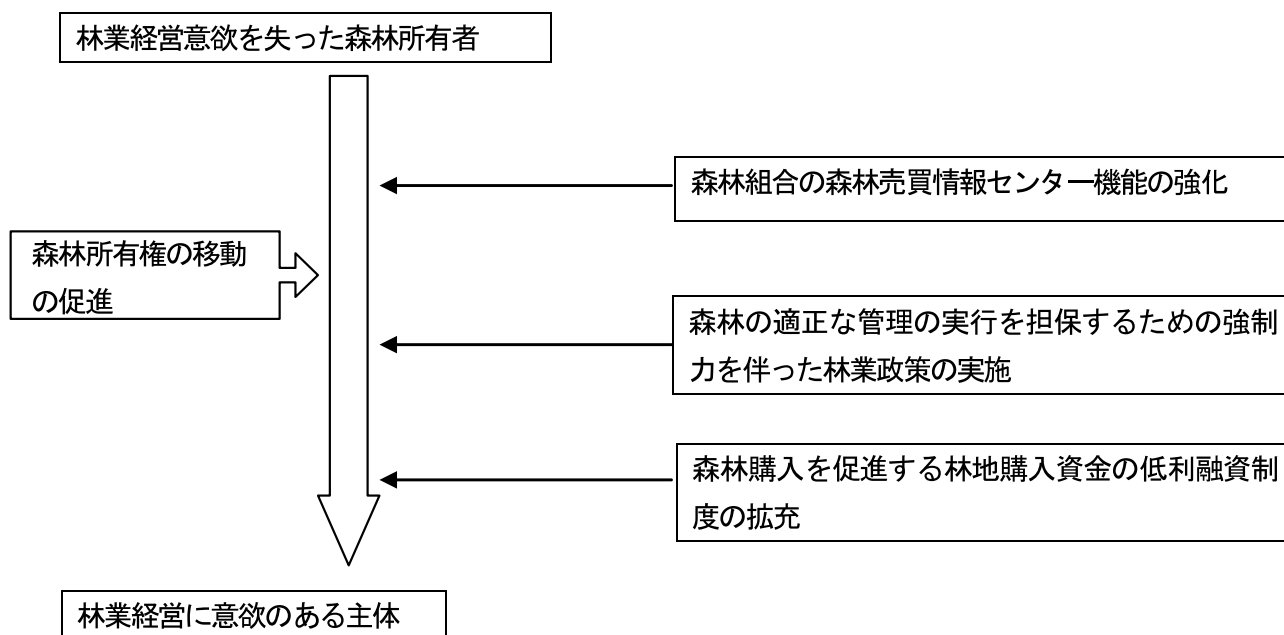


放置された伐採跡地（関東北部地域）

伐採後搬出されなかった末木や枝条が放置されているので、再造林作業をする場合に費用が嵩みます。

写真 1, 2 伐採後の取り扱い事例

表 1 森林所有権移動に対する取組方策



中国における木材市場と貿易の拡大が 我が国の林業・木材産業に及ぼす影響の解明

林業経営・政策研究領域
北海道支所
東北支所
関西支所
九州支所
複合材料研究領域
加工技術研究領域
研究コーディネータ
筑波大学
神奈川県自然環境保全センター
アジア経済研究所
中国林業科学研究院
北京林業大学

堀 靖人、平野悠一郎、久保山裕史
八巻一成、嶋瀬拓也
天野智将
山本伸幸
山田茂樹
塔村真一郎
村田光司
駒木貴彰
立花 敏
山根正伸
大塚健司
陸 文明
呉 鉄雄

世界の木材貿易における中国の位置づけはここ 10 数年間で著しく高まってきました。世界の木材貿易の重要なアクターとなった中国の林業、木材産業の実態とそれらに関する政策の動向から、日本への影響を分析することを目的としました。

中国の林業政策は 1990 年前後に大きく変わり、国内森林資源保護のため伐採抑制的な政策がとられ、旺盛な国内消費をまかなうために木材輸入を拡大させました。また各種規制を緩和することで多数の木材産業が生まれました。しかしその基盤は脆弱です。中国経済の今後の動向は、中国のみならず日本の林業、木材産業をも左右すると考えられます。今後も中国の木材産業と貿易の動向を観察し続ける必要があります。

中国の森林、林業に関する政策の動向とその影響、中国の森林、林業、木材産業の実態把握、計量経済モデルによる中国の木材需要動向と日本の森林、林業への影響について検討した結果、次の点が明らかになりました。

(1) 中国の木材貿易拡大の背景には、中国経済の著しい成長に加えて、1990 年前後に本格化した伐採抑制的な政策があります。この政策の結果、国内供給量が減少し、それをロシア材をはじめとした輸入材でまかないました。ロシア材輸入拡大は、中口国境問題が 1990 年代に解決に向かったことも大きな要因でした。

(2) 中国の木材貿易の特徴として、丸太、原板といった原料輸入量の拡大と合板をはじめとした木材製品の輸出拡大があげられます（図 1）。その背景として中国国内の木材加工業の発達がありました。

(3) 2007 年以降のロシア丸太輸出の関税率の引き上げ、2007 年の日本の住宅不況、2008 年のリーマンショックなど大きな変化がみられました。その中で、中国の木材加工業はロシア材調達において丸太輸入から原板輸入への転換、同時にロシア材依存から北米材や NZ 材へと分散化をはかっていることがわかりました。製品販売先については、品質への要求が厳しい日本市場を避け、欧州、アメリカ市場への依存へ、さらには中国国内市場の開拓

へと重点を移していることがわかりました。

(4) 中国の木材加工業が柔軟な対応を行える理由として、まだ人件費が安く、機械化するよりもより多くの労働者を使う生産様式の方が有利であるため、設備投資に多くの資本を必要としないこと、その結果、企業の参入障壁が低く、多くの中小企業が参入することで必要な生産を一気に増やすことが可能であること、逆に需要が後退した場合はこうした中小の企業が撤退することで容易に需給の調整が可能であることが考えられます。また、原料調達においては世界各国に張りめぐらされた華僑の人的ネットワークによって世界中から安価な原料の調達が可能であることも、中国の木材加工業が柔軟な対応を行える理由です。

(5) 実態調査と計量経済モデル（図 2、図 3、表 1）の結果から、今後、中国経済の成長が木材貿易を通して日本の森林、林業、木材産業に影響することは間違いありません。具体的には、中国の経済成長が続けば、中国の木材貿易での優位性は継続し、日本では輸入木材への依存度が減少し、国産材需要が増します。中国の経済成長が停滞すると、これとは逆のことが起こります。日本の国産材利用は中国経済の動向に大きく左右されるため、今後も注目していく必要があります。

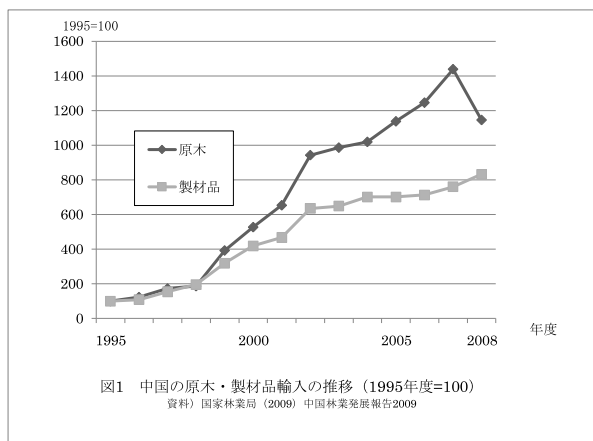


図1 中国の原木・製材品輸入の推移
(1995年度=100)

資料) 国家林業局 (2009) 中国林業発展報告 2009

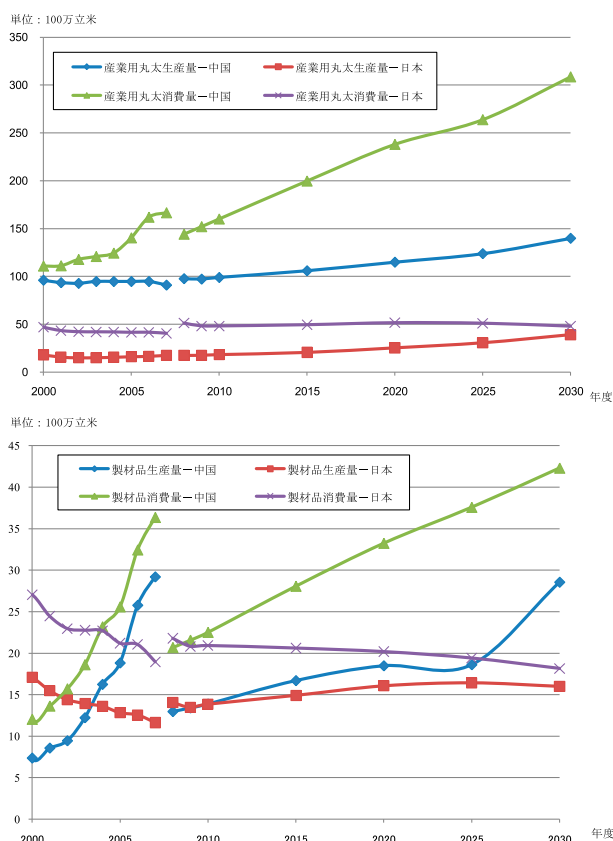


図2 ベースシナリオにおける日中の産業用丸太生産量と消費量の動向

注) GDP の予測は EIA(2010)International Energy Outlook 2010 の数値を用いた。2011-2015 (日 0.28%・中 7.74%・世界 2.75%)、2016-2020 (日 0.33%・中 5.89%・世界 3.26%)、2021-2030 (日 -0.14%・中 4.25%・世界 2.67%)

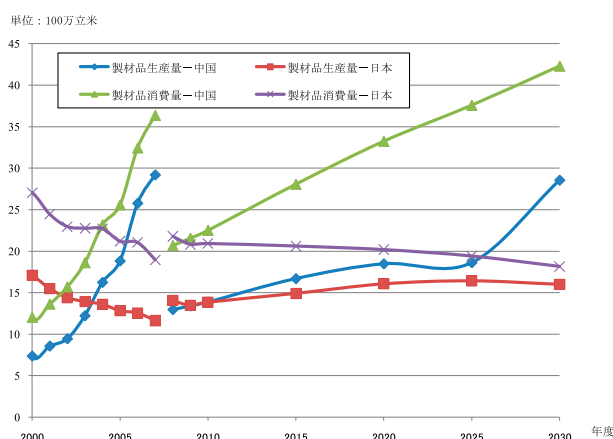


図3 ベースシナリオにおける日中の製材品生産量と消費量の動向

注) GDP の予測は EIA(2010)International Energy Outlook 2010 の数値を用いた。2011-2015 (日 0.28%・中 7.74%・世界 2.75%)、2016-2020 (日 0.33%・中 5.89%・世界 3.26%)、2021-2030 (日 -0.14%・中 4.25%・世界 2.67%)

表1 中国のGDPが1ポイント減った場合の代替シナリオ (ベースシナリオとの比較)
(1,000 m3、%)

		2015	2020	2025	2030	2015	2020	2025	2030
産業用丸太消費量	中国	-7,909	-20,889	-34,414	-52,583	-4	-9	-13	-17
	日本	1,045	2,333	5,178	7,647	2	5	10	16
産業用丸太生産量	中国	-827	-1816	-3553	-6272	-1	-2	-3	-4
	日本	-239	-572	-1212	-2291	-1	-2	-4	-6
製材品消費量	中国	-761	-1804	-3052	-4481	-3	-5	-8	-11
	日本	34	156	279	440	0	1	1	2
製材品生産量	中国	-761	-1118	841	-1652	-5	-6	5	-6
	日本	500	493	523	616	3	3	3	4

アウ a 2 担い手不足に対応した新たな林業生産技術の開発

皆伐と再造林

人工林の皆伐後に造林が行われない例が増えており、その面積が広い場合、問題になります。経営、生態、防災の観点から南九州地方の例を研究し、皆伐地の把握、作業計画の提出、改善計画の提案、低コスト育林への助成、環境に配慮した伐出の奨励の5つが大面積皆伐の対策として重要であることを明らかにしました。これは皆伐全般に通じる内容であり、成熟した人工林資源の有効活用を進めていく上での指針となります。また、育苗・造林の省力化・低コスト化に資する国産樹種のコンテナ育苗技術を開発しました。

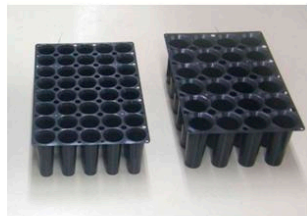
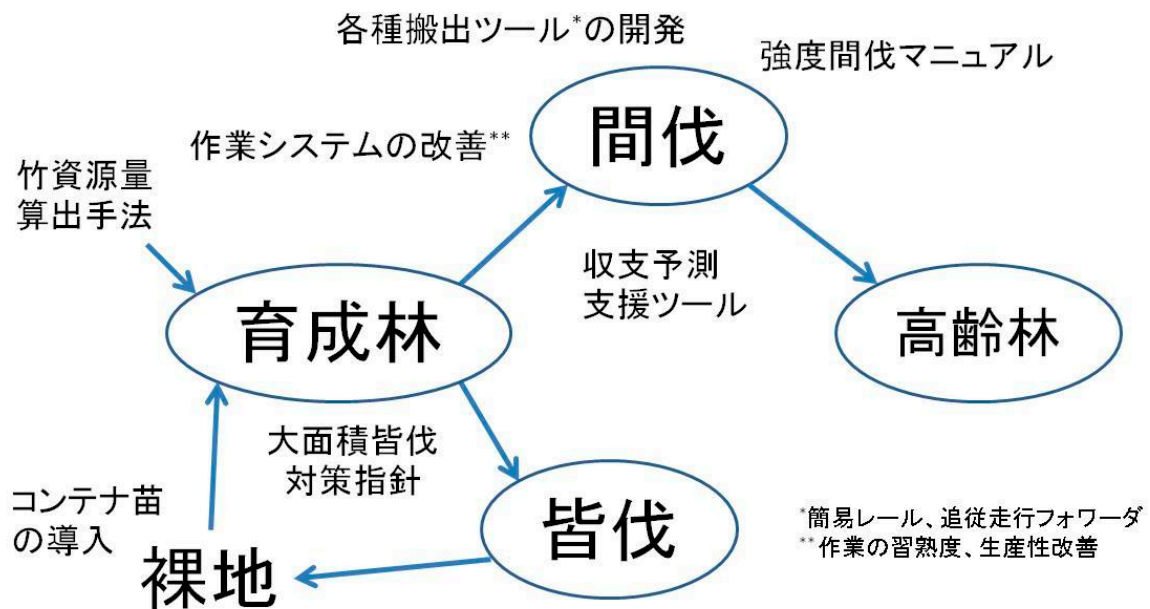
木材の生産性

わが国の平均的な素材生産性は皆伐が $5\text{m}^3/\text{人日}$ 、間伐は $3\text{m}^3/\text{人日}$ で、北欧に比べ非常に低い値です。森林総合研究所では林野庁が全国に設けたモデル林から釧路、静岡、鹿児島 の 3 例を選び、高効率な間伐の作業システムの開発試験を行い、 $10\text{m}^3/\text{人日}$ の生産性を達成するための作業方法、機械システム、適用条件、留意点などを取りまとめた作業マニュアルを作成しました。このマニュアルの利用により、地域条件を考慮した生産性の向上が期待できます。また、人員配置の効率化が重要です。グラップルローダを用いた荷役作業を例に、林業機械のオペレータの初期習熟のデータからその後の習熟度を予測する習熟モデルを作成しました。森林内に散在する森林バイオマスや間伐材を効率的に収穫するため、モノレールの技術を応用して、機動性に優れた簡易レールと、敷設装置、収穫搬出機械からなる収穫システムを開発し、その適用範囲と最適作業条件を明らかにしました。

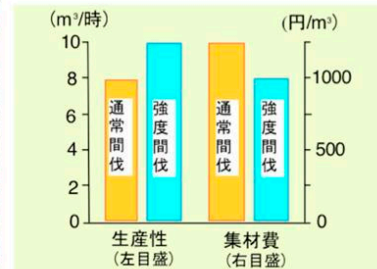
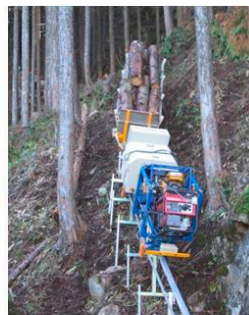
人工林の育成管理と収穫予測

間伐遅れの過密林分が増えており、放置し続けると林木の成長にも林地の保全にもよくありません。近年、コストを下げるために間伐の回数を減らし 1 回の間伐を強度にする傾向があることから、強度間伐の評価を行いました。その結果、作業は効率的で低コストとなること、強度間伐後に木はよく成長し、材の強度も変わらないこと、しかし、虫害や風害リスクに対して注意すべき立地条件があることなどが明らかになりました。材価収入と伐出経費を予測し、間伐の時期や強度など最適な施業計画を探し出すソフトウェア FORCAS（フォーカス）を開発しました。これによりオーダーメイドの予測ができるので、提案型施業を進めるためにも役に立ちます。

