

## Ⅱ 平成22年度試験研究の概要

（森林資源部）

## 高性能林業機械を活用した風倒被害木処理システムの開発

担当：森林資源部，森林環境部 環境G

共同研究機関：森林総合研究所（主管），北海道大学，イワフジ工業

研究期間：平成20年度～22年度

区分：公募型研究

## 研究目的

大型の台風や発達した低気圧により大規模な風倒被害が発生している。被害林分の長期にわたる放置は、木材としての価値を失うばかりか、CO<sub>2</sub>吸収源の喪失や虫害の発生など環境に深刻な影響を及ぼす恐れがあり、速やかに健全な森林へ再生させる必要がある。被害木の処理には、安全で処理能力の高い高性能林業機械の活用が望まれるが、現行機種は風倒木処理に適しておらず、間接的な利用にとどまっている。そのため機械化すべき最も困難な作業を手持ち式のチェーンソーで行っており、内部に反発力を蓄えた風倒木の鋸断で人命が失われる労働災害が毎年繰り返されている。このため、風倒被害木の処理が可能な高性能林業機械を開発し、安全かつ効率的な風倒被害木処理システムを提示する。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- ・調査地：苫小牧市，千歳市，当麻町他
- ・材料：衛星画像，空中写真，GISデータ，フェラーバンチャ，クローラカート型集材装置，チェーンソー，グラップルローダ他

調査項目や分析方法について

- ・既存機械による処理作業の聞き取り調査
- ・衛星画像によるリモートセンシング解析
- ・被害箇所や被害形態の空中写真判読
- ・処理計画支援の森林GIS解析
- ・ビデオやGPSによる機械作業分析

## 研究成果

○既存機械による処理作業の問題点抽出（林業試験場）

聞き取り調査および現地調査を行い、既存作業の生産性は低く、ハーベスタ等の高性能林業機械は切断方式やグラップル機能の不足等により十分活用されていないこと等を明らかにし、チェーンソー方式に代わる切断装置を持つ伐倒アタッチメントの開発や、処理システムに適合する低負荷全木集材方法の開発に反映させた（図-1）。

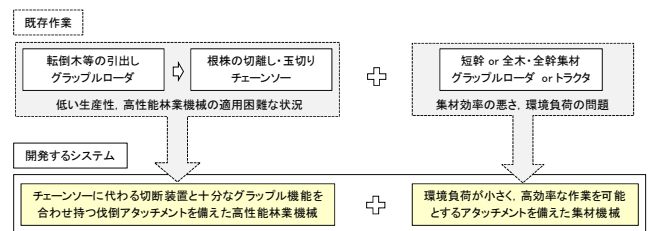


図-1 既存作業の問題点と開発システムの目標

○処理アタッチメントの開発（森林総合研究所，イワフジ工業）

既存フェラーバンチャを改良し、機体に対して斜めや横方向に倒れた風倒木を処理するため、スィング機構を付加したアタッチメント（写真-1）を開発した。



写真-1 処理アタッチメント

○キャビンの保護装置の改良（森林総合研究所）

アンケート調査を行い、障害物等との衝突原因やキャビンの危険部位を特定し、衝突多発位置に対応したキャビン保護装置と車体の保護ガードを開発した。

○風倒木に加わる応力等の解明（北海道大学）

針葉樹4樹種と広葉樹5樹種の丸太について曲げ破壊試験を行い、樹種別の危険度はミズナラ，シラカンバ，カラマツがアカエゾマツ，トドマツに比べて大きいこと、たわみで生じた応力は2週間程度で20%以上減少することなどを明らかにした。

○処理システムに適合する低負荷全木集材方法の開発（森林総合研究所）

土そりを改良してクローラカート型集材装置（写真-3）を試作し、けん引抵抗はトラクタの約半分と小さいこと等を確認し、最小限の環境負荷で大量の材の搬出が可能な集材方法を開発した。

○風倒処理計画のための効率的な情報取得技術の開発（林業試験場）

支笏湖畔の2004年台風18号風倒被害箇所を対象にSPOT衛星，QuickBird衛星画像，カラー空中写真，航空機からの斜め写真を用いた判読を行った。衛星画像は広範囲の被害の早期把握に適すること、空中写真は風倒方向や根返り等の被害形態の把握ができる等、データソース毎の被害把握特性を解明した（図-2）。

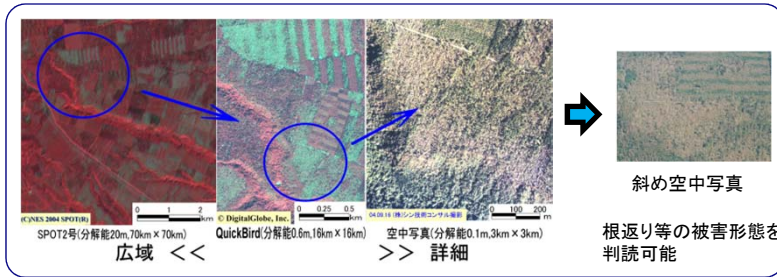


図-2 画像ソース毎の比較

安全かつ効率的な林業機械による風倒被害処理に必要なデータ収集項目について検討を行い、風倒被害箇所の資源表(案)を作成した(表-1)。風倒被害箇所について50mメッシュに細分化し、森林GISの解析機能を利用して樹種、林齢、傾斜等の各データを取得し図面に表示した(図-3)。作成したデータをもとに風倒被害箇所の処理優先順位の設定方法を検討し、結果を図示する手法を開発した(図-4)。

表-1 風倒被害箇所の資源表(案)

ID	被害形態	樹種	林齢(年)	標高(m)	傾斜角(度)	傾斜方向(度)	風倒木方向(度)	道路からの距離(m)	道路等からの位置(m)	河川からの距離(m)
1	根返り	トドマツ	25	269	9	10	250	113	下方向斜面	10
2	中折れ	トドマツ	30	356	23	354	10	390	上方向斜面	50
3	根返り	カラマツ	35	265	7	240	30	146	上方向斜面	30
4	中折れ	広葉樹	60	452	29	46	340	395	下方向斜面	500
5	中折れ	広葉樹	35	464	33	148	150	432	上方向斜面	150
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

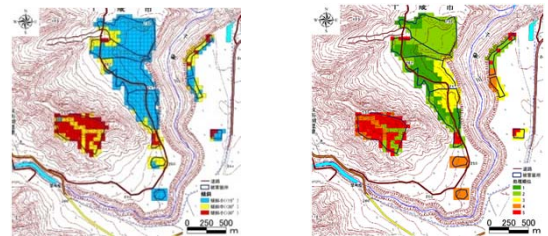


図-3 被害箇所の傾斜区分 図-4 処理優先順位結果

○試作機による安全かつ効率的な処理システムの開発(林業試験場, 森林総合研究所, 北海道大学, イワフジ工業)