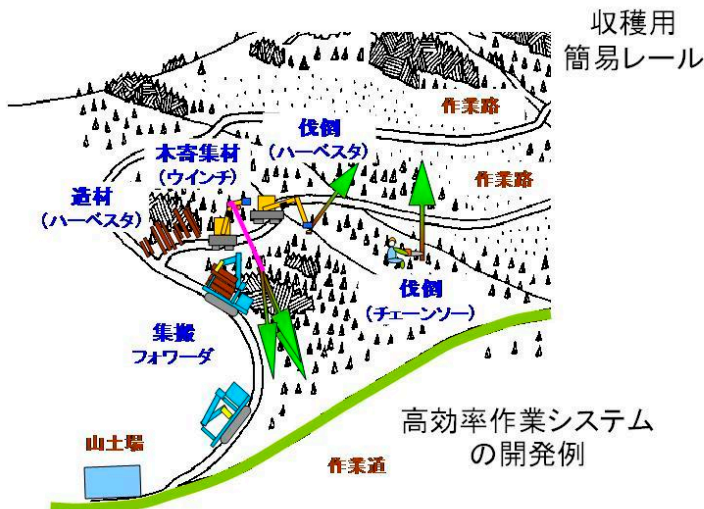
木材生産の安全と生産性の向上、森林の多面的機能の維持のため、新技術の開発研究を進めました。



国産コンテナによる国内樹種の育苗



生産性の向上でコストダウン



生産性の向上に向けた高効率作業システムの開発

林業工学研究領域
林業工学研究領域
北海道支所

岡 勝
中澤昌彦
佐々木尚三

高効率作業システムを開発するため、平成 19～21 年度の 3 ヶ年にわたり、新たな高性能林業機械システムに関するチャレンジ的な調査と実証を行いました。森林総研では、全国 12 箇所のモデル林のうち、釧路、静岡、鹿児島 の 3 モデル林を対象に調査を行い、中核となる高性能林業機械に改良を加え更なる性能向上を図り、これらの機械を用いた作業システム、作業方法、路網整備などのガイドラインを提示しました。これらの機械を用いた結果、所期の目標である $10\text{m}^3/\text{人日}$ の高生産性を達成しました。また、地域特性に応じた作業システムの普及・定着のため、各モデル林ごとに調査結果をもとにした作業マニュアルを作成し、高生産性を目標としたシステム改善を図る上で必要な路網整備、作業方法、作業上の留意事項などをわかり易く示しました。マニュアルの利活用により、低コスト作業システムの実現が期待されます。

モデル林での作業システム開発

わが国の素材生産の生産性は近年増加傾向にあるものの、その平均値は皆伐で $5\text{m}^3/\text{人日}$ 、間伐で $3\text{m}^3/\text{人日}$ であり、北欧など林業先進林業国に比べ大幅に立ち遅れています（林野庁 2008）。林野庁では、森林林業基本計画に基づき、路網と高性能林業機械を組み合わせた高生産性のシステム開発の一環として、2007～2009 年度の 3 ヶ年にわたるモデル事業を立ち上げました。本事業は、地域特性を考慮し、全国 12 箇所にモデル林を設定し、生産性 $10\text{m}^3/\text{人日}$ を目標としました。森林総研では、釧路、静岡、鹿児島 の 3 箇所にモデル林を設定し、各地域の地形条件等を考慮した新たな作業システムの開発試験を行いました。

釧路モデル林では、地形傾斜 15 度以下の緩傾斜地において、集材機械の輸送能力に着目しフェラーバンチャ、スキッド、プロセッサ、フォワーダによる作業システムを対象としました。静岡モデル林では、地形傾斜 30 度程度の急傾斜地を対象に、集材機械の機動能力と到達能力に着目しチェーンソー、スーパーロングリーチグラップル、プロセッサ、フォワーダによるシステムを対象としました。鹿児島モデル林では、地形傾斜 15～30 度の中傾斜地を対象に、集材機械の機動能力に着目しチェーンソー及びロングリーチハーベスタ、フォワーダを対象とした少工程少人数のシステムを対象としました。

なお、開発試験では中核となる高性能林業機械に改良を加え更なる性能向上を図りました（図 1）。釧路モデル林で使用したフェラーバンチャは傾斜木にも対応可能なように、フェラーバンチャヘッドが左右に 90 度チルト可能な機構としました。静岡モデル林で使用したスーパーロングリーチグラップルは水平距離で 20m のリーチがありますが、ブーム先端に小型ウィンチを搭載し、さらに遠くの伐倒木を集材できるようにしました。また、鹿児島モデル林で使用したハーベスタにリモコン操作のウィンチを搭載したことから、傾斜地においてもワンマ

ンで伐倒、集材、造材が可能になりました。これらの機械を用いた調査の結果、目標とした $10\text{m}^3/\text{人日}$ を達成することが出来ました。ただし、生産性は条件により変動します。小径木、長距離集材などの条件によっては $6\sim 8\text{m}^3/\text{人日}$ 程度に留まる場合もありました。本調査と併せて実施した伐採エリアを 1 単位とした日報調査では、 $15\sim 20\text{m}^3/\text{人日}$ を達成した事例もあり、高生産性システムの定着・普及には更なる実験と機械やシステムの改善・改良が望まれます。

具体例として、鹿児島モデル林での調査結果から得られたシステム開発の目標を例示します。作業システムの例を図 2 に示しました。ここでは、オペレータが何役もの作業を行い、多機能な機械を少人数で運用する融通性の高いシステムとすることも目標の 1 つとしました。高生産性のシステム展開のためには、地域の諸条件を考慮したシステム開発が極めて重要です。そのガイドラインとして、図 3 に調査結果を踏まえた作業システムの目標設定と適用条件の例を示しました。

今後の課題

高性能林業機械を用いた伐出作業を安全かつ効率的に進めるためには、生産基盤となる路網の整備が不可欠となります。林内作業路の整備により、これまで林道や作業道などに隣接した山土場で行われていたプロセッサによる造材が、林内の作業路上で実施可能となりました。プロセッサやハーベスタなどの機械質量は 10 数 t あるため、これらの重さに十分耐え得る路体が必要です。また、一過性の路網利用としないため、適切な排水処理を施し耐久性を高くする必要があります。3 ヶ年の研究成果をもとに、各モデルごとに作業マニュアルを作成しました。マニュアルには、高生産性を目標としたシステム改善を図る上で必要な路網整備、作業方法、作業上の留意事項などをわかり易く示し、その活用により低コスト作業システムの実現が期待されます。

改良型フェラーバンチャ（釧路モデル林）



■ 改良型フェラーバンチャ
(伐倒)
油圧シリンダによる本体回
転機能が付加されている。
そのため、伐倒方向エリア
が左右90度まで拡大し作
業性が向上。

スーパーロングリーチグラブブル（静岡モデル林）



■ スーパーロングリーチグ
ラブブル（木寄集材）
山側・谷側共に車体の中心
から20m 届く設計。プー
ム先端に木寄用のウインチ
を装着すれば、さらに遠方
の木寄集材が可能。

ウインチ付きハーベスタ（鹿児島モデル林）



■ ウインチ付きハーベスタ
(伐倒、木寄集材、造材)
伐倒、造材用のハーベスタ
にウインチ付きグラブ
ブル（木寄集材）の代用として、
システムの機械削減が可能。

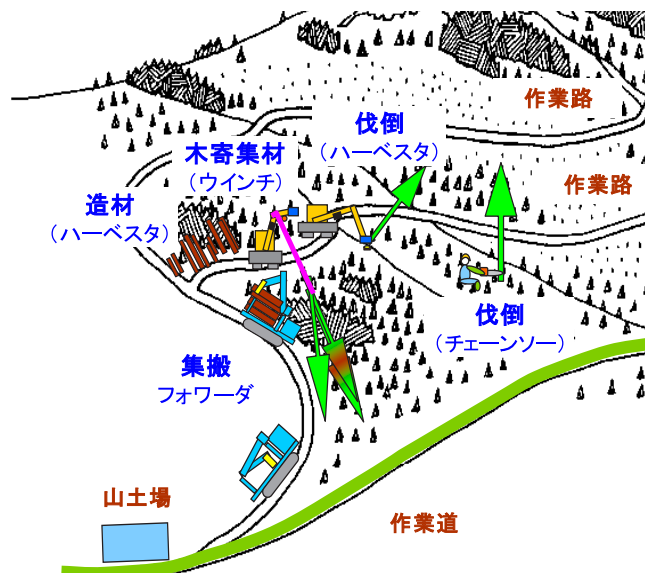


図2 高効率作業システムの開発例
(機動性の向上・鹿児島モデル林)

図1 各モデル林の作業システムで
中核となる林業機械

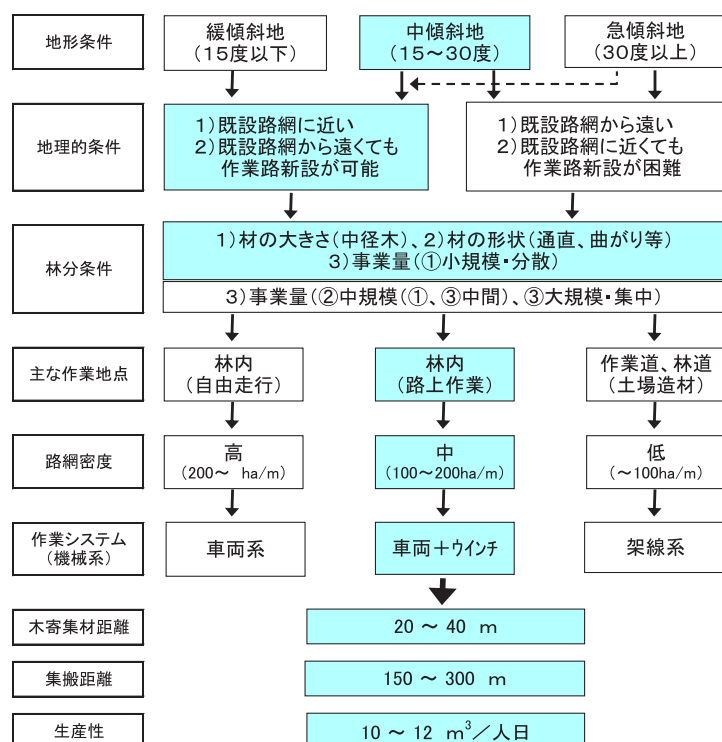


図3 作業システムの目標設定と
適用条件の例（鹿児島モデル林）

注) 図中の生産性は列状間伐を想定したものであり、目標値である

国産樹種のコンテナ育苗技術の開発

林業工学研究領域
企画部
北海道支所

山田 健、遠藤利明
落合幸仁
佐々木尚三

現在国内では材価の低迷等により林業者の造林意欲が薄れていますが、森林の持続的利用の基本である造林を促進するために、初期造林コストの低減が求められています。海外で発達したコンテナ育苗技術は育苗・造林の省力低コスト化に大きく寄与しており、国内への導入により初期造林コストを低減させることが期待できます。しかし、コンテナ育苗先進国と我が国では造林樹種が大きく異なるため、直接的な技術の導入は困難で、多数の課題がありました。私たちは国産針葉樹苗木の性質に適したコンテナ形状、培地の材質、植付け機械開発を行い、コンテナ育苗技術の高度化を図りました。

ポット苗とマルチキャビティコンテナ

コンテナ苗に先駆けて、以前より鉢付き苗であるポット苗が生産されていました。しかし、ポット苗には「根巻き」と呼ばれる根系の致命的な変形を生じる可能性が高いことがわかり、それを解決するために開発されたのがマルチキャビティコンテナです。マルチキャビティコンテナは、根を下方に誘導する内面リブ（突起）及び根端を空気根切りする開放底面という2つの特徴により根巻きを防止します。これによりポット苗の欠点を解消できるのみならず、育苗・造林を省力低コスト化できるようになりました。

コンテナと育苗技術の開発

私たちは海外から輸入したコンテナで育苗技術を研究するとともに、国産樹種に最適化したコンテナ形状を模索し、雑草木による被陰を避けるために大きめの苗を植付ける傾向がある国内林業に合わせた容量、灌水を有効利用できる形状、過湿害を防止するための連結部の水抜き穴といった特徴を持つJFA150、JFA300の2種類の育苗コンテナを開発しました（図-1）。培地には、海外で一般に使用されるピートモスが日本の夏季の高温多湿環境に適さないことが判明したため、ヤシ殻破砕物とモミ殻の混合物を使用することにしました。樹種特性に合わせて、この混合比を変えます。しかし近年、様々な分解段階のピートモスを入手することが可能となっており、新たに使用してみる価値はあると考えています。主要国

産造林樹種であるスギ、ヒノキは海外の造林樹種と比較して発芽率が低く、キャビティに1粒ずつ播種する方法をとることができません。そのため、苗床で発芽した幼苗をコンテナに移植する方法をとっています。この方法は手間がかかって高コストなので、省力的な育苗方法を考案して試みています。

今後のコンテナ育苗技術

国産コンテナと育苗技術の開発により、スギ、ヒノキなどの国産樹種のコンテナ育苗が可能となりました（図-2、3）。ナラ・カシ類、ケヤキなどの広葉樹、エゾマツ、アカエゾマツ、トドマツ、カラマツなどの北方樹種についても研究を進めています。また、形状・サイズが均一なコンテナ苗を使用しての、植付け作業の機械化にも取り組んでいます。各地の造林現場での調査により、コンテナ苗は裸苗よりも植付け作業工程が高いという結果が得られ、植付け作業の省力化に寄与できることがわかりました。

現在国産コンテナ苗の生産実績は年間20万本程度ですが、今後コンテナ育苗技術が普及するに従い増加してゆくものと思われます。それにより、育苗・造林の省力化・低コスト化が一層進展することが期待されます。なお、育苗コンテナ金型の試作は、林野庁「低コスト新育苗・造林技術開発事業」予算により行われました。

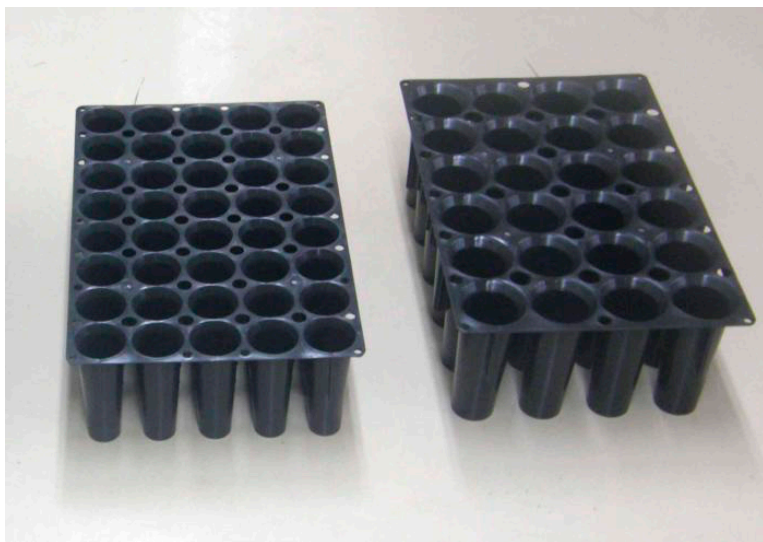


図-1 国産コンテナ
(左：150cc タイプ、右：300cc タイプ)



図-3 スギコンテナ苗



図-2 コンテナ育苗施設と育苗状況

天然更新で広葉樹林へと誘導するための判断技術

四国支所	田内裕之
森林管理研究領域	平田泰雅
森林植生研究領域	田中 浩、正木 隆、佐藤 保
東北支所	新山 馨

森林の持つ多面的機能のさらなる発揮が期待されている中で、国民の広葉樹林に対する期待感は非常に高くなっています。手入れ不足に陥った人工林や木材生産機能が期待できない人工林を、なるべく手をかけずに（コストをかけずに）広葉樹林へと誘導できないか？という要請に基づき、人工林を天然更新によって広葉樹林へと誘導するための条件や可能性を解明しました。そのため、適地を抽出してマッピングする技術や更新の可能性を判定する手法を開発しました。適地の可否は、過去の土地利用履歴や母樹からの距離、植栽樹種、標高・傾斜角等が重要な要因であることなどが解り、これらの結果を「広葉樹林化ハンドブック」として発行しました。

コストをかけずに広葉樹林に誘導する方法を開発することが本研究の目的です。ここで言う「広葉樹林への誘導」とは、一斉人工林を混交林もしくは広葉樹林へと誘導しようとするものです。その施業手順は、i) 植栽木（上木）を強度に抜き伐り（更新伐）し、ii) 天然更新（一部は植栽）によって後継木の定着を図り、iii) 後継木の成長を促進するため、上木を更に伐採していく、ことになります。ここでは、そのうちのii)の部分までの可能性を判断する手法について研究成果を紹介します。

(1) 適地の抽出：GISを使って更新可能林分を事前にマッピングする方法

天然更新を行う場合には、その種子源となる母樹（広葉樹林）の存在が重要となります。つまり、広葉樹林からの距離が近いほど、誘導が有利であると考えられます。また、林内に既に存在する稚樹や幼木の密度や種類は、過去の土地利用状況に大きく影響を受ける事が分かりました。これらを数値化し、GIS（数値情報が盛り込まれた地図）上に展開し、広葉樹林からの距離や過去の土地利用データを用いて、各林分が広葉樹林化を図るのに適しているのかどうかを判定する技術を確立しました。

但し、判定精度を向上させるために、現地調査によるデータの収集が必要で、使用する衛星画像、森林計画図等と現地実態との整合性を図ることが重要であることも解りました。

(2) 可能性の判定：天然更新出来るかを現地で判定する方法

誘導のために上木（植栽木）を抜き伐りした林分の調査から、伐採直後に発生するのは先駆性樹種であること、その後に侵入した広葉樹の多くは遷移後期種や二次林種であること、多くの林分では侵入広葉樹の密度が低いこと、広葉樹の侵入には多くの要因が関係している事が分かりました。例えば、上木が落葉樹（カマツ）か常緑樹（スギ、ヒノキ等）かによる違い、森林帯（構成樹種）による違い、地形や母樹からの距離による違いなどが明らかになり、これらの要因を加味して、発生する稚樹数の予測が出来るようになりました。また、高木性広葉樹林を目指す場合、伐採前に十分な前生稚樹があれば、成功の可能性が高いことが解りました。

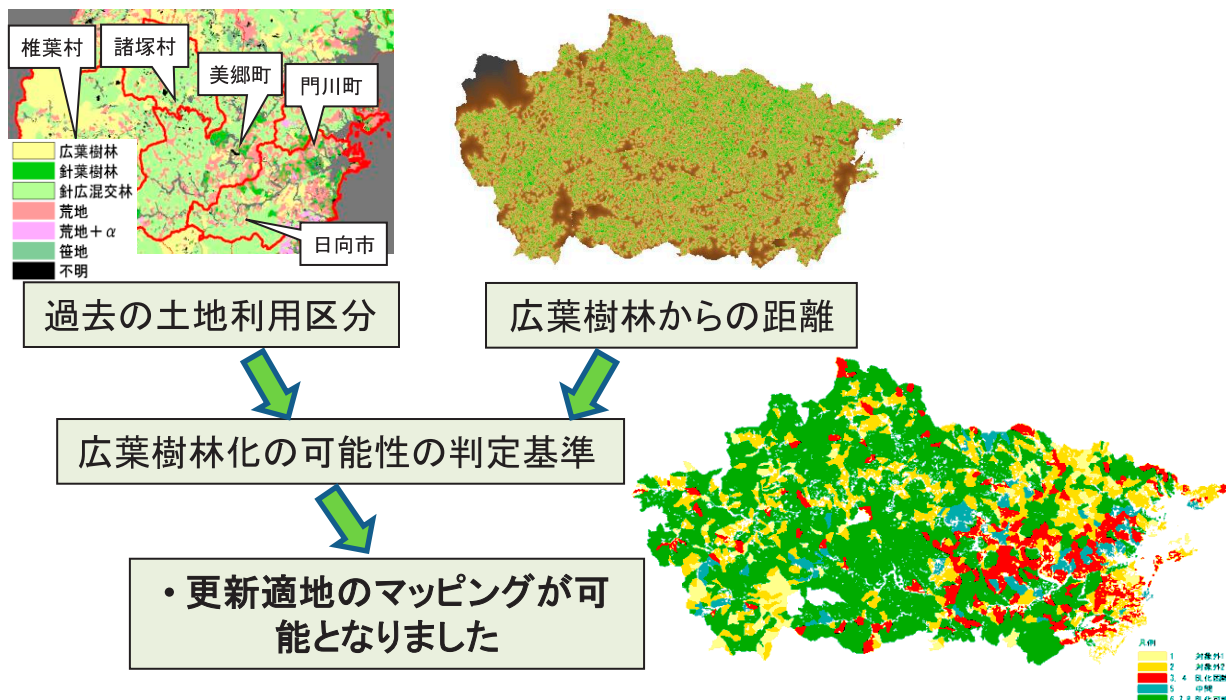
(3) 技術ハンドブックの作成

これらの知見を元に、広葉樹林化を図ろうとする場合、事前に対象とする林分が天然更新によって誘導可能なのかどうかを容易に判断出来るように、技術指針的な「広葉樹林化ハンドブック2010」を作成しました。この研究は今後も続きますので、植栽による誘導技術など新たな知見を盛り込んだ新版を更に発行していく予定です。

参考資料

特集「広葉樹林化プロジェクト」、森林技術、815:19-24, 2010.02、816:24-28, 2010.03、817:16-27, 2010.04、818:26-27, 2010.05

(1) 適地の抽出: GISを使って更新可能林分をマッピングする技術



(2) 可能性判定: 天然更新出来るか現地で判定する技術



- ・広葉樹の侵入予測モデルを作成しました
- ・母樹からの距離、植栽樹種、標高等で更新稚樹数を予測できます！

(3) 技術ハンドブックの作成

- ・適地の抽出方法が解ります
- ・更新の可能性判断が出来ます
- ・施業上注意すべき点が解ります



配布中！

追従走行型フォワードの開発

林業工学研究領域

毛綱昌弘、山口浩和、佐々木達也

集材作業能率の向上を目的として、有人の車両の後ろを無人で追従して走行できる制御システムを開発しました。本制御システムを使用することにより、運転手は通常の走行操作を行うだけで、もう一台の車両の運転も行うことが可能となるため、今までの倍の量を運ぶことが出来ます。しかし、制御誤差の影響により、作業道の幅員は車幅に対して1.4から1.6倍の幅員が必要となることが分かりました。

背景と目的

従来のトラクタ、集材機等による全木材集材方式に代わって、先山で造材作業を行い、短幹材を積載型車両（フォワード）によって集材する作業方法が定着してきました。積載型車両が走行する距離が短い間は、木寄せ、造材作業が作業能率に影響してきますが、集材距離が延びるにつれて積載型車両による走行時間が作業能率を左右することになります。しかし、車両が走行する作業道は、幅員が狭いため、どこでも車両同士がすれ違えるわけではなく、縦断勾配、曲線部の曲率等の影響もあり、オフロード専用車両でなければ走行不可能であり、単純に最大積載量を大きくすることも困難です。そこで、一人のオペレータが二台の車両を同時に操作できるような制御システムを構築することを目的として、実験用車両およびセンサの試作、制御ソフトウェアの製作を行い、走行実験を実施しました。

制御システムの試作

林内作業車を改造して実験用車両を試作するとともに、制御ソフトウェアを開発することで、追従走行制御システムを構築しました。有人の車両の後ろを追従して走行するには、前の車両と制御される無人車両の相対的な位置を検出しなければなりません。本制御システムでは、この位置検出に超音波センサを用いました。前を走る有人の車両から超音波を発し、その超音波を検出するまでの時間を計測することにより距離を求め、車両の相対位置を検出するセンサを試作しました。このセンサから得られる情報をもとに、制御される車両では走行速度と進

行方向を演算し、走行装置を制御することによって追従走行を行います。

走行実験結果

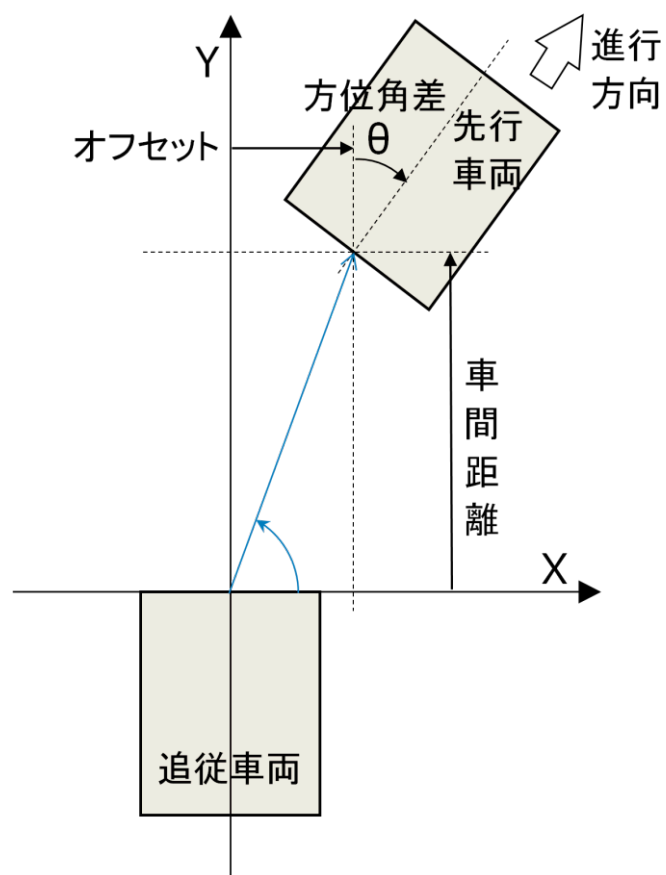
実験用車両による走行実験の結果、後ろを走行する追従車両は、前を走行する車両の走行軌跡に対して蛇行する現象が確認できました。この制御誤差は、制御目標値である車間距離の設定値に影響されますが、走行速度が速くなるほど車間距離を大きく設定し、走行速度が遅くなる曲線部等を走行する場合には目標値を小さくすることで、制御誤差を小さくできます。これらの実験結果から、追従走行制御によって集材作業を行う場合には、作業道の幅員は、車幅の1.4倍以上、曲線部では1.6倍程度まで拡張しなければなりません。

これからの課題

実験用車両による走行実験では、作業道の幅員を若干広めにするだけで走行可能となりましたが、幅員を広げなくても走行可能となるように、制御成績の向上を図らなければなりません。また、実験は実走行時の推奨速度である時速4kmで行いましたが、より速い速度でも対応できるように改良する必要があります。しかし、開発された制御システムは、集材作業の作業能率向上の一手段として期待できます。また、複数台の車両の移動を協調して行えることから集材作業だけではなく、荷役作業、バイオマス破碎作業等、他の作業への応用が考えられます。



作業道上を走行する追従車両



追従走行制御に必要なとなる情報

簡易レールによる新たな森林資源収穫システムの開発

林業工学研究領域
岐阜県森林研究所
名古屋大学大学院
藤井電工株式会社

陣川雅樹、山口浩和、中澤昌彦
古川邦明
山田容三、近藤 稔
佐竹利昭、蓬萊圭司

石油にかわる環境に優しい新たなエネルギー資源として木質バイオマスが注目され、製材工場で発生する残廃材や建築廃材の利用が始まっています。しかし、地形が複雑で急峻な我が国では、森林内で発生する森林バイオマスを効率的に収穫する方法がないため、放置されているのが現状です。そこで、急傾斜地を安全に、安定して走行することができるモノレールの技術を応用して、森林内に散在する森林バイオマスや間伐材を効率的に集めることができる森林資源収穫機械を開発しました。

森林資源収穫機械の開発

森林内に散在する森林バイオマスや間伐材を効率的に集めるためには、機動性や簡便性に優れ、多目的に利用できる機械の開発が必要です。そこで、以下の機械・装置を開発しました。

簡易レール：アルミ部材を使用して重量を軽くし、設置や移動が簡便な構造を持ったレール

収穫車両（写真1）：油圧ウインチを搭載し、ワイヤロープで森林バイオマスや間伐材をレール沿いまで木寄せする車両

運搬車両（写真2）：森林内から土場まで森林バイオマスや間伐材を無人で自動輸送する車両

敷設装置（写真3）：レールを支える支柱を地面に打ち込む油圧ハンマーを装備したレール敷設作業用装置

積込装置（写真4）：木寄せされた森林バイオマスや間伐材を運搬台車の荷台に積み込むための装置

収穫機械の性能

各車両の最大登坂能力は35度、運搬車両の走行速度は33m/分で、作業員2名によって収穫作業が行えます。レールの敷設・撤去試験を行った結果、レール敷設作業の能率は平均123m/日（図1）、撤去作業の能率は平均122m/日であり、既存の運搬用モノレールの1.5倍の速

さでレールを敷設することができます。

収穫システムの適用範囲

森林バイオマスと間伐材を同時に収穫する作業シミュレーションの結果、レールの総延長距離が300mまでが本収穫システムの適用範囲であり、200m前後がもっとも効率の良いことが明らかとなりました。また、上げ荷20m、下げ荷20mとなるレール配置が最適であり、この時の生産性は $5.60\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ となりました（図2）。また、簡易レールの敷設撤去も含めた総搬出単価は17～20千円/ m^3 であり、クレーン集材と同等のコストで、より広い面積を集材することができます。

本収穫システムを導入することにより、傾斜や立地条件により林道の作業道を開設することができず、集材作業が困難であった林地においても、水平距離300m以下の範囲で集材が可能となります。また、間伐材のみならずバイオマス資源の有用な搬出手段として期待できます。

本研究は、農林水産省先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「簡易レールを用いた森林資源収穫システムの開発」による成果です。

成果の利活用：

現在、岐阜県の森林組合に試作機を導入し、製品化に向けた改良のため、実証試験を継続して行っているところです。



写真1 収穫台車



写真2 運搬台車による端材の運搬



写真3 敷設装置と簡易レール

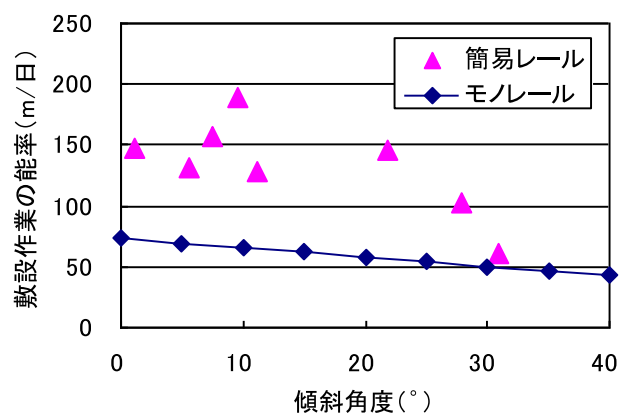


図1 傾斜ごとのレール敷設作業の能率

簡易レールの敷設作業の能率と運搬用モノレールに使用される1本レールの敷設作業の能率を比較しました。



写真4 積込装置による間伐材の運搬台車への積み込み

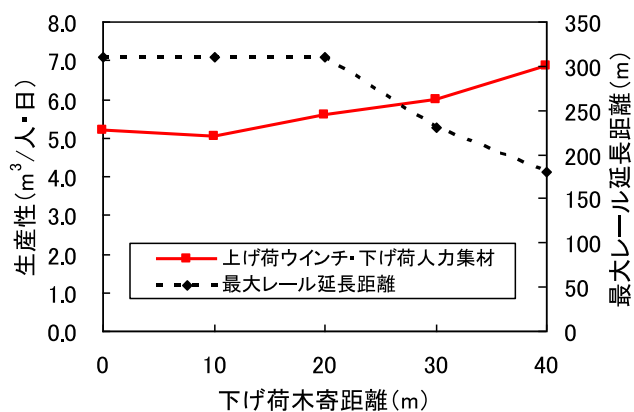


図2 収穫作業シミュレーション

簡易レールの伐区面積 6.4ha において、上げ荷集材はウインチ、下げ荷集材は人力による巻き落しを行い、積込装置を 20m 間隔で移動させた場合の、生産性と最大レール延長距離（適用範囲）を算出しました。

林業機械オペレータの育成を効率化する習熟モデルの検討

林業工学研究領域

山口浩和、岡 勝、鹿島 潤

高性能林業機械オペレータ育成の効率化を図るため、オペレータの技術レベルを判断する手法を開発するとともに、適正な習熟期間の設定手法を明らかにすることを試みました。技術レベルを客観的に評価する手法として、機械にセンサを取り付け、作業中の作業機の軌跡を記録し解析しました。その結果、作業機の軌跡には習熟段階に応じた特徴があり、技術レベルの判断に利用できることが分かりました。次に未経験の4名のオペレータを対象に、機械操作経験とともに作業の所要時間がどのように推移するのか追跡調査しました。その結果、その習熟現象は対数線型モデルで表現できることが分かりました。このモデルを用いることにより、オペレータ個人の器用さや学習能力あるいは目標とする技術到達レベルに応じて、適正な習熟期間を設定することが可能となりました。さらに、このモデルを発展させることにより、オペレータの習熟を考慮した機械作業システムの生産性の予測や各個人の習熟レベルに応じた効率的な人員配置等への応用が期待されます。