試作された処理アタッチメントを装着したフェラーバンチャ(写真-2)とクローラカート型集材装置(写真-3)等を用いて、安全かつ効率的な処理作業システムを開発した(図-5)。処理システムは、作業構成を変えることで被害規模(大規模・集中,あるいは小規模・分散)に対応することができる。実証試験によって得られた生産性は3.1~3.6m<sup>3</sup>/時で、チェーンソー主体の従来型作業に比べて3~4倍の高さとなること検証された(図-6)。作業員は、手持ち式チェーンソー作業やトラクタ集材時の荷掛け作業から解放され、さらに no foot on forest, すなわち一度も機械から降りることなく作業が進められたことから、高い安全性が確保された。

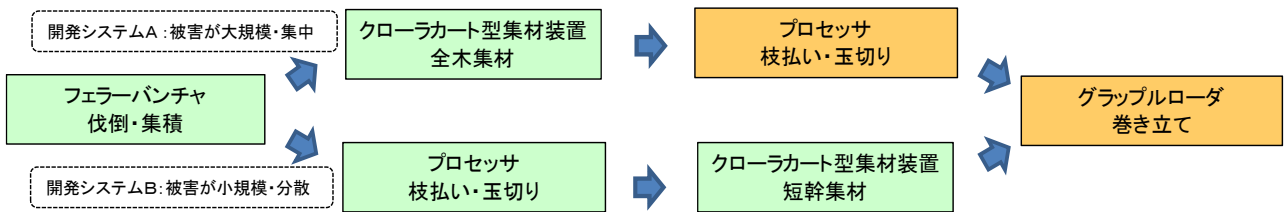


図-5 試作機等による処理作業システム(背景色が緑は林内, 茶は土場での作業)



写真-2 フェラーバンチャ



写真-3 クローラカート型集材装置

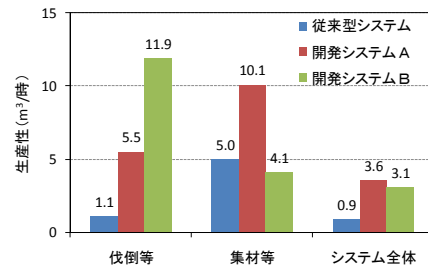


図-6 生産性の比較

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- ・木幡靖夫ほか(2009) 風倒木の処理作業に関する若干の考察. 日本森林学会学術講演集 120:173
- ・木幡靖夫ほか(2010) フェラーバンチャによる風倒木処理の試み. 日林北支論 58:93-96
- ・木幡靖夫ほか(2010) 現地検討会「風倒木処理作業の機械化と北欧における高性能林業機械の最新事情」. 北方林業 731:9-14
- ・木幡靖夫ほか(2011) フェラーバンチャとクローラカート型集材装置による風倒被害木の処理作業事例. 日林北支論 59:79-82
- ・菅野正人ほか(2010) 風倒被害箇所における林業機械作業を効率化するための森林情報取得と活用方法について. 日本森林学会学術講演集 121:438
- ・菅野正人ほか(2010) 風倒被害箇所における林業機械作業を安全かつ効率化するための資源表作成. 日本リモートセンシング学会第49回学術講演会論文集:117-118
- ・現地検討会「風倒木処理作業の機械化と北欧における高性能林業機械の最新事情」の開催(2009年7月, 上土幌町, 参加者120名)
- ・風倒被害対策セミナー「被害防止と安全かつ効率的な処理作業に向けて」の開催(2010年10月, 当麻町, 参加者120名)

## 酸性雨モニタリング（土壌・植生）調査

担当：森林資源部 経営G

共同研究機関：環境科学研究センター 協力機関：北海道環境生活部

委託元：環境省

研究期間：平成22年度 区分：受託研究

### 研究目的

本調査は、環境省の「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」に基づき、日本の代表的な森林における土壌及び森林のベースラインデータの確立及び酸性雨による生態系への影響を早期に把握するため、森林モニタリング（樹木衰退度調査・森林総合調査）および土壌モニタリングを実施することを目的とする。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

#### 調査地や材料について

・酸性雨モニタリング（土壌・植生）調査地は知床国立公園および支笏洞爺国立公園内に設定された特定調査プロット（各地点とも林分数1，土壌プロット数2，植生プロット数1）。

#### 調査項目や分析方法について

・酸性雨モニタリング調査（土壌・植生）  
（1.樹木衰退度調査，2.森林総合調査，3.土壌モニタリング）

### 研究成果

知床国立公園および支笏洞爺国立公園に設定された特定調査プロットにおいて下記の調査を実施。結果は北海道環境生活部を通じて環境省に報告する。

1. 樹木衰退度調査（林業試験場）  
知床国立公園および支笏洞爺国立公園のプロット内にある、それぞれ約20本の観察木について、直径・樹高を測定し、衰退度を記録した。
2. 森林総合調査（林業試験場）  
知床国立公園のプロット内にある直径5cm以上の木の直径、樹高を測定するとともに、下層植生を調査した。
3. 土壌モニタリング（環境科学研究センター）  
知床国立公園のプロット内で土壌を採取し、水分含量、pH、交換性塩基、交換酸度、有効陽イオン交換容量、交換性AlおよびHについて分析を行った。



知床国立公園内の特定調査プロットの林相

調査地点の概要

	知床	支笏洞爺
市区町村	斜里町	札幌市南区
標高	約350m	約800m
土壌種	褐色森林土	暗色系褐色森林土
林相	天然林	天然林
優占樹種	トドマツ	ダケカンバ

### 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

# 造林未済地の把握技術および天然更新を利用した 森林化技術の開発

担当：森林資源部 経営G，森林環境部 環境G

共同研究機関：酪農学園大学，筑波大学，北海道大学，EnVision環境保全事務所

研究期間：平成21年度～23年度 区分：公募型研究

## 研究目的

造林未済地の実態を把握するため、衛星データにより、伐採跡地を抽出する方法を開発する。また、GISデータや聞き取り調査等により未済地の発生要因の地理的、社会的条件の分析を行う。また、伐採跡地のうち天然更新により森林再生を任せる場所と、更新が難しく造林が必要な場所（人工造林が必要な場所）とを判別する判定基準を開発するため、伐採前の前生稚樹、土壌中で休眠している埋土種子等による植生回復のメカニズムを解明し、包括的な実用指針を策定する。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査項目や方法について

・造林未済地の発生要因

造林未済地がどのような条件下で発生しているのかを把握するため、十勝管内の3町を対象に、森林調査簿、国土地理院標高データ、公道・林道GISデータを解析した。

・天然更新の実態

十勝管内を対象に人工林伐採跡地の照査データ（1058林分）の解析および、伐採跡地43林分138地点での天然更新実態調査（面積5m×5m）を行った。

## 平成22年度の研究成果

不在村所有者の森林で未済地が発生しやすい傾向があります（図-1）。一方、地理的条件については関係性が見られません。

更新率（北海道の更新完了基準：疎密度3以上）は平均81%、伐採後10年以上の跡地に限ると94%に達しています（図-2）。現地調査でも樹高1.3mの高木種が1,600本/ha以上のプロット割合は88%に達していました（図-3）。