高性能林業機械は、これまで人力で行われていた森林作業を大幅に軽労化し、作業の能率を飛躍的に高めました。これからの林業にはなくてはならない機械です。その一方でこれらの機械は操作が非常に難しく作業方法も複雑です。そのため、機械作業を安全で効率的に進めるためには、高度な操作技術と作業についての十分な知識を持ったオペレータの養成が必要になります。しかしこれまでのところ、オペレータの育成にどのくらいの期間が必要なのかという情報がなく、またオペレータの技術レベルを判断する手法も確立されていません。そこで、本課題ではオペレータの育成を効率化することを目的として、オペレータの習熟段階を評価する手法を開発するとともに適正な習熟期間を予測する手法を明らかにすることを試みました。

オペレータの習熟度を判断する

オペレータの習熟を客観的に判断する手法として、作業中にオペレータが作業機がどのように動かしているのかセンサを用いて解析する手法を検討しました。図1は、グラップルローダという積み込み機械（写真1）を用いて運搬車両の荷台に丸太を積み込む作業について、熟練者と初心者の作業機の動かし方の違いを表したものです。車両を後方から見た図中に、1秒ごとの作業機の位置とその移動軌跡をそれぞれ点と線で表現しています。軌跡から、熟練者は初心者と比較して作業機をコンパクトな範囲でスムーズに無駄なく動かしていることが分かります。また、作業機で丸太の中心付近を上手く掴むことで

材が安定し、安全に能率的な作業を行っていることが分かります。このように、センサを用いて作業機の動きを解析する手法は、オペレータの技術レベルを判断するのに有効であると考えられます。

習熟期間

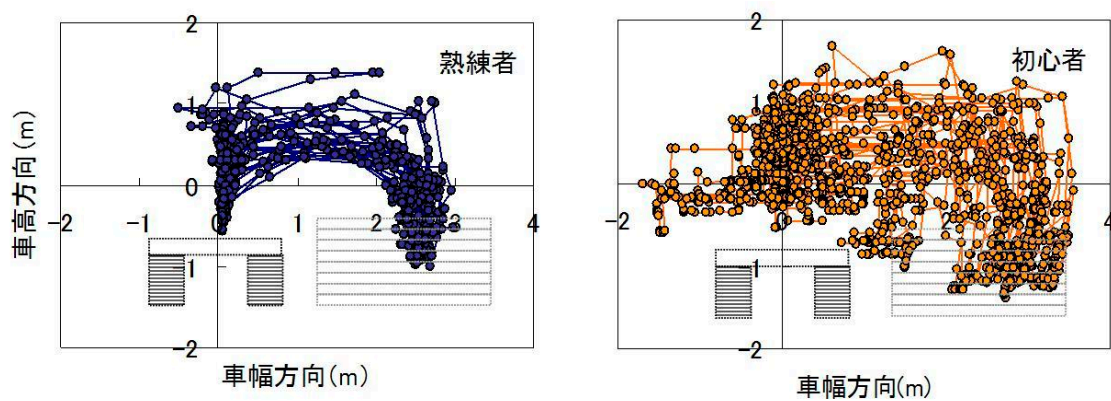
次に、オペレータがある技術レベルに到達するまでにどのくらいの期間を要するのか明らかにするために、機械操作経験の無い4名のオペレータを対象として、その習熟過程を追跡調査しました（図2）。その結果4名ともに経験にしたがって丸太の積み込み作業時間が減少し、その傾向は対数線型モデルに近似されることが分かりました。このモデルは、対数グラフ上で直線を示す特徴があり（図3）、習熟率が一定であることを示しています。つまり、初回と比べて2回目にどれくらい上達しているのかを調べれば、その後の習熟を予測できることとなります。

習熟予測モデルの利用

この習熟予測モデルを用いることにより、オペレータ個人の器用さや学習能力あるいは目標とする技術到達レベルに応じて、適正な習熟期間を設定できることが明らかとなりました。さらにこのモデルを発展させることにより、オペレータの習熟を考慮した生産性の予測や機械導入の検討、各個人の習熟のレベルに応じた効率的に人員配置等への利用されることが期待されます。



写真1 グラップルローダ
搭載型フォワーダ



左が熟練者、右が初心者の様子です。図中には、運搬車の荷台の位置と横方向へ積み込まれた丸太の位置を表示しています。

図1 熟練者と初心者の作業技術の比較

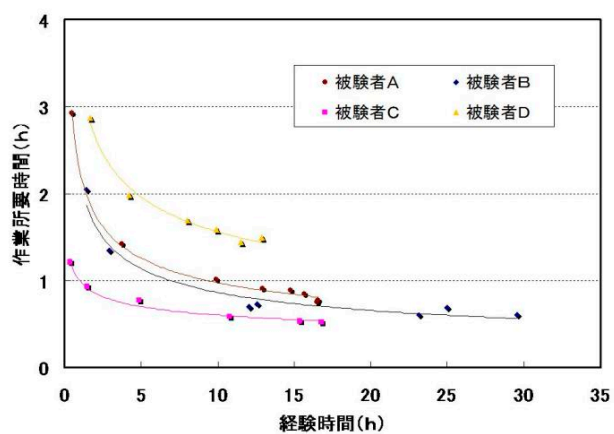


図2 積み込み作業時間の推移

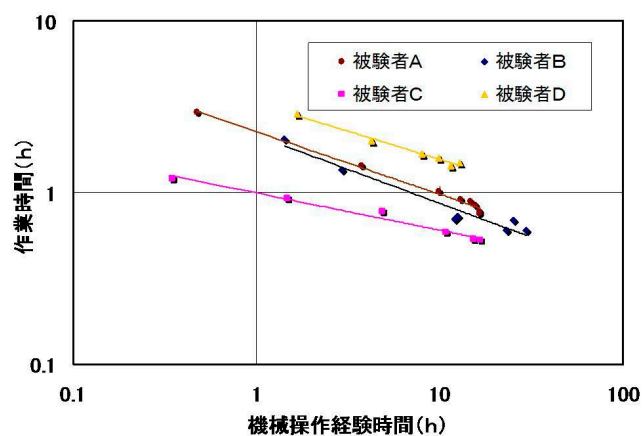


図3 線型対数型習熟曲線

持続可能な森林管理のための計測技術

持続可能な森林管理のためには、森林が健全であることが第一に必要ですが、森林の健全性を脅かすマツ枯損は、依然として問題となっています。そこで、防除等に利用できるように、空中写真を利用して、枯れた木がどこにあるか正確な分布を把握する技術を開発しました。また、人工林を管理するために、胸高直径は重要な情報ですが、森林簿の情報では十分に把握できず、現地調査が必要な林分因子です。そこで現地調査を不要とするために、スギ・ヒノキの胸高直径を、高分解能衛星を用いて樹冠の大きさを計測し、林齢などの情報と組み合わせることにより、広域かつ効率的に推定する手法を開発しました。

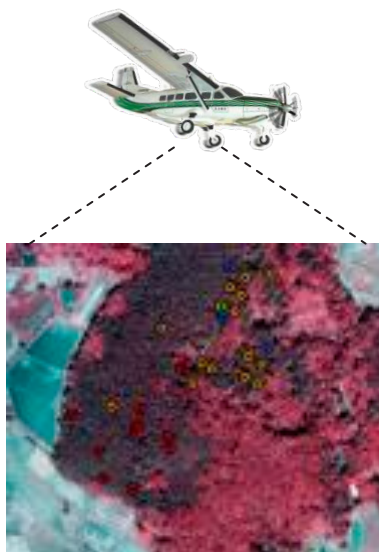
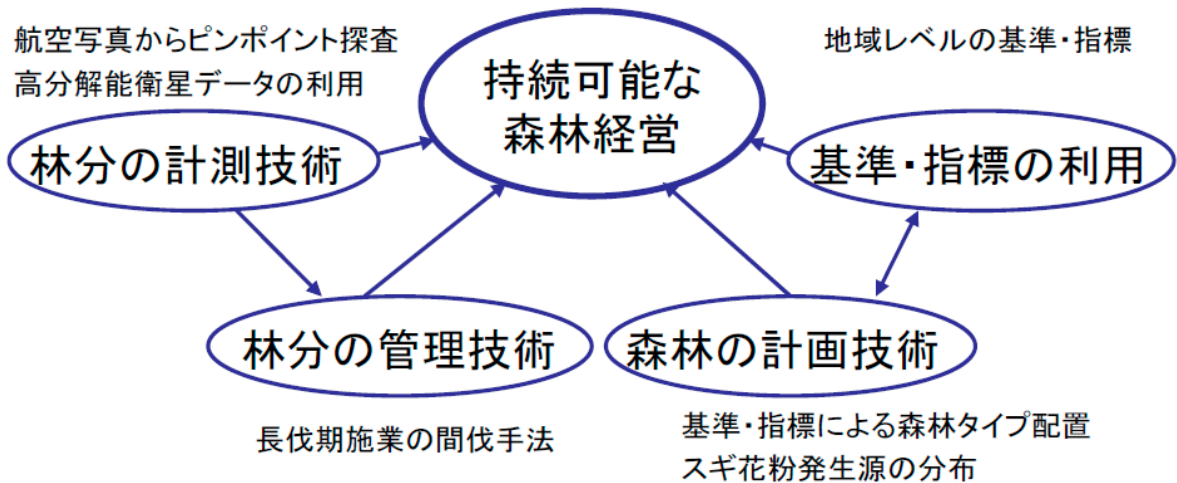
林分の管理技術

現在、人工林施業の省力化の観点から人工林の伐期が長期化する傾向にあり、日本の人工林を持続的に管理していくには、適切な長伐期施業を行うことが重要となっています。そこで、長伐期施業における合理的な間伐方法を提案するため、現存する高齢の人工林の施業履歴を分析しました。111年生のカラマツ人工林と95～105年生のヒノキ人工林の間伐履歴を調査した結果、両者に共通点がみられました。カラマツ林では間伐によって30年生の時点で立木密度が490～770本/haまで落とされており、ヒノキ林では35～45年生までに立木密度が390～890本/ha未満まで低下していました。そして現在、両林分とも高蓄積、あるいは高成長を維持しています。このことから、長伐期施業においては林齢30～40年生までに将来木を決め、それ以外は間伐してしまうような施業が合理的であることが分かりました。

森林の計画技術

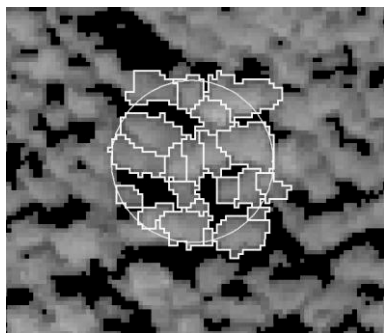
森林の持続的管理に関して、地域レベルでも、持続可能な森林経営の基準・指標の考え方を基礎とすることが国際的な動向となっています。外国の例では、地域では数を絞り実用的なものを指標としていること、日本でも、国際的な基準・指標であるモントリオール・プロセスの指標のうち、20指標が行政資料から地域レベルで把握可能であり、応用できることを明らかにしました。重要だが行政資料で把握できず、計測も難しい指標である種の多様性については、森林タイプ図とプロットでの生物調査から、より簡便に評価する手法を開発しました。また、基準・指標の森林計画への応用として、重要なタイプの天然林の成立可能性や林分の生産力などから、地域レベルで各種森林タイプの林分をバランス良く配置する手法を開発しました。

持続可能な森林の計画・管理技術の高度化
に向けて、新技術の開発研究を進めました。

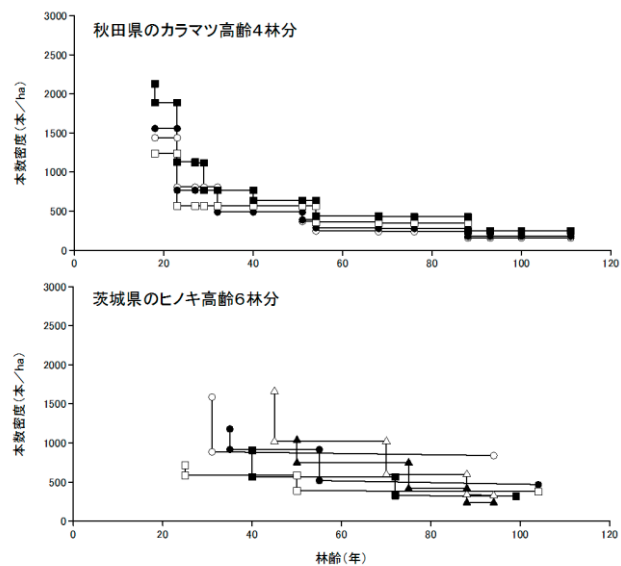


航空写真からのピンポイント探査

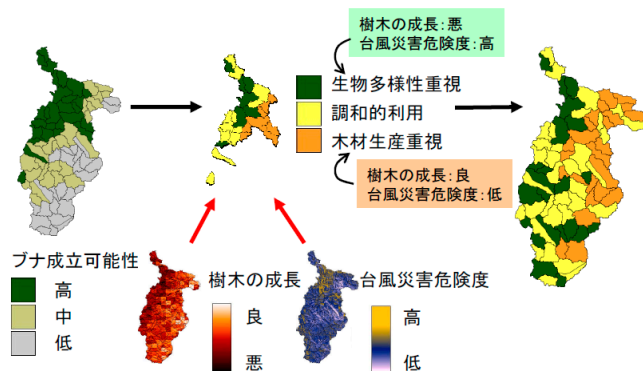
◎当年枯れ (=要防除木)、○枯死木



高分解能衛星データによる樹冠の識別



高齢人工林の間伐履歴



複数の基準・指標による森林タイプ配置

持続可能な森林経営の基準・指標を地域へ適用する手法を開発

森林管理研究領域

家原敏郎

持続可能な森林経営とは、生物多様性や木材生産などの森林の機能を損ねないように森林を管理していこうという国際的な取組みで、その達成度合いをモニターするのが基準・指標です。持続可能な森林経営の推進には、地域での基準・指標の応用が重要とされていますので、日本での応用方法について研究しました。外国の例では、地域では国家レベルの指標から数を絞り実用的なものを指標としていることがわかり、日本でも行政資料から把握可能で応用可能な指標を抽出しました。行政資料で把握できない種の多様性は、より簡便な評価手法を開発しました。また、基準・指標を応用し、各種森林タイプの林分をバランス良く配置する手法を開発しました。

地域レベルの基準・指標

持続可能な森林経営とは、1992年の地球サミットを契機として生まれた、森林の多面的機能を損ねないように森林を管理するための国際的な取組みで、その達成度合いを基準・指標でモニターします。日本はカナダ、アメリカ合衆国などとともに、モントリオール・プロセスという基準・指標グループを設立し、生物多様性や木材生産など維持・増進すべき森林機能を7つの基準とし、国家レベルの基準・指標を制定しました。近年では地域での基準・指標の応用が重要とされており、そこで日本での応用法について研究しました。先進地であるアメリカ合衆国の州や郡では、国家レベルの指標から実的な数を絞ったものを指標としていました。日本でも国家レベル54指標のうち20指標が、地域レベルの行政資料やデータから把握でき、指標化が可能といえました(表1)。

森林管理のための種の多様性の評価

種の多様性は重要な指標ですが、国家レベルの指標は種数を数えるという、地域では計測が難しい指標です。そこで、より簡便に種の多様性を評価する手法を開発しました(図1)。林齢区分を加味した森林タイプ図を作成し、代表的な森林タイプに複数の調査区を設け、植物、昆虫などの生物調査を実施し種数を計測します。データを多変量統計解析で分析し、森林タイプ別に種の豊富さをランク付けします。他方、大型動物の生息地評価として森林分布の連続性を求め、両者を加算し、種の多様性の評価マップを作成しました。これにより、生物多様性が高い林分の面積や、伐採などによってどう変化するかを把握できます。

複数の基準・指標による森林タイプ配置の評価

生物多様性保全のため、人工林の天然林への誘導も行われるようになってきました。そこで、基準・指標の考え方をを使って、各種森林タイプの林分をバランス良く配置する手法を開発しました。該当地域の重要な森林タイプ、図2ではブナ林が成立しやすい場所を気象と地形条件から求めました(モントリオール・プロセスの基準1)。木材生産は、樹木の成長が速く(基準2)、自然災害(基準3)が起これにくい土地で行うべきなので、樹木の成長速度と、大きな被害を与える台風災害危険度を算出しました。できるだけ多様な天然林を残すため、ブナ林成立可能性で区分した小流域群毎に、各小流域の木材生産、生物多様性保全の機能の大きさを算出し、各小流域をいづれの機能を重視して管理すべきか判定する手法を開発しました。

成果の利活用

この研究で開発した基準・指標の応用法を行政担当者に普及するため、森林計画担当者が集まる森林計画研究会や、公開シンポジウムで公表しました。種の多様性の評価は、齢級区分等の考え方が、国有林の平成21年度地域管理経営計画参考資料(生物多様性保全の取組状況)に取り入れられるなど、今後の普及が期待できます。