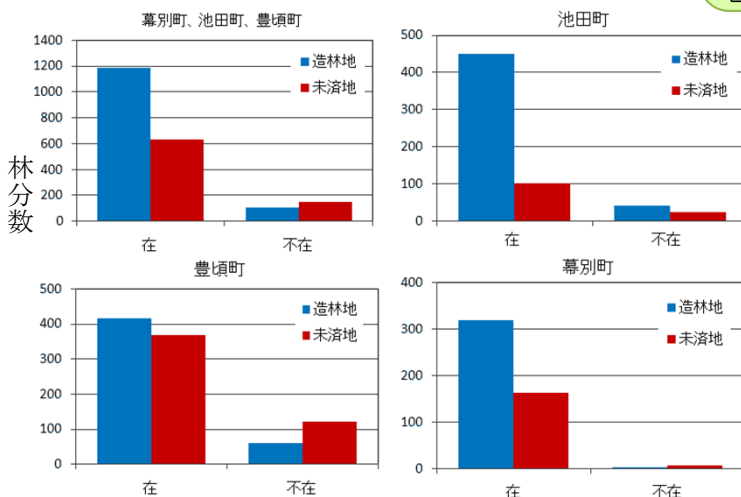


図-1 所有形態による再造林地と未済地の頻度分布  
所有形態は森林調査簿のデータから、在村（在村・準在村（隣接市町村））と不在（道内不在，道外不在）に区分している。

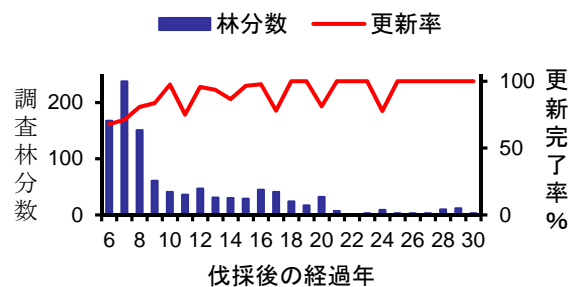


図-2 跡地の更新率（疎密度3以上）の推移

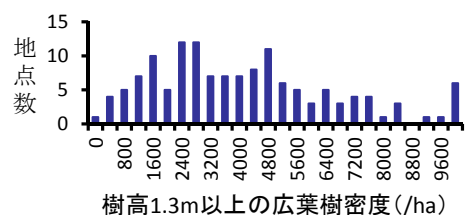


図-3 跡地の広葉樹密度階別プロット数

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- ・今博計，真坂一彦，鳥田宏行（2010）十勝南部の再造林放棄地における植生回復。日林北支論58:27-28.
- ・菅野正人，今博計，寺田文子（2011）十勝地方における造林未済地発生要因の解析。日林北支論59:107-108.
- ・十勝地域の造林未済地の森林再生に向けたワークショップの開催（2009年12月17日，十勝総合振興局）

# 北海道生物多様性保全モニタリングに関する研究

担当：森林資源部 経営G・保護G

共同研究機関：環境科学研究センター（主管），中央農業試験場，札幌市立大

研究期間：平成20年度～22年度

区分：重点研究（環境研主管）

## 研究目的

生物多様性保全の観点から、生態系のモニタリング手法を確立し、自然再生のための生態系の評価基準を明らかにする。また、一次産業との共生を図り、生態系の規模や構成、空間配置等広域的な自然環境の評価手法を確立する。林業試験場では、天然林や人工林における植生調査の実施に加え、既存の植生調査資料を活用することにより、森林の生物多様性の指標である植物多様性に係わる要因を解明する。これらの調査結果や既存の知見を踏まえて、生物多様性の保全を考慮した施業技術を開発する。また、環境科学研究センターとともに石狩低地帯のエゾシカ個体群の生息密度を明らかにするとともに、森林植生に与えるエゾシカの影響評価のためのモニタリング及び生態系評価手法を検討する。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- 既存の植生調査資料242林分
- 既存の毎木調査資料1950林分
- 道有林空知管理区トドマツ人工林22林分
- 空知支庁管内広葉樹天然林9林分

調査等の目的について

- 森林生態系の評価と生物多様性を考慮した施業技術の開発
- エゾシカ個体群の評価及び植物との相互作用に関する研究

## 研究成果

### 1 森林生態系の評価と生物多様性を考慮した施業技術の開発

天然林の植生調査データを分析し、林分構造（クマイザサ、チシマザサ、高木層の被度、高木層の混交率）によって森林の植物多様性の指標となる草本層種数を簡易に評価する手法を提案した（図-1）。天然林の復元を図る基礎情報を得るため、上層木ごとの出現確率と立地条件および施業履歴との関係を明らかにした（図-2）。道有林空知管理区のとドマツ人工林に設定した20×20mの調査区22箇所（林齢4～76年生）において、開花や結実の認められた下層の植物を調査したところ、トドマツ人工林では、林齢とともに下層植生のタイプや種数が変化すが、それぞれの段階に特徴的な植物が生育していることを明らかにした（図-3）。これらをまとめ天然林および人工林の植物多様性に配慮した森林管理技術について提案した。

### 2 エゾシカ個体群の評価及び植物との相互作用に関する研究

ライトセンサスにおける観察頭数が多い地域ほど樹木の枝葉や稚樹の食痕が多かったが、その関係は積雪深によって異なることが示唆された。また、稚樹に食痕のある割合は、稚樹の密度や平均樹高などの状態の変化をよく示す指標となることを明らかにした（図-4）。これらの結果により樹木の食痕調査によるエゾシカ個体数の評価手法について提案した。