詳しくは、「森林管理・計画と基準・指標」家原敏郎、森林計画研究会報、第439号、1-7(2010.8)、「持続可能な生態系サービス利用のための森林の生物多様性保全」岡部貴美子、農林水産技術研究ジャーナル、33号9号、52-56(2010.9)をご覧ください。

表1. 地域レベルの行政資料やデータから把握できるモントリオール・プロセスの基準・指標

基準	把握可能な指標
基準1: 生物多様性の保全	1.1.a.森林タイプ別面積、1.1.a.保護地域における森林タイプ別
基準2: 森林生態系の生産力の維持	2.a.森林面積、2.b.総蓄積、2.c.植林の面積
基準3: 森林生態系の健全性と活力の維持	3.a.生物的要因により影響を受けた森林面積、3.b.非生物的要因により影響を受けた森林面積
基準4: 土壌及び水資源の保全と維持	4.1.a.土壌及び水資源の保全に焦点をあて管理されている森林面積
基準5: 地球的炭素循環への森林の寄与の維持	5.a.森林生態系の総炭素蓄積量
基準6: 社会の要求を満たす長期的・多面的な社会・経済的な便益の維持及び増進	6.1.a.木材製品の生産額・量、6.3.a.森林セクターの雇用者数、6.4a.レクリエーションのために管理されている森林面積、6.4.b.レクリエーションに関係する施設、6.5.a.文化的・社会的・精神的価値がある区域を保全するために管理されている森林面積
基準7: 森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的及び経済的枠組	7.1.a.法令・政策、7.1.b.事業の調整、7.4.a.持続可能な森林経営を支える事業・(林道など)資源、7.5.a.パートナーシップ、7.5.b.森林関係の意志決定への市民参加、7.5.c.モニタリング

注) 森林計画区または市町村レベルで把握可能な指標。指標の先頭のアルファベットは指標の番号。

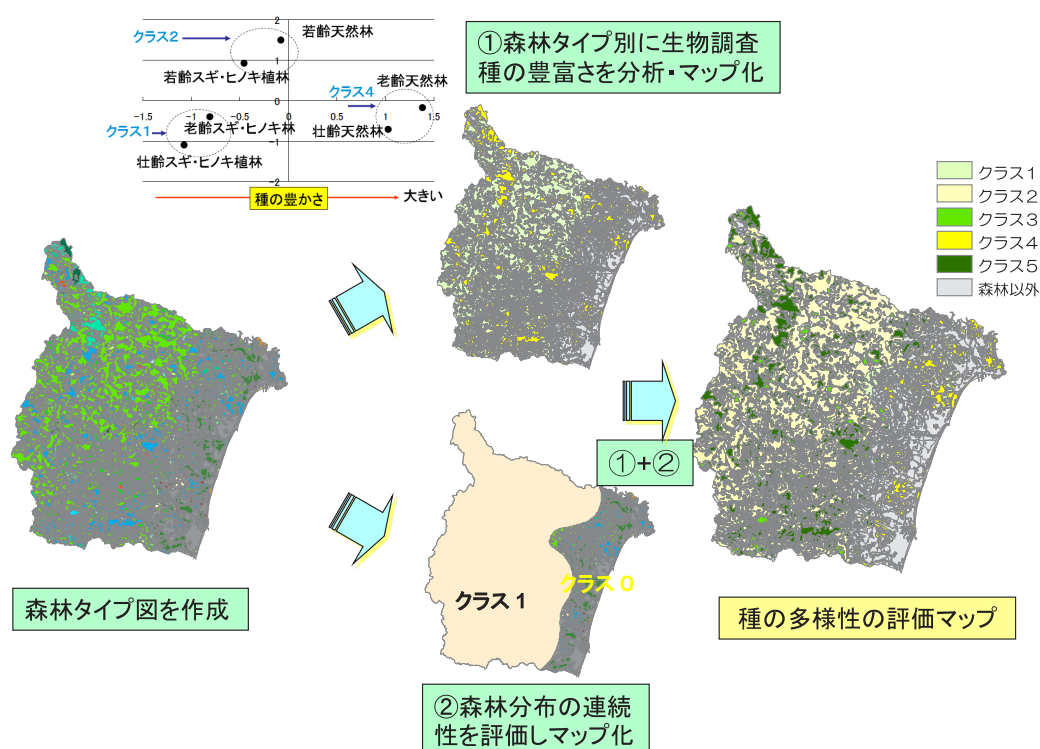


図1. 種の多様性の評価マップ

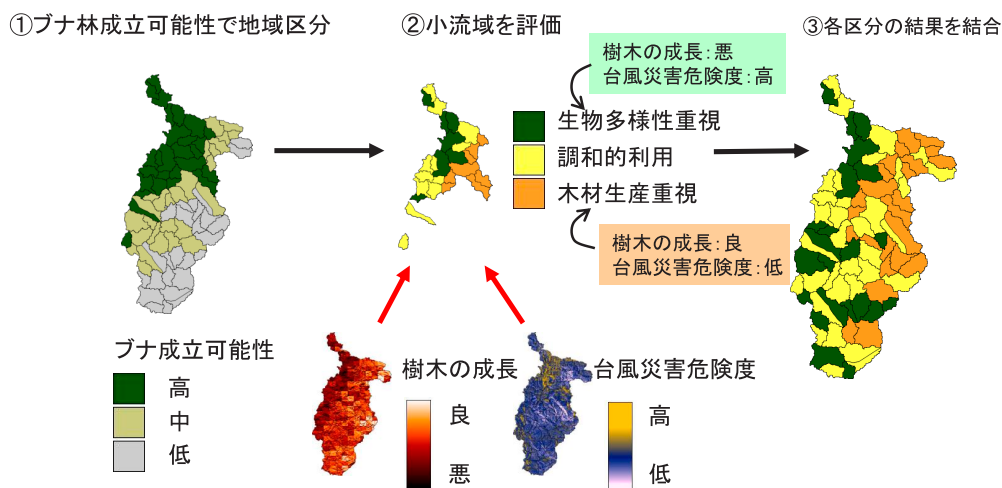


図2. 複数の基準・指標による森林タイプ配置

森林管理のために高分解能衛星データによる 胸高直径の推定手法を開発

温暖化対応推進拠点

平田泰雅

我が国の主要な造林樹種であるスギ・ヒノキの人工林を管理するために、胸高直径は重要な情報です。そこで、スギ・ヒノキの胸高直径を、高分解能衛星を用いて広域かつ効率的に推定する手法を開発しました。まず、高分解能衛星データから樹冠を識別してその面積を計測します。ここで得られた樹冠の面積を、その立木が生育する森林の情報（林齢・立木密度・平均樹高など）と対応させた上で、胸高直径との回帰モデルを作成しました。この回帰モデルを用いることで、衛星で観測される樹冠から胸高直径を推定することが可能となりました。この手法を用いることで、地上調査に依存していた胸高直径の計測作業を大幅に省力化させることが可能になります。

背景と目的

森林は木材を生産する以外にも、大気中の二酸化炭素を吸収して炭素をその体内に固定したり、山地での土砂の流失を抑えたりするなど多くの機能を果たしています。これらの機能を十分に発揮させ、森林を持続的に管理し、林業を活性化するためには森林の現状を把握するための地上調査が不可欠です。しかし、国内の森林で、くまなく地上調査を行うことはコスト面で事実上不可能なので、広域かつ低コストに調査を進めるためには、新たな手法の開発が求められていました。そこで、スギおよびヒノキの人工林を対象として、森林を適正に管理する上で重要な情報である胸高直径を、高分解能衛星を用いて広域かつ低コストに推定する手法を開発することを目的としました。

成果

立木の樹冠を上空あるいは宇宙から観測する場合、樹冠の先端部分は太陽の光を受けて明るく、また樹冠の周辺部分は周囲の立木の樹冠が作る影により暗く見えます（図1）。この特徴を利用して、1本1本の立木の樹冠を観測することが可能な高分解能衛星画像から、我が国の主要な造林樹種であるスギとヒノキの個々の樹冠を自動的に識別しました（図2）。ここで識別された個々の樹冠について面積を算出し、スギとヒノキの林分のそれぞれにおいて、地上調査から得られた胸高直径との関係を調

べました。その結果、樹冠の面積と胸高直径の間には密接な関係があることがわかりました（図3）。またこの関係が、立木が生育する森林の林齢・立木密度・平均樹高などに依存することもわかりました。そこで森林の林齢・立木密度・平均樹高といった森林情報を加味することにより、高分解能衛星画像から立木の胸高直径をより正確に推定することが可能な回帰モデルを作成しました。これにより、高分解能衛星画像から、スギおよびヒノキの胸高直径を精度よく推定することが可能になりました（図4）。

成果の利活用

この手法を用いることで、地上調査に依存していた胸高直径の計測作業を大幅に省力化させることが可能になり、林業の活性化に貢献できます。また、この高分解能衛星データを用いた森林の炭素蓄積量の把握が広域的に進むことで、スギ・ヒノキ人工林の炭素固定機能の評価精度の向上に役立つことが期待されます。

Allometric models of DBH and crown area derived from QuickBird panchromatic data in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands, Hirata, Y., Tsubota, Y., Sakai, A., International Journal of Remote Sensing, 30(19), 5071-5088(2009.10)

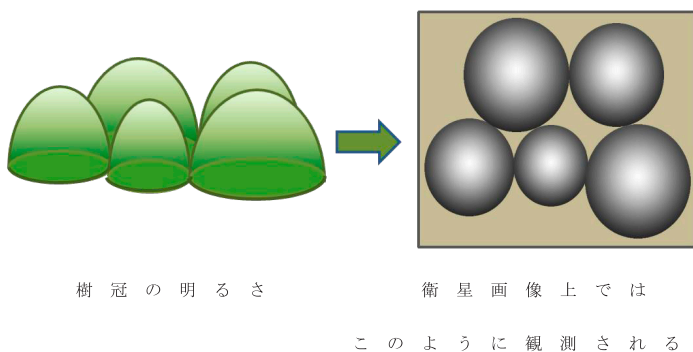


図1 高分解能衛星画像での樹冠の見え方

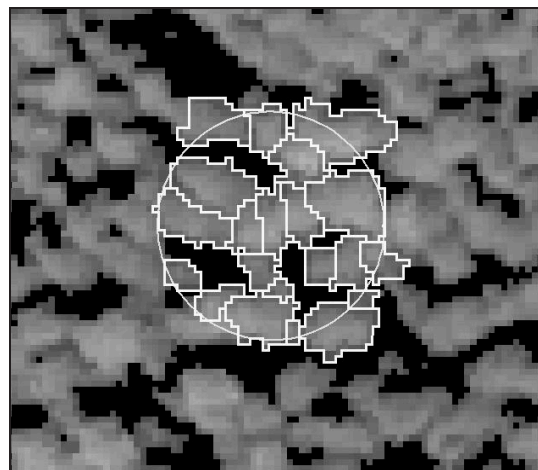


図2 高分解能衛星画像からの樹冠の識別

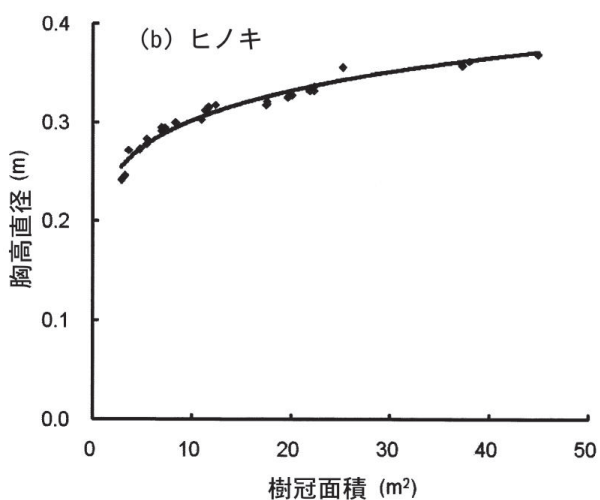
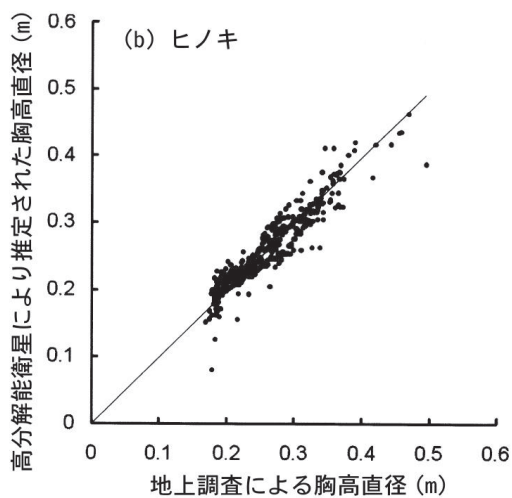
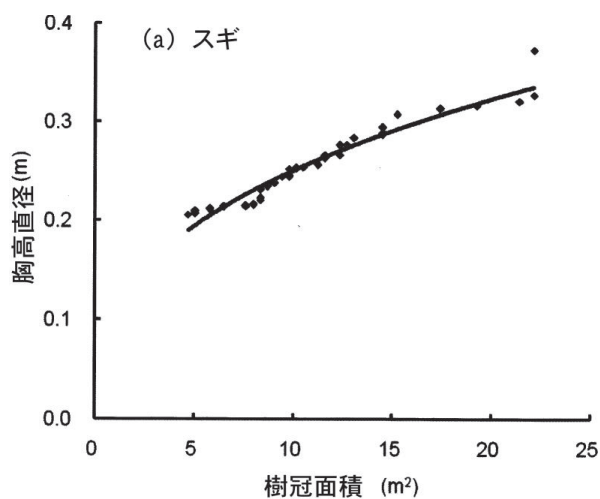
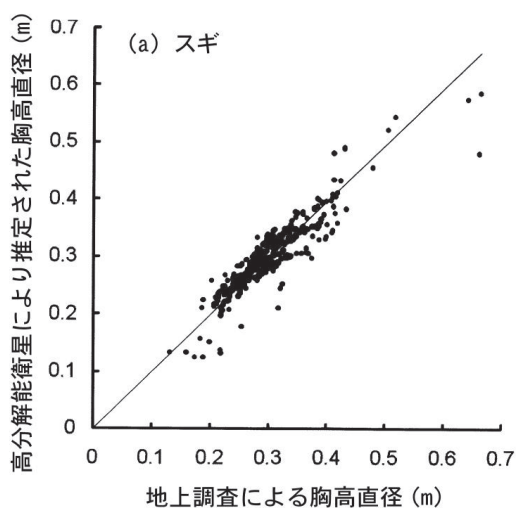


図3 高分解能衛星で識別された樹冠面積と胸高直径との関係

図4 立木が生育する森林の林齢・立木密度・平均樹高などの森林情報を加味することにより、高分解能衛星画像から立木の胸高直径をより正確に推定することが可能になりました

人工林の長伐期施業のカギは初期の間伐にある

森林植生研究領域
森林生態研究領域
東北支所

鈴木和次郎、太田敬之、正木 隆
森 茂太
櫃間 岳

長伐期施業における合理的な間伐方法を提案するため、現存する高齢の人工林の施業履歴を分析しました。秋田県の111年生のカラマツ人工林と茨城県の95～105年生のヒノキ人工林の間伐履歴を調査した結果、両者に共通点がみられました。カラマツ林では間伐によって30年生の時点で立木密度が490～770本/haまで落とされており、ヒノキ林では35～45年生までに立木密度が390～890本/ha未満まで低下していました。そして現在、両林分とも高蓄積、あるいは高成長を維持しています。このことから、秋田県と茨城県については長伐期施業においては林齢30～40年生までに将来木を決め、それ以外は間伐してしまうような施業が合理的であると考えられます。

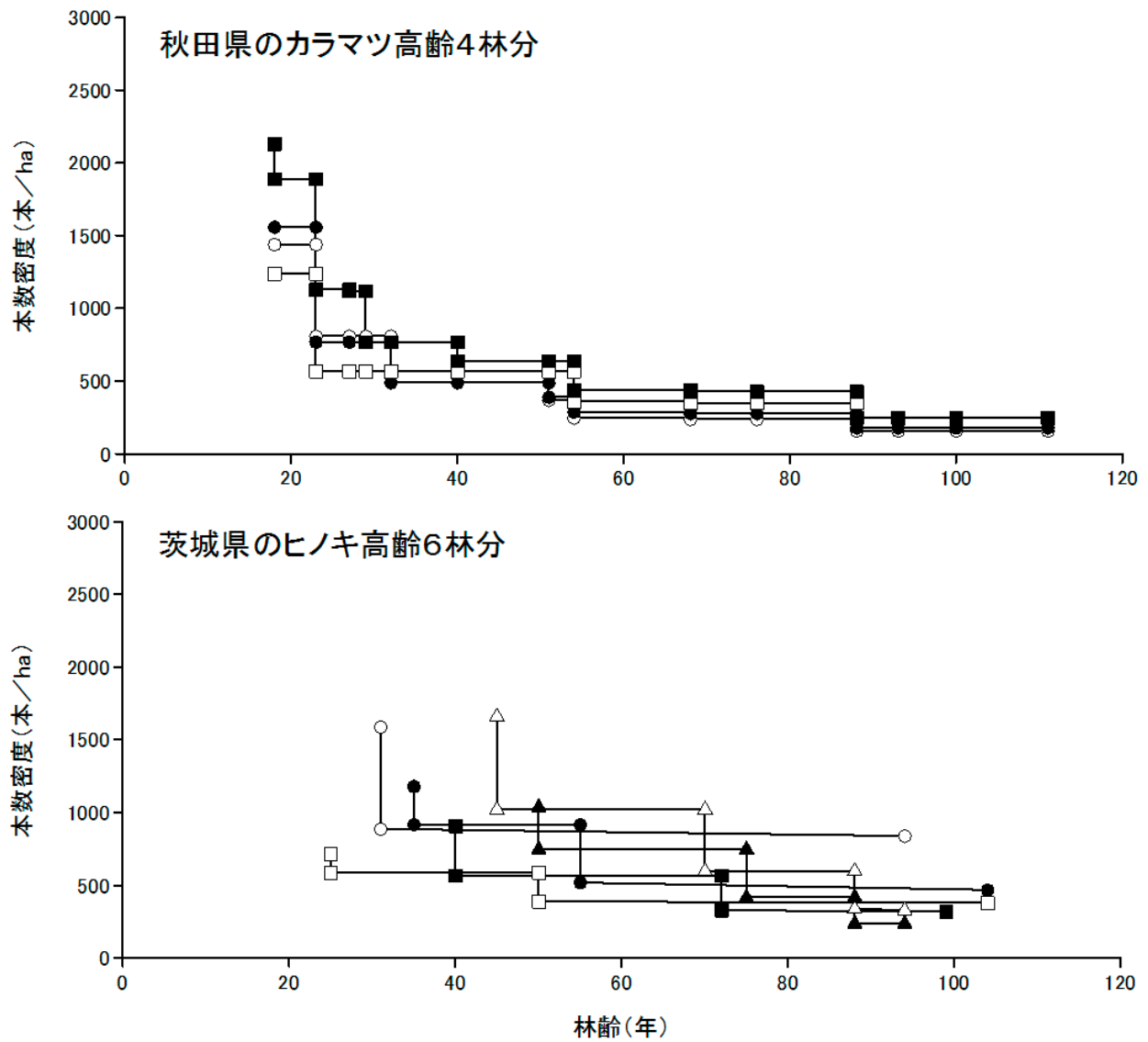
現在、人工林施業の省力化の観点から人工林の伐期が長期化する傾向にあり、今後日本の人工林を持続的に管理していくには、適切な長伐期施業を行うことが重要となっています。長伐期施業をより確実に行うためには、どのような森林管理が良いのか？それには、現存する高齢の人工林の施業履歴を分析し、立木密度の変化等を明らかにするのが有益であると考えました。そこで2つの例を紹介します。

第1の例は、大正年間から長期的に調べられてきた秋田県のカラマツ人工林の4林分です（2010年度の時点で111年生）。このカラマツ林は、最近10年間でも年8.5～10.4m³/年の連年材積成長速度を維持しています。この林分では18年生（大正6年）からの施業履歴が残っています。そこで、間伐による本数変遷を確認した結果、間伐によって30年生の時点で立木密度が490～770本/haまで落とされ、54年生以降はほとんど間伐が行われていませんでした。54年生以降の連年材積成長速度は年8m³/年を下回ることがなく、70年生以降でも最大で16m³/年の成長を継続していました。

第2の例は、茨城県内の高齢ヒノキ人工林です（調査時点で95～105年生）。6箇所のヒノキ林を調べたうち3箇所では、森林簿上は間伐の記録がまったくないに

もかわらず、603～1299m³/haの高蓄積を示していました。林分内に過去に間伐されたヒノキの伐根が腐らずに残っていたので、その年輪を読み、間伐過程を再現してみました。その結果、調査した6林分はいずれも35～45年生までに立木密度が390～890本/haまで低下していることがわかりました。かつもっとも高蓄積だった林分では、最後の間伐が30年生時で、その時点での立木840本/haが現在まで成長を続けていることがわかりました。

以上2つの例は、高齢級人工林であること以外は、樹種も異なり、気候も多雪気候、太平洋側気候と異なっています。それにもかかわらず、高齢級林分として高蓄積・高成長となるまでの間伐プロセスは非常に似通ったものでした。つまり、2例に共通しているのは高蓄積・高成長を維持して長伐期施業が可能な高齢級林分を意図的に仕立てようとするならば、林齢30～40年生までに将来木を決め、それ以外は間伐してしまう施業が合理的であるということです。これは初期保育にコストがかかりますが、それ以降は主伐までほとんど手間をかけなくても森林を維持できるという利点もあります。今回は秋田県のカラマツと茨城県のヒノキを対象としましたが、今後とも事例を集め、汎用性の高い施業体系へと一般化していく必要があります。



現存する高齢人工林の間伐履歴2例

間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント

四国支所	今富裕樹、佐藤重穂
関西支所	鳥居厚志、奥田史郎
気象環境研究領域	鈴木 覚
木材特性研究領域	藤原 健
林業工学研究領域	田中良明

間伐遅れの過密林分が増えており、放置し続けると林木の成長にも林地の保全にもよくありません。このような過密林分を健康にするための有効な方法として強度間伐があります。強度間伐により個々の木は太く成長し、材の強度も変わりませんでした。また、作業は効率的で低コストとなります。さらに、虫害や風害リスクに対して注意すべき立地条件などが明らかになりました。今回の研究は、強度間伐のメリット、デメリットを明らかにしたものであり、強度間伐を実施する際の指針を得たことに意義があります。

研究の背景と目的

強度間伐は一度にたくさんの木を伐るので、「残った木の成長や材質への悪影響はないか」、「風害や虫害の発生に対しては大丈夫か」といったことなどが懸念されています。そこでこれらの問題を解決する事を目的に調査を行いました。

残存木の成長や材質への影響

一般的に、間伐を行うと林分（樹木の集団）の立木本数が減少するため、林分全体の成長量はいったん落ち込みますが、その後回復していきます。間伐後6年程度の成長過程をみたところ、強度間伐（間伐率は本数ベースで40~50%）は通常間伐（間伐率30%未満）と比べて林分での成長量の違いはほとんどありませんでした。また、個々の木の直径成長は、強度間伐では通常間伐に比べて良くなる傾向がありました。残存木の材質について間伐の有無や間伐の前後で比較したところ、材の強度の指標である材密度や動的ヤング率に差は見られませんでした。スギでもヒノキでも通常間伐と比べて、強度間伐が林木の成長や材質に悪影響を与える可能性はほとんどないと言えます。

虫害や風害のリスク

ヒノキ林で強度間伐を行なうとマスダクロホシタマムシによる立ち枯れが発生することがあります。四国地域で立ち枯れ事例を調査した結果、低標高（海拔600m以下）の南向き斜面（特に斜面上部）でマスダクロホシタマムシによる立ち枯れの頻度が高いことがわかりました。風害リスクについては、風により林木にどの程度の力が働くのか、それによって風害はどの程度発生するのかを、モデルシミュレーションで評価・予測しました。その結果、過密林分を強度間伐すると、強風時には風害リスクが増

大しますが、間伐率を抑えることによりリスクを軽減できると予測できました。虫害や風害を受けやすい立地条件では強度な間伐を避け、複数回の通常間伐を行った方がよい場合もあると言えます。

強度間伐作業の効率とコスト

一般に、強度間伐における作業は通常間伐に比べて多くの木を伐採するため、隣り合う伐採木間の距離が短く、また残存木の隙間が広くなり、伐採木をまとめて運搬できる効果が見込めます。その結果、集材作業の効率化やコストダウンが期待できます。今回の研究では、スイングヤーダとH型架線を使用した間伐作業システムを対象として、伐採率の変化に応じて生産性や集材コストを計算できる手法を開発しました。調査地の条件において、普通間伐から強度間伐に切り替えることにより、生産性は8m³/時から10m³/時に増加すること、集材コストは1,250円/m³から1,000円/m³に低下し、20%のコストダウンとなることが推定できました。このように、リスクを回避しつつ低コストでの作業が行える条件が明らかになりました。

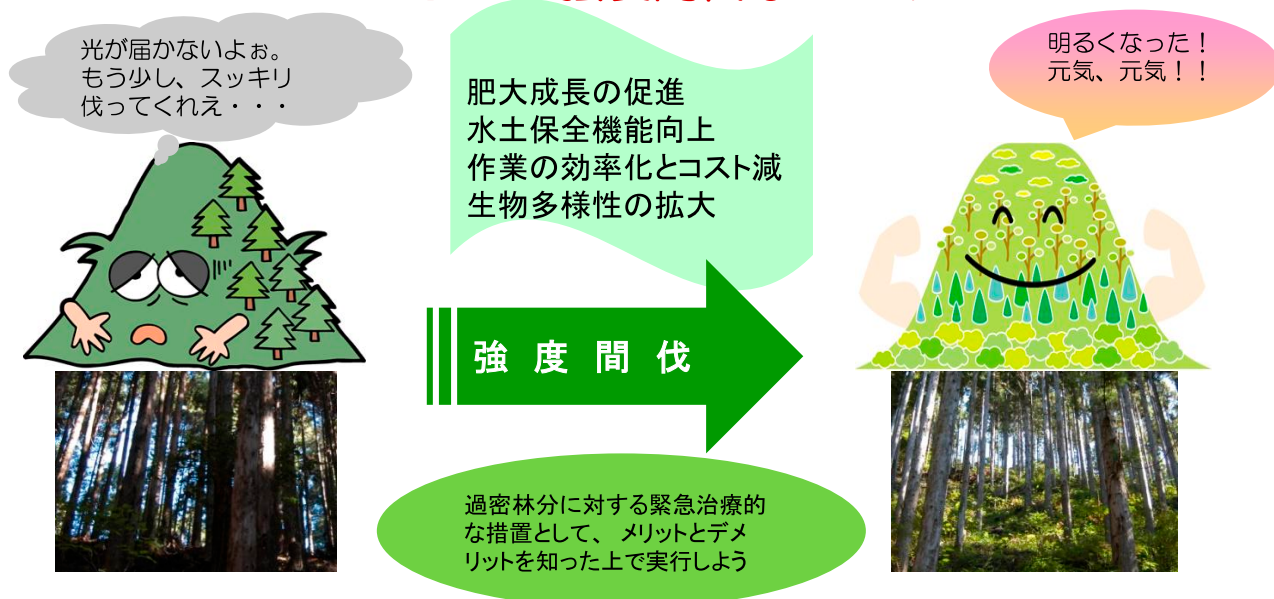
詳しい情報源

佐藤重穂、松本剛史「ヒノキ林における間伐の強度とマスダクロホシタマムシの発消長との関係」樹木医学研究、13:160-161、2009。

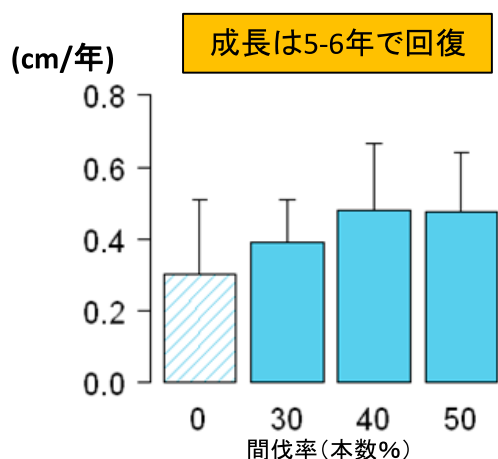
田中良明、吉田智佳史、中澤 昌彦、近藤耕次、岡 勝、都築 伸行、小谷 英司「伐採率が直引集材の可能性に及ぼす影響の検討」森林利用学会誌 23 : 259-262、2009

鈴木覚、吉武孝、後藤義明「仮想的林分による間伐の風害リスクの定量的評価」日本森林学会大会発表データベース、Vol.121 : 206、2010。

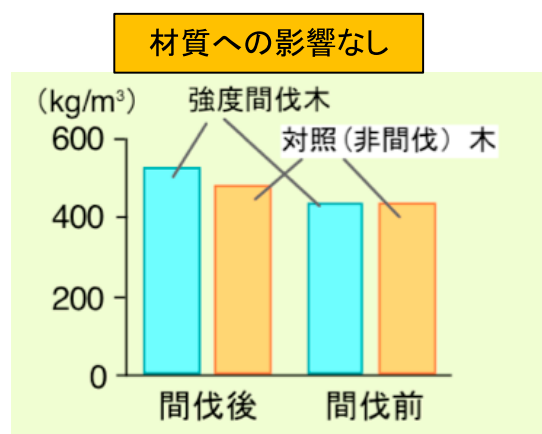
どうして強度間伐なのか？



強度間伐を行うと・・・



間伐後6年後のヒノキの胸高直径成長

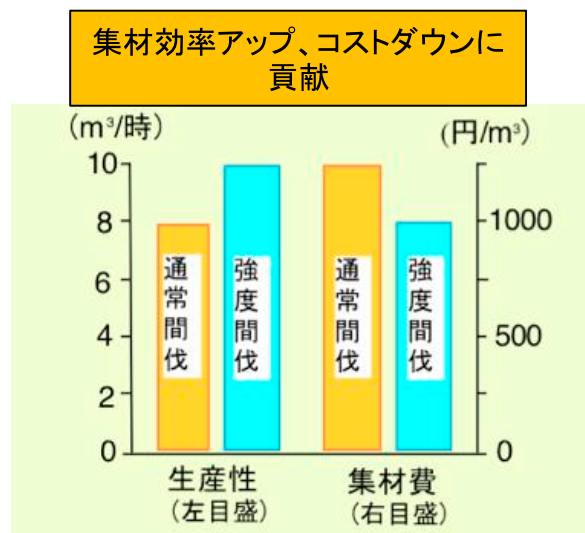


間伐前後の材密度



過密林の強度間伐で
風害リスク増大

ヒノキは低標高南向き
斜面で虫害リスク大



大面積皆伐の対策はどうあるべきか？

林業経営・政策研究領域
九州支所

鹿又秀聡
野宮治人

森林所有者の林業に対する関心は、木材価格の低迷・林業採算性の悪化により、低下しつつあります。この結果、南九州では木材の搬出コストを抑えるために、大型機械を使用して一度に広い面積の森林を伐採するケースが増えています。本研究は10ha以上の大面積皆伐地を対象に、大面積皆伐の発生メカニズム、皆伐後の植生回復、崩壊発生予測について調査しました。この結果と国内外で行われている伐採面積規制、公的資金による植林等の調査から、大面積皆伐の対策として、皆伐地の把握、作業計画の提出、改善計画の提案、低コスト育林への助成、環境に配慮した伐出の奨励、の5項目が重要であることが明らかとなりました。これらのことは、皆伐全般に言えることであり、成熟した人工林資源の有効活用を進めていく上でも重要な指針となることが期待されます。

九州南部を中心に、搬出コスト等を抑えるために大面積皆伐を行い、その後造林費用が賄えないため植林を放棄する林分が増加しています。大面積皆伐後の林分における森林回復については未知であり、森林の土砂流出防止機能の低減が予測され、周辺地域の住民に大きな不安を与えています。そのため公的関与を含めた大面積皆伐に対する面積・地域の規制が緊急の検討課題となっています。そこで、崩壊発生及び植生回復ポテンシャル、経済分析・国内外の対策事例について研究を行い、その結果を基に伐採面積規模・地域の規制を行うための指針について検討を行いました。

大規模伐採と土砂流の関係について、球磨川流域の皆伐地で調査を行いました。その結果、現時点では、大規模伐採が原因による大規模な崩壊は認められませんでした。伐採面積の規模ではなく、粗雑な計画で作られた高密度な作業路が原因による土砂流出は多く見られました(図1)。こうした場所では小規模な土砂流出が長期に渡って続くこともあります。

植林を放棄された伐採地はどうなるのでしょうか？ シイ・カシ類を中心とした自然に近い森林へ速やかに再生することを期待しますが、現実にはなかなかうまくいきません。皆伐後の森林再生には前生稚樹の存在が重要です。しかし、シカが高密度に生息する地域では、シイ・カシ類の実生更新は期待できないことが分かりました。また、南九州において標高が700mを超える地域では皆伐後にススキ型植生になる可能性が高いことも分かりました(図2)。自然植生を利用した植生回復を期待するならば、主伐時に前生稚樹を損なわない工夫が必要であるとともに、人工林内に前生稚樹を蓄積するような森林管理を行う必要があること、場所によっては、シカ対策を十分に施さない限り、森林への回復が困難であることが、明らかとなりました。

本研究の対象地である熊本県では、植林が放棄された更新困難地の一部に森林環境税を投入して、土砂流出対策の工事や広葉樹植林を行っています(図3)。大規模な皆伐が行われる前に、作業道の開設計画や伐採後の更新計画に問題がないかチェックし、適切な対応を行う仕組みがあれば、こうした税の負担を少なくできると考えられます。しかし、熊本県の球磨川流域にある10ha以上の皆伐未植栽地を調査したところ、約8割が法律で定められている伐採の届出をしていませんでした。今後、森林所有者に届出を出すことを周知徹底するとともに、公益的機能が高く、伐採後更新が困難な森林に対しては、森林環境税による林地購入も検討すべきと思われます。

成果の利活用

本研究の成果は、森林・林業再生プランの「伐採、更新のルール明確化」の中で、基礎資料として使われました。また大分県、熊本県の大面積皆伐・再造林放棄対策の中でも資料として使用されました。

論文等

香山雅純・前田勇平・岩船昌起・荒木眞岳・大谷達也・梶本卓也・田内裕之(2008)大面積皆伐地に植栽された苗木の成長,九州森林研究,61,79-82.