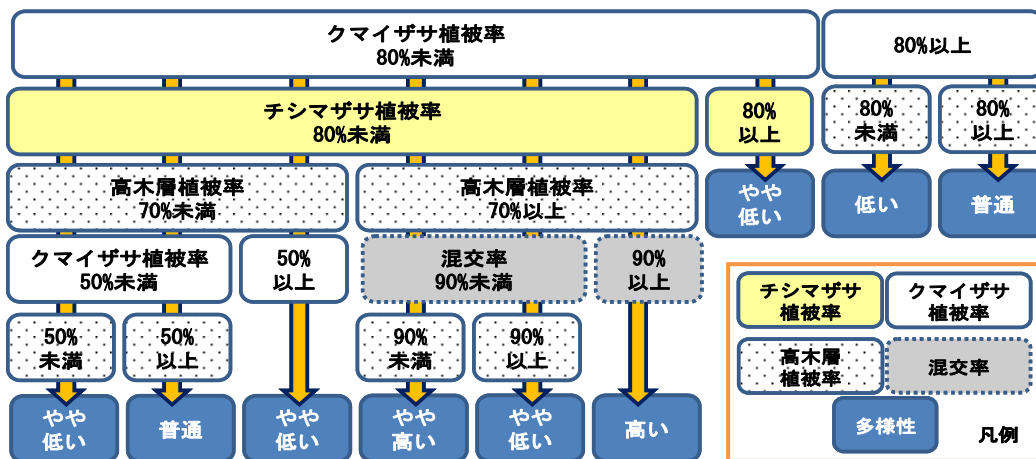


図-1 森林の植物多様性の簡易評価手法

草本層出現種数：多様性低い10未満、多様性やや低い10～17未満、普通17～24未満、やや高い24～31未満、高い31以上

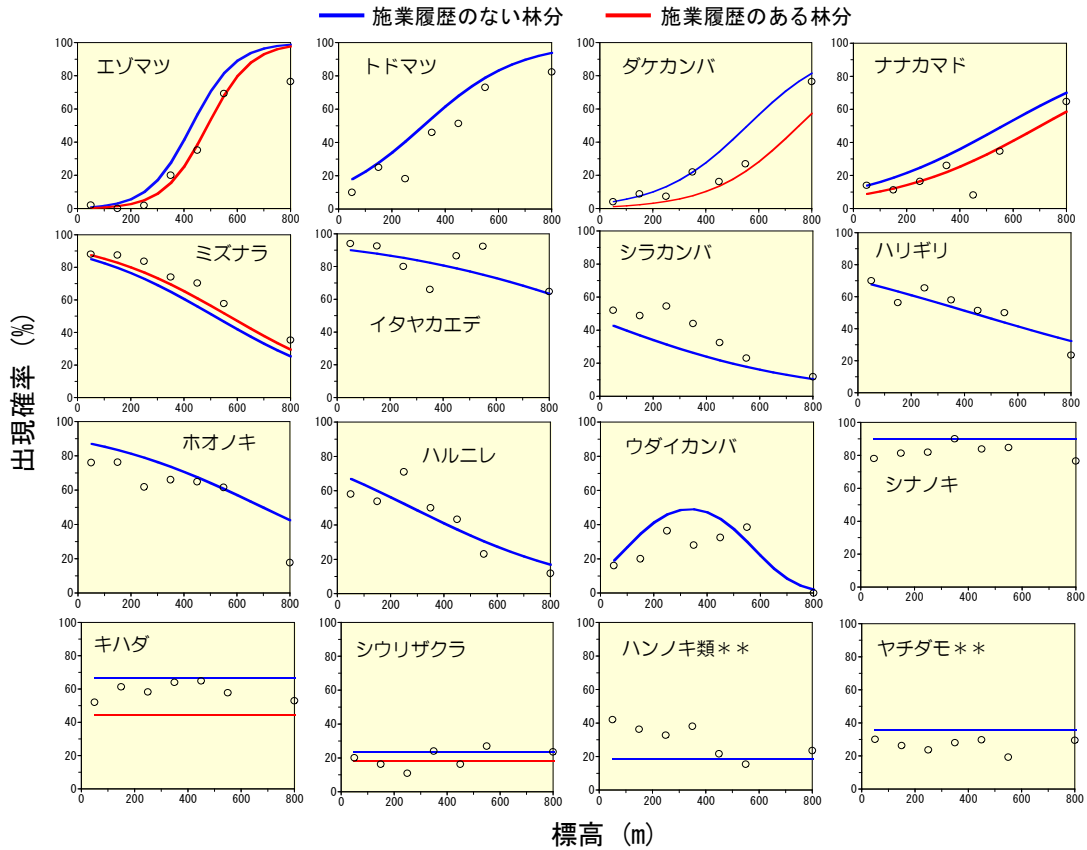


図-2 立地環境、施業履歴と樹種ごとの出現確率との関係。  
 \*\*は湿性な立地で出現確率が増加した樹種であることを示す。

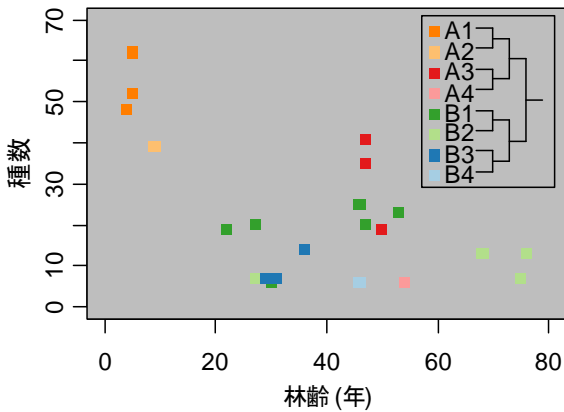


図-3 林齢と下層植生の出現種数の関係。  
 凡例の図は植生の類似性を示す。  
 林齢とともに植生タイプや種数が変化する。

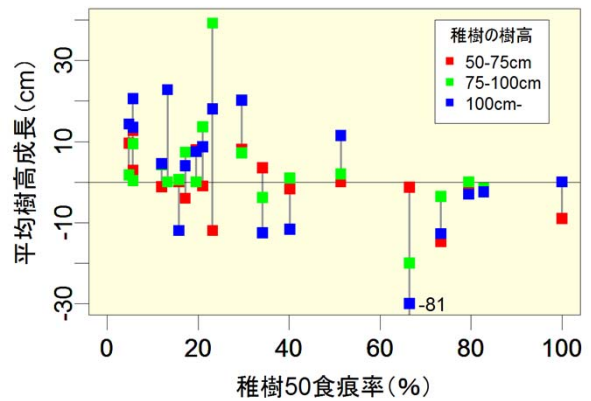


図-4 樹高50cm以上の稚樹に食痕のある割合（稚樹50食痕率）と稚樹の平均樹高成長の関係

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- 八坂通泰（2010）植物の種数が多い森林では絶滅危惧植物も出現しやすいか？ 日本森林学会北海道支部論文集 58：29-30
- 明石信廣・八坂通泰（2010）北海道における森林植物の多様性保全に向けて、平成21年度北の国・森林づくり技術交流発表集 169-172.
- 八坂通泰（2011）森林の植物多様性の簡易評価の試み、グリーントピックス44
- 北海道水産林務部「造林事業における多様な森林づくりの検討チーム」における技術指導
- 北海道水産林務部「道有林課技術研修（生態系保全編）」における講義

# 広葉樹林化のための更新予測及び誘導技術の開発

担当：森林資源部 経営G・保護G, 森林環境部 機能G・環境G, 道南支場  
 主管：森林総合研究所  
 研究期間：平成19年度～23年度 区分：公募型研究

## 研究目的

人工林における広葉樹林化の適地判定基準を策定するため、施業履歴、林分配置など条件が異なる一斉人工林において、広葉樹の天然更新の現状把握を行い、天然更新の適地に関する判定項目及びその基準値などを開発し、適地判定基準を明らかにする。また、天然更新を促進させるため、上木制御による更新樹の定着・成長促進技術や散布動物を活用した天然更新促進技術を開発する。こうした結果を整理し、更新検証システムの開発、誘導施業モデルの作成を行う。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査項目や方法について

- 施業1～2年後の土砂流出量の変化  
トドマツ林の間伐列、無間伐列、集材路等で土砂流出量を土砂受箱により測定した。
- 広葉樹成長の経年変化  
78年生の久保トドマツ人工林（道有林）で、侵入した広葉樹の樹高の経年変化を調べた。