野宮治人・矢部恒晶・前田勇平(2007)大面積皆伐跡地の前生稚樹に対するニホンジカによる剥皮の特徴,九州森林研究,60,67-69.

宮縁育夫・田中均(2009)九州南部の大面積皆伐跡地周辺域における斜面崩壊の実態. 砂防学会誌, 62(2), 51-55.

鹿又秀聡・齋藤英樹・山田茂樹(2007)熊本における皆伐地の状況. 九州森林研究, 60, 62-63.

柿澤宏昭・岡裕泰・大田伊久雄・志賀和人・堀靖人「森林施業規制の国際比較研究—欧州諸国を中心として—」林業経済61(9):1-21.



図1 皆伐後5年が経過した大規模皆伐地の状況
(赤く囲った場所では現在でも作業道の崩壊が見られる)

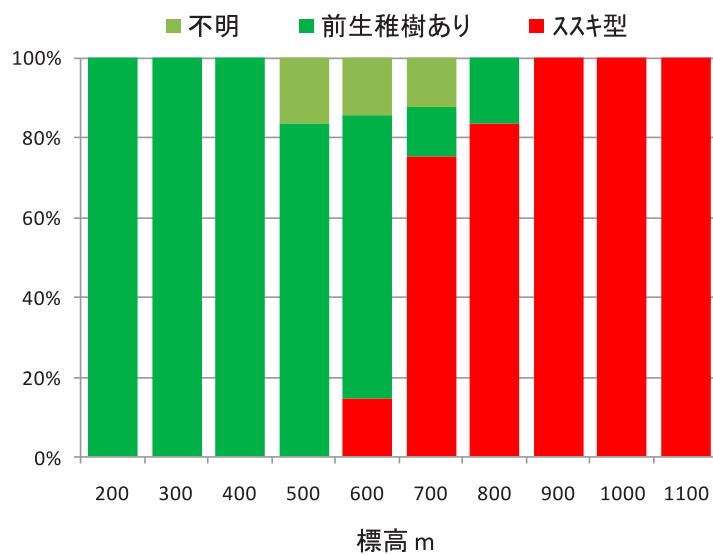


図2 標高クラス別に抽出した皆伐地の抽出地点数と植生タイプ比率



図3 森林環境税による土砂流出対策工事と広葉樹植林

スギ花粉はどこから飛んでくるのか？ —都市域に影響を及ぼすスギ花粉発生源の特定手法を開発—

森林植生研究領域
研究コーディネータ

金指達郎
篠原健司

スギ花粉症患者は全国民の25%に達し、なお増加傾向にあると言われており、花粉症対策の一環としてスギ林における花粉生産量の削減が強く求められています。スギ等人工林の持続的管理と花粉症対策を両立させるためには、花粉削減効果の高い地域を明らかにし、そこへ対策を集中させることが効率的です。そのためには、首都圏等の人口集中地域に飛来する花粉がどこから飛んで来るのかを明らかにすることが重要になります。そこで、日々の花粉飛散予報に用いられる「スギ花粉飛散予報モデル」を応用し、都市域に飛来する花粉の発生源を特定する手法を開発しました。この手法を首都圏に適用し、その結果と問題点について検討しました。

都市域に飛来する花粉の主要放出源推定手法

都市域への影響の高い花粉放出源の推定には、文部科学省プロジェクト「スギ花粉症克服に向けた総合研究」(H9～14年度)で作成された「スギ花粉飛散予報モデル」を改良して用いました。このモデルは、任意の地点における花粉濃度を時間単位で予測するために開発されたものです。このモデルでは、各地の花粉放出源の雄花量や開花のすすみ具合に見合った量の模擬花粉をモデル内で発生させ、その飛散動態を気象データから計算します。そのため、模擬花粉に発生源の座標を与えておくことで、特定の地点に到達した模擬花粉を発生源ごとに集計することが可能になります。

ただし、特定の地点に多量の花粉が飛来したとしても、そこに人が住んでいなければ花粉症対策上はとくに問題は生じません。そのため、人口密度分布を考慮することで「ある地域内に居住する人々が浴びる花粉がおもにどこから飛んできたのか」を推定することにしました。

首都圏を対象とした事例

多くの花粉を生産する26年生以上のスギ林の分布(本州中部)を調べると、とくに多い地域は茨城・福島・栃木の県境付近、栃木西部、埼玉西部、東京西部、静岡西部などであることがわかりました(図1)。

人口集中地域の事例として、首都圏(東京駅を中心とした東西約50km、南北約40km)に居住する人々が浴びる花粉がおもにどこから飛来したかを、2008年の花

粉飛散期(花粉飛散予報で「多い」以上のランクの日が頻繁に観測された期間)を対象に推定しました(図2)。その結果、首都圏に近く、スギ林の多い埼玉・東京・神奈川の西部の影響が高いと推定されました。一方、スギ林が比較的少ない神奈川東部や房総半島中北部の影響も高いこともわかりました。これは、その地域自体に多くの人が居住しており多量の花粉を浴びるためです。また、遠距離なわりには静岡西部も首都圏に比較的強い影響を与えていたことも推定されました。このことは、スギ雄花の開花時期の気象条件によっては、花粉は長距離にわたって飛散しうることを示しています。

成果の利活用

今回の手法で推定された都市域への影響の高い花粉放出地域に伐採や植え替えなどの対策を優先的に実施することで、その効果を早めることができると考えられます。ただし、この推定結果は年によって異なる可能性があります。各花粉放出源の影響の強さは、風向などの気象条件や各地での雄花量によって大きく左右されるからです。そのため、対策を優先させる地域の選定にあたっては数年間の結果を勘案して決定する必要があります。

詳しくは「都市域への影響の高いスギ花粉発生源の推定」、金指達郎・鈴木基雄、日本森林学会誌 92、p.298-303 (2010) をご覧下さい。

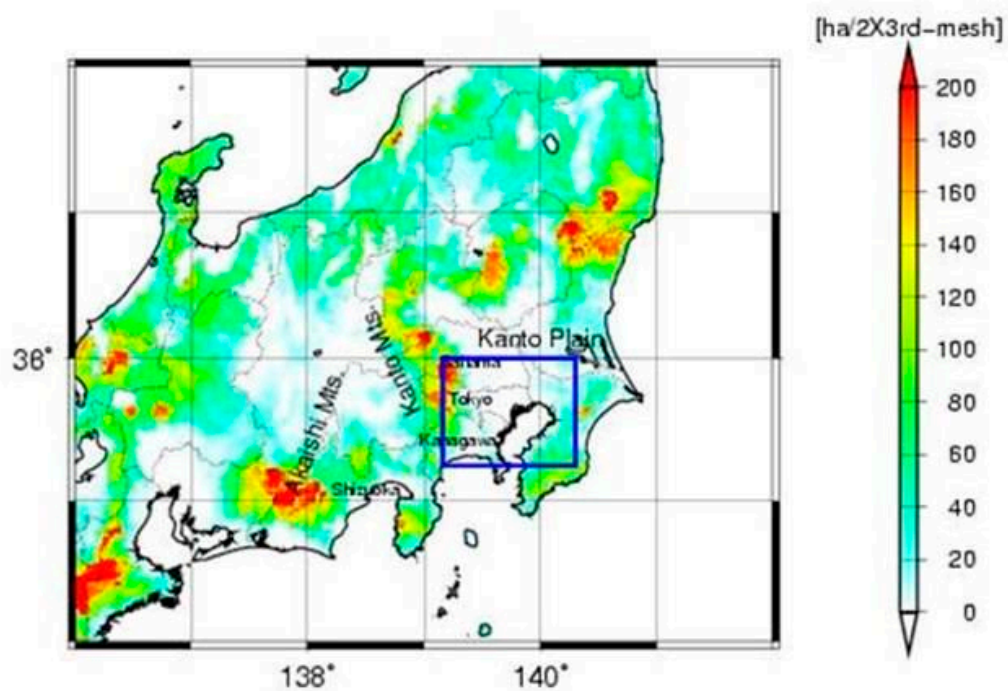


図1 本州中部域におけるスギ花粉放出源（26 年生以上のスギ林）の分布
赤や黄色がスギ林の多い地域。青線で囲んだ地域が今回対象とした首都圏地域
（首都圏人口の大半、約 3,000 万人がこの範囲に居住している）。

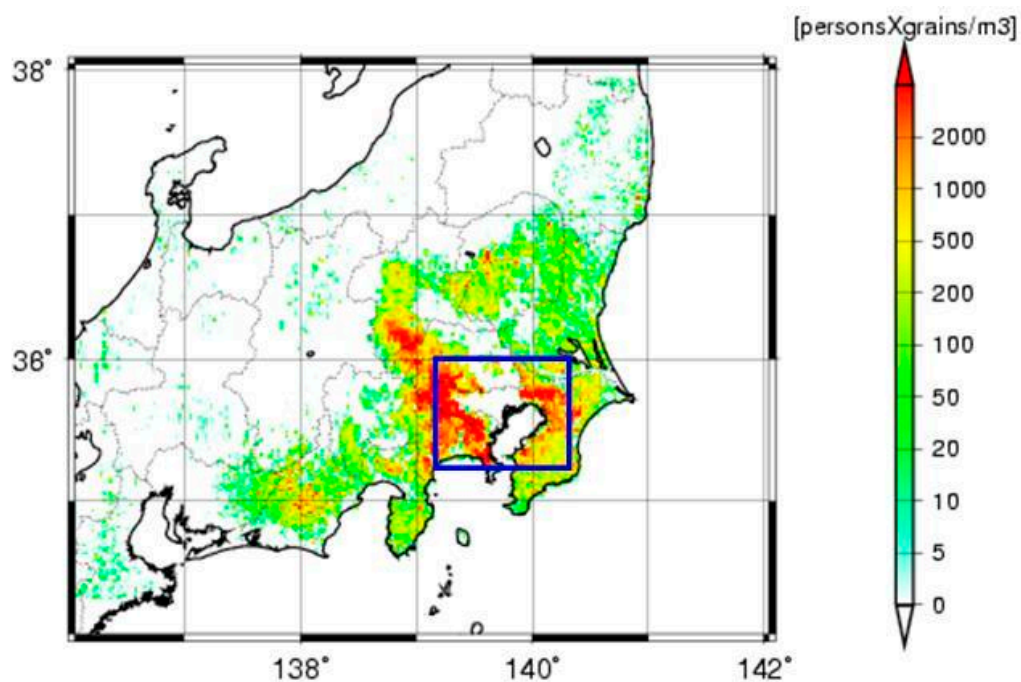


図2 首都圏に居住する人々が浴びる花粉の主要な放出源地域の分布
赤や黄色の地域が首都圏へ強い影響を及ぼす花粉放出源（2008 年の花粉
飛散期の結果）。

いつ、どう伐れば儲かるか？ ー林業経営収支予測システム FORCAS を使った施業計画ー

研究コーディネータ
林業経営・政策研究領域
林業工学研究領域
森林管理研究領域

松本光朗
鹿又秀聡
岡 勝
細田和男

地球温暖化対策を背景に、間伐促進施策がさらに進められています。しかし、間伐の呼びかけをしても、赤字になるのではないかと、なかなか踏み切れない森林所有者も多いでしょう。このとき、どんな間伐をすれば、どのくらい儲かるのか、将来はどうなるのかを、あらかじめ見積もることができれば、間伐の判断も呼びかけもしやすくなります。そこで、様々な間伐方法に対応して、いつ、どうやって、どのくらい間伐すれば良いのかを、材価収入と伐出コストによる収支を予測しながら、最適な施業計画を探し出すソフトウェア FORCAS（フォーカス）を開発しました。これにより、個別林分や施業ごとにオーダーメイドの予測ができ、提案型施業を進めるためにも役に立ちます。

FORCAS の概要

FORCAS は林業経営収支予測システムを意味し、下層間伐や列状間伐を含めた様々な間伐様式に対応した収穫予測手法と、伐出システムや立地条件による伐出コストの予測を統合して、林分ごとの間伐から主伐までを見通したトータルな収支を予測するパソコン用プログラムです。

FORCAS は、いまのところ、スギ（15 地域）、ヒノキ（10 地域）、カラマツ（4 地域）に対応しています。間伐方法は下層間伐、上層間伐、列状間伐を含む全層間伐に対応し、間伐の回数、間伐時期、強度、方法を自由に選択・指定できます。また、伐出システムとして、林内作業車型、集材機型、タワーヤーダ型の3タイプに対応しています。今後、対応樹種や地域、収穫システムの種類を増やしていく予定です。

FORCAS はマイクロソフト社の表計算ソフト Excel の上で作動し、ほとんどの Windows パソコンで利用することができます。プログラムやマニュアルをまとめたパッケージを、森林総研ホームページ (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/database.html#keiei>) から入手できます。

FORCAS の使い方

FORCAS の使い方を、図1にそって紹介します。① FORCAS を起動すると「初期値シート」が表れます。② 「林況判定ボタン」を押し、林分調査のデータを入力すると、対象林分の現状が示されます。③次に「材価推定ボ

タン」を押し、材価と採材方法を入力します。④さらに、「コスト予測ボタン」を押し、収穫システムや集材距離を指定します。⑤ここまで指定した後、「初期値シート」に戻り、間伐の回数、時期、強度、方法を指定し、「実行ボタン」を押します。⑥すると、計算が始まり、指定した条件での収穫表や予測された収入が表れます。⑦さらに、伐出コストの予測結果と、これらを総合した収支の予測値が示されます。

この予測結果をふまえて条件を変えながら何回も予測を繰り返し、目的に合った間伐方法を見つけ出します。この繰り返し、FORCAS のポイントです。

なお、FORCAS の推定値を実測値と比較したところ、十分な精度が得られていることが検証されています。

活用・展開

FORCAS に実装されている収穫予測システムは、筆者らが開発した LYCS（ライクス）です。LYCS は、すでに県の技術者研修や森林組合などで広く利用されています。また、最近では CO₂ の吸収量を売買するカーボンオフセットの J-VER でも利用されています。FORCAS においても、その LYCS と同様に現場での利用を広め、提案型施業や地域レベルの計画へ貢献を目指しています。

【参考文献】

松本光朗、いつ、どう伐れば儲かるか？ ー林業経営収支予測システム（FORCAS）の開発

②対象林分の調査データを入力調査データが無いときは標準的なデータで代用します

林況判定シート				
1	樹種	スギ	地位	
2	地域	北関東・阿武隈地方	地位指数	
3	林齢	25	Ry	
4	面積(ha)	0.01	形状比	
5	No		平均上層樹高	
6			平均直径(cm)	
7	1	21.5	14.8	
8	2	21.2	14.4	
9	3	19.8	14.5	
10	4	19.8	14.2	
11	5	19.4	13.5	
12	6	17.2	13.4	
13	7	17.2	13.4	
14	8	17.2	13.2	
15	9	17.2	13.1	
16	10	17.2	13	
17	11	17.2	13	
18	12	15.7	13	
19	13	15.4	12.9	
20	14	15.2	12.8	

③ 材価と採材方法を入力
試算用に材価や採材方法のデ
フォルト値を用意しています

市況材価シート				
1	径級(cm)	径級別価格		
2	14	30,000	33,000	40,000
3	16	26,000	28,000	35,000
4	18			
5	20			
6	22			
7	24			
8	26			
9	28			
10	30			
11	32			
12	34			
13	36			
14	38			
15	40			
16	42			
17	44			
18	46			
19	48			
20	50			
21	52			
22	54			
23	56			
24	58			
25	60			

④ コストに係わる条件の入力
収穫システムの選択や集材距離な
どを入力します

伐出コスト推定シート				
1	条件主伐もしくは集材距離が50m以上の場合は「チェーンソー(伐・造)+ウィンチ付き林内作業車(集)			
2				
3				
4	集材距離(m)	0		
5	補正係数	1.0		
6	集材面積(ha)	0.0		
7	労務費(円)	15000		
8				
9				
10				
11	1回目収穫システム	チェーンソー(伐)+タワークレーン(集)+プロセッサ(造)		
12				
13				
14				

林業経営収支予測システム FORCAS/LYCSver3.2

1	林況判定	ON	OFF	材価推定	ON	OFF	コスト推定	ON	OFF
2									
3	質問				指定				
4	1.樹種を選んで下さい				スギ				
5	2.地域を選んで下さい				北関東・阿武隈地方				
6	3.収穫表の識別名を入力してください				計画1				
7	4.対象林分の面積を入力してください								
8	5.どの地位の収穫表を行いますか?(1~3)までの値を入力								
9	6.初期立木本数を入力してください								
10	7.林齢何年からの収穫表を行いますか?(10)年以上の値を入力								
11	8.主伐を林齢何年で行いますか?				自動計算				
12	9.直径の入力はどのように行いますか?								
13									
14									
15	11.直径分布のグラフの有無を指定してください				無				
16	12.間伐量の入力はどのように行いますか?				間伐率を入力				
17	13.間伐を何回しますか?				1回目				
18									
19	14.間伐を行う林齢をひとつずつ入力して下さい				0				
20	15.それぞれの間伐時の間伐率をひとつずつ入力して下さい								
21	間伐時の主材本数(目安)								
22	16.間伐方法を指定して下さい:1:下層、2:上層、3:全層、4:全層+下層								
23									
24									
25	実行				リセット				
26									

①起動
プログラムを起動すると、この初期
値シートが現れます。

⑤初期値シートの入力
間伐の回数、間伐時期、強度、方
法などを指定して「実行」します

⑥収穫予測・収入予測結果の出力
指定した前提や条件にしたがい収穫予測
と収入予測の結果が出力されます

北関東・阿武隈地方スギ収穫表(地位2) 収穫表識別名:計画1									
主林木(1ha)					副林木(1ha)				
林齢	直径	樹高	断面	材積	林齢	直径	樹高	断面	材積
(年)	(cm)	(m)	(m ²)	(m ³)	(年)	(cm)	(m)	(m ²)	(m ³)
10	7.6	5.2	14.3	3000	41	0.44	68		
15	10.3	7.9	26.4	2884	102	0.62	77		
20	13.7	10.6	35.4	2307	188	0.69	77		
25	16.0	12.6	48.1	2307	301	0.77	79		
30	19.0	15.0	47.0	1615	348	0.74	79		
35	20.4	16.5	54.7	1615	436	0.78	81		
40	21.4	18.0	60.1	1586	516	0.82	84		
45	23.5	20.2	49.7	1111	488	0.76	86		
50	24.4	21.0	53.5	1111	545	0.78	86		
55	25.1	22.1	56.9	1111	608	0.80	88		
60	25.7	23.2	59.7	1111	671	0.82	90		

⑦コスト予測・収支予測結果の出力
指定した条件にしたがいコスト予測と収支
予測の結果が表示されます

	林齢24 (千円)	林齢34 (千円)	林齢50 (千円)
収入	178	1,069	3,729
支出	507	410	2,054
収支	-329	659	1,675

総収支 (千円)	
収入	4,976
支出	2,971
収支	2,005

航空写真から松枯れ木をピンポイント探査

東北支所

中北 理

マツ材線虫病による松枯れ被害は、秋田北部や岩手内陸部に達し、持続的な森林管理を行う上で大きな問題です。ザイセンチュウを持ち運ぶカミキリ虫を減らすには、カミキリが産卵した木（要防除木）を見つけすばやく処理することです。しかし、山中で枯れた松を見つけ出し作業することは容易ではありません。そこで、適切な時期に小型飛行機から空中写真を撮影・解析し、枯れた木がどこにあるか正確な分布を把握することを目的に研究を行いました。そして、広域に分布する枯れ木を自動で処理する無人ヘリコプターの飛行実験などを通じてピンポイントでの探査法を開発しました。

撮影時期はいつか？

何事にも最適な時期があります。プロジェクトではザイセンチュウの接種実験等により松が枯れていく状態を詳細に分析しました。そして、自然松林において、毎月どのように枯れが発生していくのかを観測し年間の発生状況を把握しました。また、それらにカミキリが産卵しているかどうかを調べ、北東北での最適な撮影時期は10月中旬～11月上旬としました。

どのように撮影するか？

松の樹木は針葉で葉量も少ないです。また海岸松林では密集して生えています。それらを判読するのに効果的な撮影高度は、撮影縮尺1万分の1で撮影することが解析作業や経済的効果から適しているとわかりました。空中写真にはナチュラルカラーや赤外線カラーなど様々なタイプがあります。近赤外線カラーが判読にはとても有効であることがわかりました。

撮影後はどうする？

2枚の空中写真を用いてステレオ立体視し、その年に枯れた樹木を判読抽出して分布を求めます。このステレオ写真から高精細なオルソ画像を作成します。これにより山岳地形の微地形が把握できるので、要防除木の正確な位置が求められることになります。

どのように活用する？

①オルソ画像や位置情報を用いて、現地で枯損木のあるところまで誘導するGPS内蔵の携帯情報端末装置用ソフトを開発しました。この装置やソフトにより、林内で対象となる樹木を探すことなく迷わずに速やかに到達することができるようになりました。

②もう1つは、自律航行型の無人ヘリコプターの飛行プログラムに、判読で得られた松枯れ木の位置情報を入れます。無人ヘリが、広域を自動的に管理、作業することが技術的に可能であることを明らかにしました。

最新の航空写真技術

航空機からカメラで撮影する方法は、近年、GPSやミサイル技術を組み込み飛躍的に高精度化した最新科学技術です。加えて、撮影時期を指定することができ、ほぼ鉛直に撮影できるのは空中写真だけなのです。

オルソ画像

通常の写真は地図とは合いません。地図とぴったり合うように高低差や位置のズレを修正したものをオルソ画像と言います。2枚の空中写真の立体像を画像処理して作成します。

自律航行型無人ヘリコプター

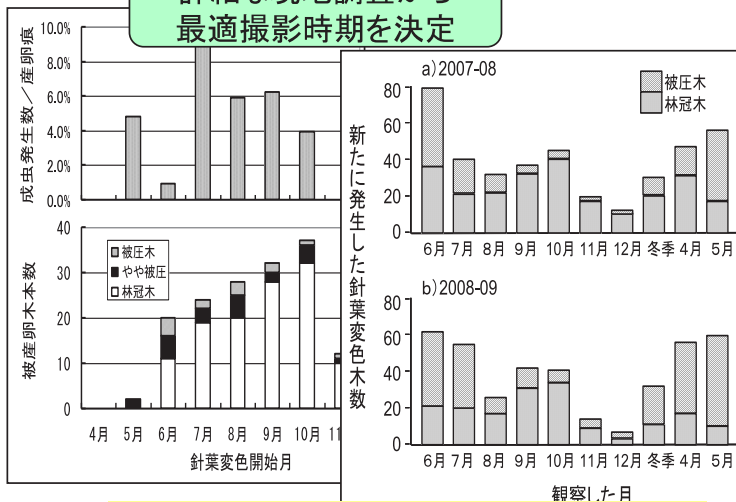
あらかじめ目標物の位置座標と高さ情報を無人ヘリの操縦プログラムにインプットすることで、ヘリは自動飛行し1本1本の樹木上空で空中停止しながら撮影や散布作業等を行うものです。

成果の利活用

国有林、民有林等の各種講習会や発表会で公表したり、研究成果を1冊にまとめたマニュアルを作成し、関係機関に配布しました。また、東北支所のHPに掲載準備中です。

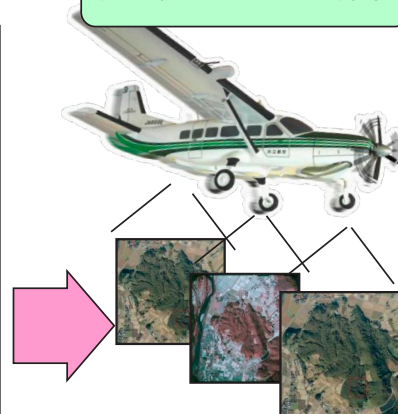
詳しくは、「松枯れ対策は全面散布からピンポイント散布へ」中北理、グリーン・ページ（2009.6）をご覧ください。

詳細な現地調査から 最適撮影時期を決定



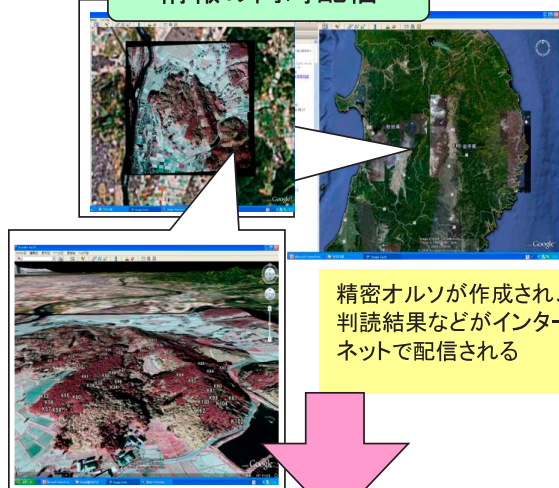
松枯れの月発生数とマダラカミキリの産卵数をもとに
最適な撮影時期を10月中旬から11月上旬と決定

航空機による空中撮影



松枯れ判読の撮影縮尺は1万分の1が適し、
画像は赤外カラーが確実に効果的である

情報の同時配信

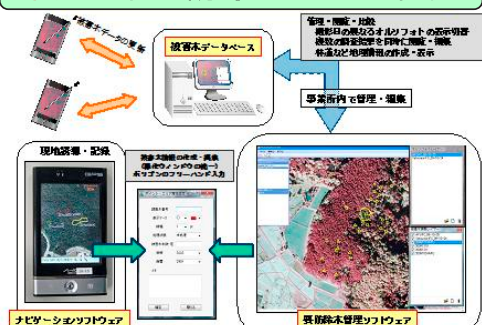


松枯れ木の 正確な分布位置を把握



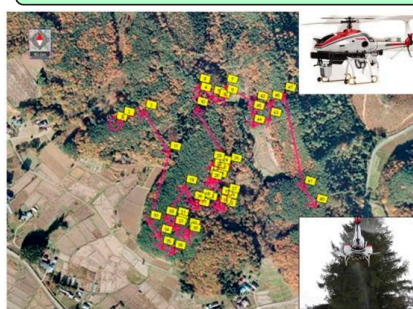
赤外カラー画像上に表示された松枯れ要防除木
分布状態が高精度に把握でき、画面上で拡大、
回転して様々な方向から検討できる

活用1: 林内誘導システムの開発



GPSを内蔵した携帯情報端末システム
により、オルソ画像と分布位置、現在地が
表示される

活用2: 無人ヘリによる広域管理



自律航行型無人ヘリを用いれば、広
域でも単木単位での確な管理が可能
になる

ピンポイント防除に むけた マニュアルを作成



タケの地上部現存量を簡易に推定する

関西支所	奥田史郎、鳥居厚志
四国支所	伊藤武治
林業工学研究領域	佐々木達也

各地の里山などで管理が放棄された竹林が増え、勝手に広がるなど問題となっています。その解決策としてタケを有効利用することが考えられますが、タケの資源量に関する情報が少なく、タケ利用の障害となっていました。そこで、いろいろな場所でタケの重量を調べたところ、壮齢のスギ林などに匹敵する竹林もあり、タケの現存量は意外と多いことがわかりました。効率良くタケを利用するためには、タケの量を簡易に推定する必要があります。タケの量は主に稈の混み具合によって変化するので、それを利用した簡易推定法を開発し、地域での資源量把握が簡単に行えるようにしました。

タケの量は意外と多かった

最近多くの里山で管理されなくなった竹林を見かけるようになりました。昔は農作業に使う道具を作ったり、タケノコを生産したりするために利用していましたが、プラスチックやアルミなど代替材の普及や外国からの輸入品の増加によってタケを利用する機会が減り、竹林をきちんと管理しなくなってきたのが原因です。しかも放棄された竹林は勝手に周囲に広がってほかの植物を駆逐するなど問題になっています。不要なタケは除けば良いのですが、伐採後の処理も厄介です。量も多いので材料として有効利用すれば竹林が増えすぎる問題を解決できる可能性があります（写真1）。しかし、資源として利用するためには放置竹林にどの程度の資源量があるのか把握しておく必要がありますが、これまで十分な調査は行われていませんでした。そこで、地上部現存量*をいろいろな場所で調べてみたところ（図1）、現存量は場所によって大きな差があったのですが、平均では1ヘクタールの土地に乾燥重量で180トン近くあることがわかりました。この量は、よく管理された50年生くらいのスギやヒノキの人工林と比べても遜色のないものです。

簡易にタケの量を知りたい

さて、地域において実際にタケを効率よく利用する場合には、それぞれの竹林でどの位の現存量があるのかわかる必要があります。実際に一本一本の重さを測れば量は分かりますが、管理されていない竹林では、時には1ヘ

クタールに1万本以上の稈があるので、あまりに大変です。そこで、もっと簡易に竹林の現存量を推定する方法を開発しました。タケは本数が多いほど現存量も大きくなりそうですが、本数は多くても小さなタケが多い林もあって、必ずしも本数に比例して現存量が多くなるわけではありません。多数の竹林を比較してみたところ、稈の断面積を足し合わせた断面積合計という数値が現存量推定に利用できることがわかりました。いろいろな竹林の現存量は、断面積合計が増えるほど大きくなる関係があって（図2）、その数値に1.778を掛けるとおおよその現存量が推定できます。これによって、竹林で一定本数のタケの太さを測るだけで現存量を推定できるようになりました。

利活用の実績

様々にタケを利用する際に、効率的な利用計画を策定する上での資源量推定に利用されている。また、林野庁のインベントリ事業で竹林の炭素量の推定やNEDOのバイオマスエネルギー量の推定に活用されました。

詳しくは、「タケ資源の持続的利用のための竹林管理・供給システムの開発」農林水産省実用化事業報告書、2010.03をご覧ください。

現存量：ある一定の面積に存在する生物量。ここでは、地上部(地面より上にある)タケの総乾燥重量のことです。



写真1 部分的に伐採した竹林

混んだ竹林では幹がたくさん林立する状態になり向こう側がほとんど見えません。

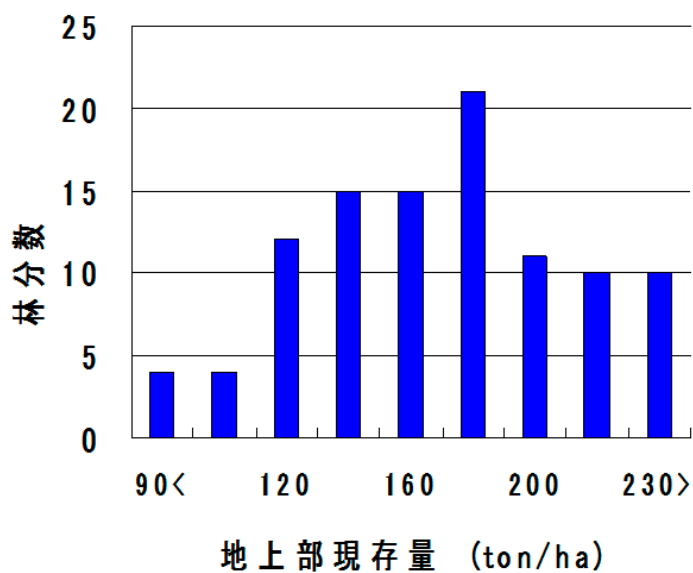
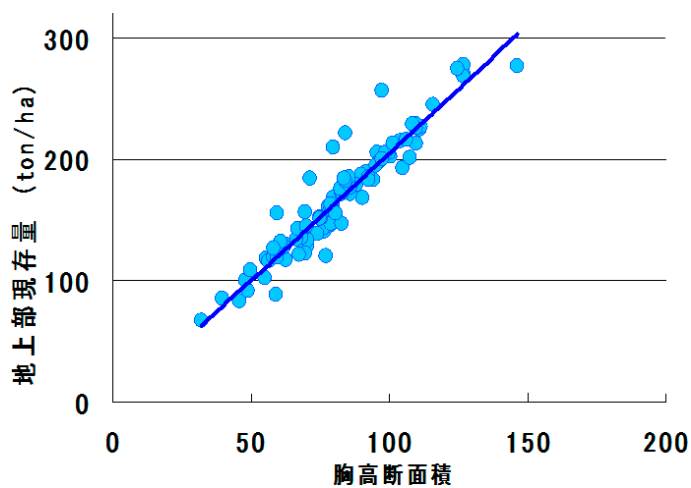


図1 各地の竹林の現存量



タケの現存量は胸高の断面積合計の値と正の相関関係が強かった。およその現存量を推定するには、 $\text{現存量} = 1.7778 \times \text{断面積}^{1.03}$ で推計できる。

図2 竹林の現存量と断面積合計の関係

Memo.

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

発行日	平成23年3月
編集・発行	独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里1 電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ	企画部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	筑波印刷情報サービスセンター協同組合

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1 URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

リサイクル適性の表示:紙へリサイクル可