• 人工林での種子散布量

広葉樹とトドマツ林内に種子トラップを設置し、散布される広葉樹種子を調べ、広葉樹林からの距離との関係を検討した。

## 平成22年度の研究成果

集材路、皆伐跡地で流出量が多い傾向があります。しかし、林床植生の回復に伴って流出量が減少しています（図-1）。

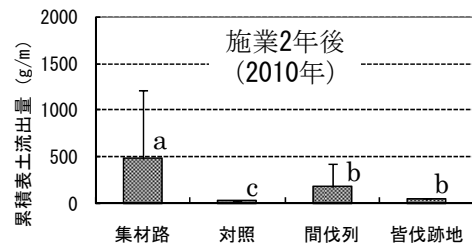
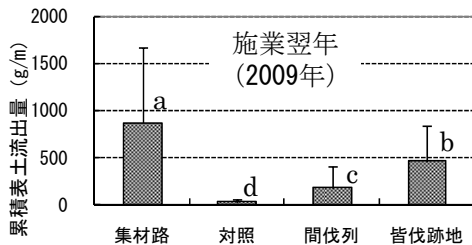


図-1 各処理区における表土流出量  
アルファベットの違いは統計的な差を示す。

トドマツ林冠の疎開後、前生樹の伸長成長が旺盛になり、林開の疎開が、混交林への誘導をより短期間で行うための有効な施業であることが示されました（図-2）。

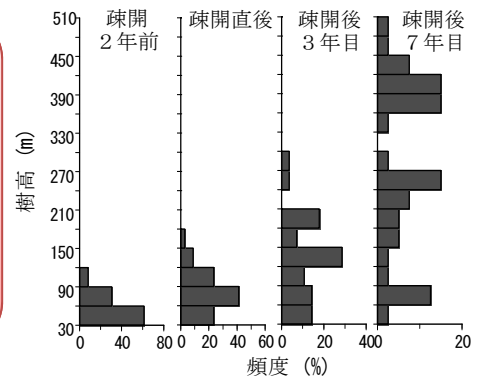


図-2 広葉樹稚樹の林冠疎開にともなう樹高の経年変化

種子の散布型によって異なりますが、広葉樹林に近い場所ほど種子の供給量は多く、実生更新が期待できます（図-3）。

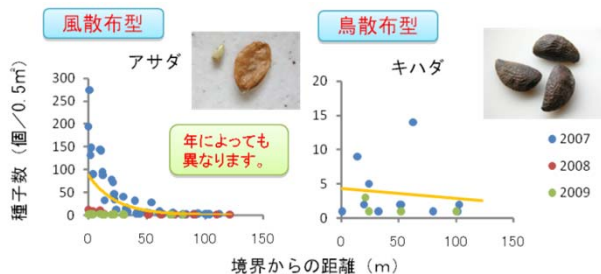


図-3 広葉樹林との境界からの距離と散布種子数との関係

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- 今博計（2010）その人工林は広葉樹林化できるのか？～北海道のカラマツ人工林とトドマツ人工林～，森林技術 817:19-23.
- 今博計（2010）北海道における広葉樹林化の可能性，森林科学 59:17-21.
- Akashi N. Unno A. and Terazawa K. (in press) Effects of deer abundance on broad-leaf tree seedling establishment in the understory of *Abies sachalinensis* plantations. J. For. Res.
- 長坂有・今博計・長坂晶子・棚橋生子・佐藤弘和（2011）森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響，日林北支論 59:137-140.

# カラマツ伐期延長促進事業

担当：森林資源部 経営G

協力機関：水産林務部林業木材課・森林環境局森林活用課（林業普及G・美唄普及指導員室）

研究期間：平成21年度～22年度

区分：経常研究

## 研究目的

カラマツの資源構成は、現状ではⅧ齢級（40年生）をピークとし、Ⅶ齢級（35年生）以下が少ない不均衡な状態にある。近年、道産材需要の高まりによりカラマツの皆伐面積が増加し、再造林が追いつかない状況となっており、カラマツ資源の保続に懸念が生じている。このため、一般民有林におけるカラマツの伐期延長を促進することにより、カラマツの皆伐時期を分散し、森林の公益的機能の急激な低下を防ぐとともに、資源構成の平準化や木材の安定供給に資する。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- ・約600本の立木の丸太断面（4000）データ
- ・継続試験地：68年生カラマツ人工林（新得町、道東支場）

調査項目や分析方法について

- ・樹幹解析データの解析
- ・胸高直径と樹高の測定
- ・年輪解析

## 研究成果

### 1. 高齢林分調査

- ・600本以上の立木、4,000以上の断面測定データを用いて、最大胸高直径56cm、樹高34mまで対応する新たなカラマツ細り表を作成した。
- ・新たな細り表の樹幹形状は、サイズの大きい個体において現行のものに比べて、若干、梢殺（うらごけ）となる傾向にあった。

\*細り表：立木の高さ方向にともなう直径の変化（幹曲線）を定量的に計算し、表にしたもの。

- ・継続観察しているカラマツ人工林では、いずれの林齢（32年、41年、58年）においても直径成長に対する間伐の効果が認められ、比較的、高齢な林分においても間伐の有効性が確認できた。

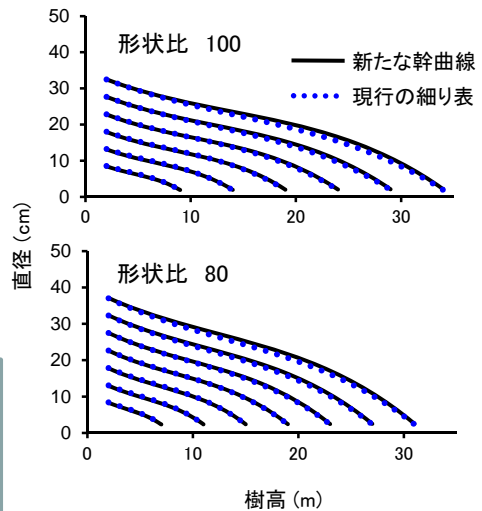


図-1 現行の細り表と幹曲線の比較

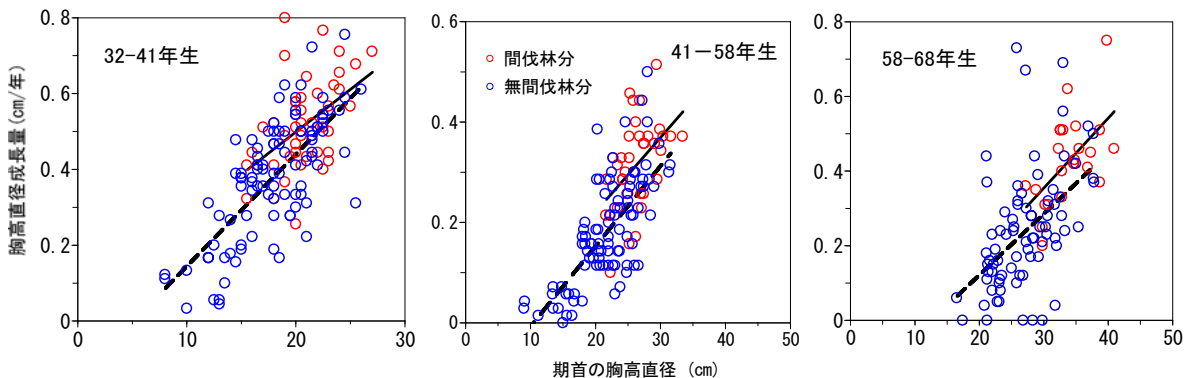


図-2 期首の胸高直径と胸高直径成長量との関係



- 68年生のカラマツを対象に年輪解析を行った結果、間伐林分、無間伐林分の個体とも、5年輪あたりの年輪幅が最も大きかった。
- 30年輪以降の年輪幅の推移のパターンは、間伐林分と無間伐林分との間で異なっていた。
- 無間伐林分では、年輪数とともに年輪幅が小さくなっていったのに対し、間伐林分では、明瞭な年輪幅の低下が認められなかった。

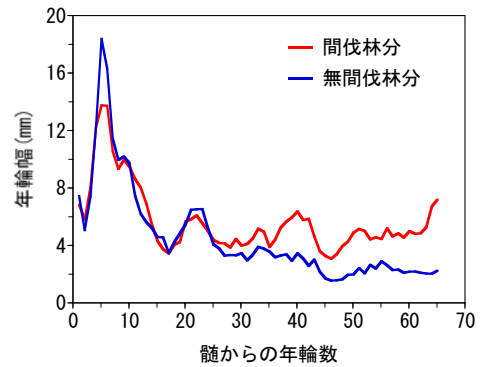


図-3 68年生カラマツの年輪幅の推移

- 年輪解析のデータを用いて、丸太断面における成熟材（髄から20年輪以降に形成された材）の面積割合を間伐林分と無間伐林分との間で比較した。
- どちらの林分も年輪数とともに、成熟材の面積割合（成熟材率）は増加していた。
- 30年輪における成熟材率は、林分間の差でほとんど差が認められなかったのに対し、間伐林分の60年輪の成熟材率は、無間伐林分に比べて10%大きかった。
- 伐期の延長と間伐による直径成長の促進は、成熟材率を増加させることから、強度の高い材の生産に貢献するものと考えられる。

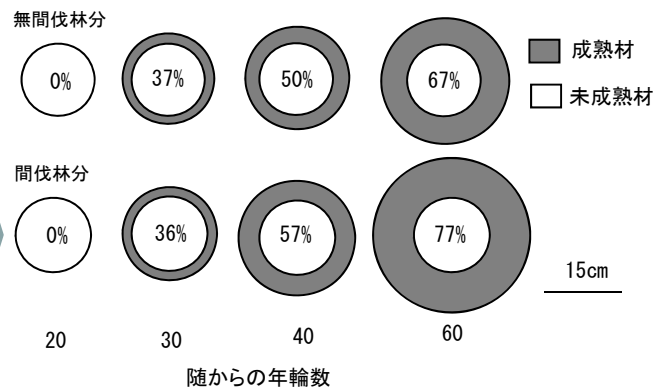


図-4 68年生カラマツの丸太断面における成熟材の面積比率の経年変化

円中の数値は成熟材の面積比率であり、20年輪以降に形成された材を成熟材としている。

- 幅15mの帯状伐採地に植栽された3年生のカラマツの樹高を測定した。
- カラマツの樹高は、帯状伐採地の場所によって異なり、残存人工林に近い所（伐採地の両端）の個体ほど樹高が低く、残存人工林からの距離が大きくなるとともに、樹高が大きくなった。

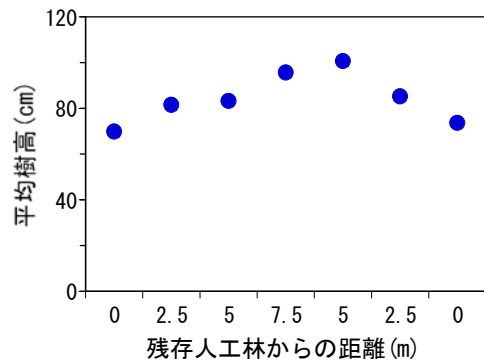


図-5 帯状伐採地に植栽された3年生カラマツの平均樹高

2. カラマツ伐期延長に向けた施業マニュアルの作成  
 長伐期施業導入を支援するためのマニュアルを作成するため、得られた結果に既存の研究成果を加え、伐期延長の長所・短所やカラマツ長伐期施業の導入における留意点（適否判定）などをとりまとめた。このマニュアルは、道水産林務部林業木材課が主管となり、発刊のための準備が進められている。

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- 山田健四ほか（2010）大径材に対応した北海道カラマツ細り表の作成。日林北支論 58：25-26

# 木質燃料ボイラーへの安定供給に向けた 林地残材供給可能量の試算

担当：森林資源部 経営G，森林環境部 環境G  
研究期間：平成22年度 区分：受託研究

## 研究目的

北海道水産林務部の補助を受けて日本製紙(株)が実施する施策「木質バイオマス安定供給事業」の一環として、日本製紙(株)所有の木質ボイラーへの林地残材の安定供給に向けた供給可能量の試算を行う。なお本事業では、国有林・民有林の管轄の違いや既存の木材流通の枠を超えた林地残材集荷・供給体制の構築を目標としている。

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- ・上川総合振興局管内23市町村
- ・国有林・道有林・民有林GISデータ
- ・民有林・道有林施業計画データ・国有林伐採計画データ、H20-21「林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業」現地調査データ

調査項目や分析方法について

- ・GISソフト、表計算ソフトを使用したデータの加工と作成
- ・傾斜・路網など現場条件と伐採材積に対する林地残材率を用いた林地残材供給可能量の導出

## 研究成果

### 1. 民有林・道有林・国有林GISの林分基礎データの作成

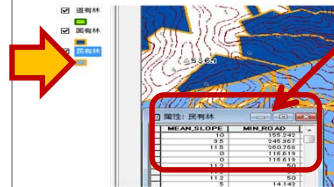
#### ◇林分基礎データ

森林GISデータの林小班属性情報に次のものを追加

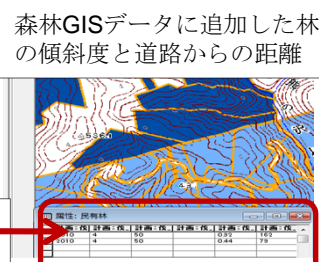
- ① 森林管理計画(施業計画など)：施業計画のデータを加工。年度・樹種毎の伐採面積・材積の算出に使用
- ② 林小班的道路からの最短距離：森林計画課作成林道データと国土地理院発行一般道データを結合した「森林道路データ」から作成。林小班的道路へのアクセスの難易度の判定に使用
- ③ 林小班内の平均傾斜度：国土数値情報(標高)から作成。林小班的機械作業の難易度の判定に使用



傾斜度 [左図]  
10mメッシュで作成。林小班内の傾斜度の平均値を小班属性データに追加。同様に、道路からの距離データも小班属性情報に追加。

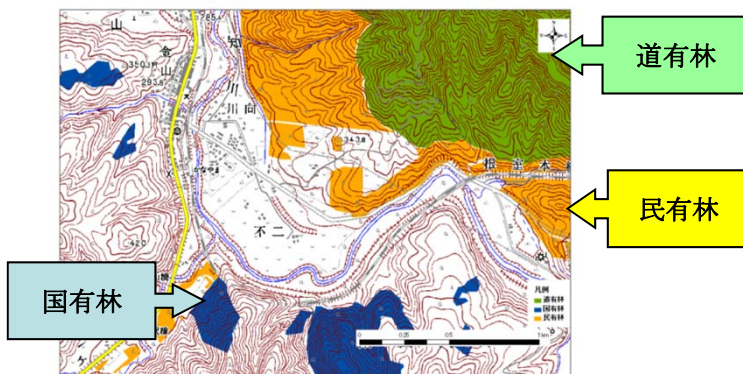


森林GISデータに追加した森林管理関係データ



森林GISデータに追加した林小班的傾斜度と道路からの距離

### 国有林・道有林・民有林データの市町村ごと一括表示



### 使用データ

- 北海道森林計画課作成データ  
民有林GISデータ、林道データ、民有林施業計画データ
- 北海道道有林課作成データ  
道有林GISデータ、道有林管理計画データ
- 林野庁作成データ  
国有林GISデータ、伐採計画データ
- 国土地理院発行データ  
国土数値情報(標高データDEM)、一般道データ

## 2. 作業条件を考慮した林地残材供給可能量の試算

◇1で作成した林分基礎データより、伐採実績・予定と傾斜や路網を考慮した**林地残材供給可能量**を**国・道・民有林の所管別に試算**(図-1)

- ① 2008年～2012年の伐採計画（道有林のみ2007年～2011年）に対し年度別に樹種ごとの伐採面積・材積を算出し主伐・利用間伐・切り捨て間伐ごとに集計
- ② 切り捨て間伐対象地は、道路からの距離（平均100m以内）と平均傾斜(15度以内)、1haあたり蓄積(50m<sup>3</sup>以上)を考慮し、供給可能な林小班を絞り込む
- ③ 林地残材率（\*重量ベースで0.29：図-2）と気乾重量(湿潤含水率25%)から年度別・市町村別の林地残材供給可能量を所管別に導出（図-1および図-3）→**年間合計3.7万t**

\*林地残材率は、H20-21の道委託事業「林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業」の現地調査結果を使用した(図-2 サンプルは全て全木集材、集材距離100m、林地残材は土場計測の絶乾重量)

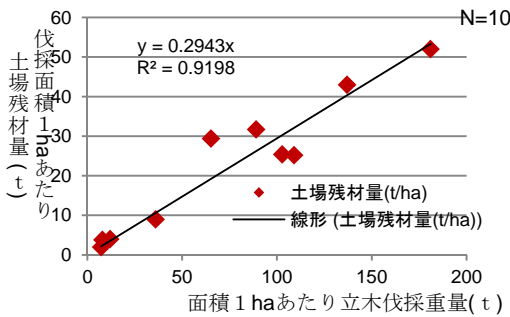


図-2 伐採材積(重量換算)と土場残材量の関係

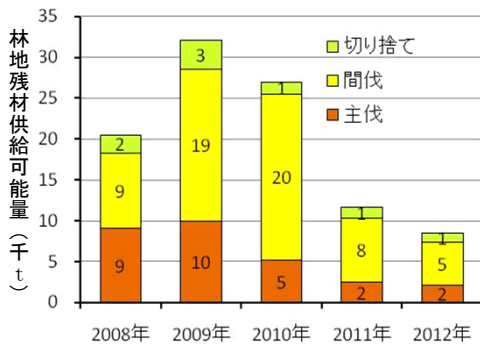


図-3 年度別林地残材供給可能量(民有林)

上川管内の年間林地残材需要量44,000tに対し国・道・民有林から100%集めたとしても足りない

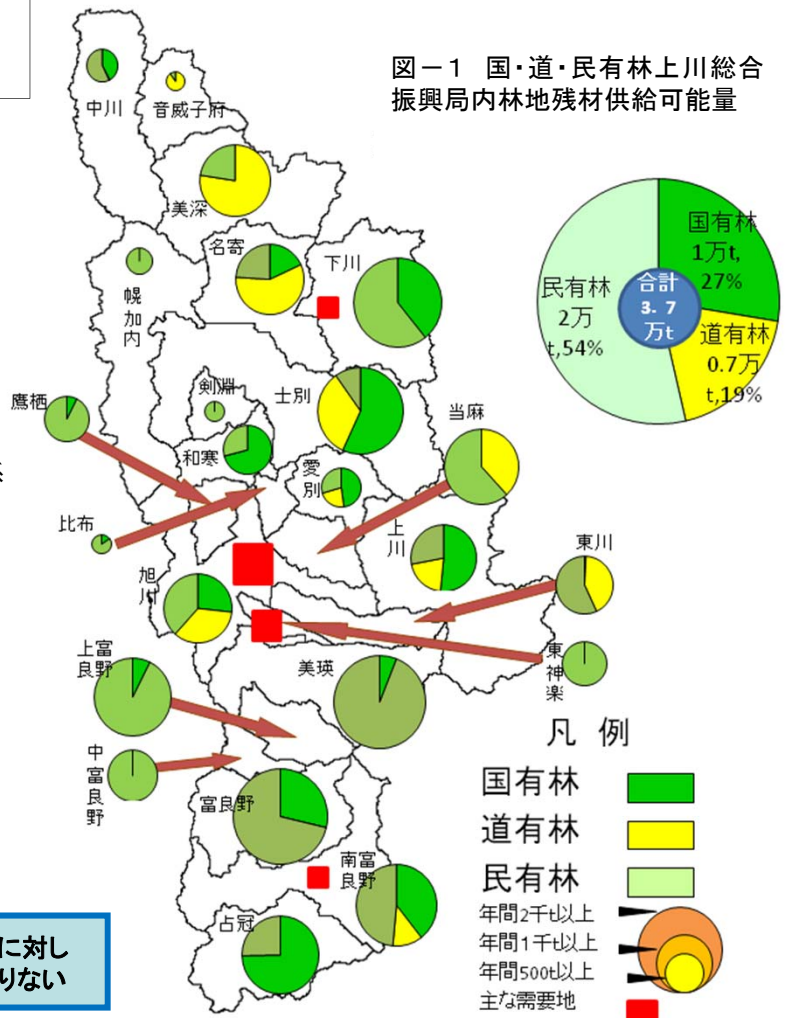
### 成果

- ① 国有林・道有林・民有林の伐採計画とGIS上の森林属性に傾斜や路網などの情報を加え一括表示を可能にした  
→**林地残材だけでなく用材生産の効率化につながる可能性**
- ② 伐採計画に基づいた、市町村別・樹種別・作業種別**林地残材供給可能量を試算**し、地域の需要とのバランスを示せた

### 今後の課題:

森林GISデータや森林管理計画データは個人情報を含む→取り扱いに注意が必要  
今回入手したデータからは、国有林・道有林の利用間伐と未利用間伐の区別ができず、民有林ほど厳密に試算できなかった  
→試算方法のさらなる検討が必要

図-1 国・道・民有林上川総合振興局内林地残材供給可能量



## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

## カラマツ類を用いた短伐期・低コスト林業システムの開発

担当：森林資源部 経営G

共同研究機関：住友林業フォレストサービス(株)

研究期間：平成21年度～25年度 区分：共同研究

### 研究目的

我が国の人工林の齢級構成に偏りがあり、資源の平準化を図るためには長伐期施業の導入が必要とされる。しかし、高い育林コストだけでなく長い伐期は、森林所有者の造林意欲の減退や採算性を低下させる。また、現在のカラマツの主要用途においては必ずしも大径木は必要なく、カラマツの標準伐期齢（30年）を短縮しても、植栽本数を減らすことで現在の用途を満たす径級の木材を生産できる可能性がある。さらに、現在ではカラマツとグイマツの雑種F1に低密度植栽に適した優良品種が登場している。本課題では短伐期・低コスト林業システムの開発を目的とし、短伐期・低コスト林業に適したカラマツ類の増殖方法及び造林方法を開発することを目的とする。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- ・東神楽町カラマツ類人工林
- ・グイマツ雑種F1さし木苗

調査等の目的について

- ・短伐期・低コスト林業に適したカラマツ類の増殖方法の検討
- ・短伐期・低コスト林業に適したカラマツ類の造林方法の検討

### 平成22年度の研究成果

- 1 短伐期・低コスト林業に適したカラマツ類の増殖方法の検討  
一年で成苗を得る目的で2009年12月にさし木用台木の育成を住友林業フォレストサービスの温室（愛媛県）で開始し、3月下旬～4月にさし木を実施した（写真－1）。
- 2 短伐期・低コスト林業に適したカラマツ類の造林方法の検討  
東神楽町に、カラマツ天然更新試験地、カラマツ、グイマツ雑種F1、クリーンラーチの植栽密度試験地（写真－2）を設定した。



写真－1 さし穂の採取状況



写真－2 植栽密度試験地での植栽状況

### 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- ・石濱宣夫（2011）東神楽町のカラマツ類新植造林地におけるマイマイガによる被害発生事例（2010年度）、日本森林学会北海道支部論文集 59：59-62

## 道内カラマツ資源の循環利用促進のための林業システムの開発

担当：森林資源部 経営G，道北支場，道東支場

共同研究機関：森林総合研究所，林産試験場

研究期間：平成19年度～22年度 区分：公募型研究（森林総研主管）

### 研究目的

これまでカラマツ人工林施業においては低コスト化，加工利用技術の向上等の取組がなされてきたが，それぞれ個別の目標の下に実施されてきたため，川上・川下一体型のシステムの確立には至っていない。そのため，立木・原木段階での強度性能の評価技術を確認し，用途（生産目標）に適した家系および効率的施業モデル（川上），カラマツの利用適性を踏まえた効率的利用モデル（川下）を提案するとともに，これらを合わせた収益性の高い林業システムを確立する。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

#### 調査地や材料について

- ・カラマツ人工林約3,000林分の成長データ
- ・カラマツ約600本の細りデータ
- ・カラマツ類検定林100家系の成長データ
- ・カラマツ人工林2林分間伐試験地データ

#### 調査項目や分析方法について

- ・施業タイプごとの収穫量・育林コストの比較検討
- ・建築用材に適した家系の選抜
- ・立地条件や生産目標に適した家系および効率的施業モデルの提示

### 研究成果

#### 1 施業タイプごとの収穫量・育林コストの比較検討

北海道のカラマツ人工林において，これまで不足していた高齢林の成長量や幹の細りなどのデータを整備し，樹高，直径，林分材積だけでなく，径級別立木および丸太本数や育林コストなどが評価可能なシステム収穫表（北海道版カラマツ収穫予測ソフト）を開発した（図-1）。システム収穫表のモデルの概要は以下である。地位指数曲線，収量-密度図などの作成のために，道内のカラマツ人工林約3千林分において樹高と直径を調査したデータを用いた。これらのデータから上層高，径級別立木本数などを予測した。林分材積成長量を予測するために，19林分で胸高直径を2～5年間隔で繰り返し調査したデータを用いた。これらのデータを用いて，胸高直径成長量をモデル化し林分材積成長量を算出した。幹の細りの評価のために，立木本数約600本を対象に，胸高直径，樹高，伐採断面ごとの断面高と断面の皮なし直径を測定したデータを用いた。これらのデータから相対幹曲線式を作成し，末口径別丸太本数を予測した。また，間伐試験地（41年生および69年生）において間伐により丸太や集成材用ラミナの強度が向上することを明らかにし，強度別ラミナ生産数予測モデルを開発した（図-2）。

#### 2 建築用材に適した家系の選抜

建築用材に適したグイマツ雑種 $F_1$ とカラマツそれぞれの優良家系を選抜した（図-3）。グイマツ雑種 $F_1$ 41家系とカラマツ58家系のヤング係数，幹曲がり，林分材積のほか，材のねじれの指標である平均繊維傾斜度，もう一つの材の強度である材密度を合わせた5つの形質を5段階評価した。その結果，グイマツ雑種 $F_1$ では，材積成長（ $380\text{m}^3/\text{ha}$ ），ヤング係数（13.4Gpa），幹曲がり（16.0%）に優れた母親家系（グイマツ雑種 $F_1$ 全体の平均に対してそれぞれ3.6%，2.3%，13.6%の改良効果）が選抜された。また，カラマツの母親として材積成長（ $452.4\text{m}^3/\text{ha}$ ）と幹曲がり（18.3%）に優れた家系（カラマツ全体の平均に対してそれぞれ15.7%，6.7%の改良効果），花粉親として材積成長（ $421\text{m}^3/\text{ha}$ ），ヤング係数（12.6Gpa）に優れた家系（それぞれ7.7%，9.1%の改良効果）などが選抜された。

#### 3 立地条件や生産目標に適した家系および効率的施業モデルの提示

カラマツ人工林における効率的施業モデルの例（40年伐期，地位指数22）を表1に整理し，従来のカラマツ人工林施業（2,500本/ha植栽，25%間伐）と収穫量（間伐木含む）や育林コストを比較した。これらの施業を導入すると育林コストが削減できるだけでなく，14cm未満の丸太材積は減少するもの，より材価の高い14cm以上の丸太材積，ラミナの生産数や強度も向上し，収益性の高い施業が可能になることをシミュレーションにより明らかにした。

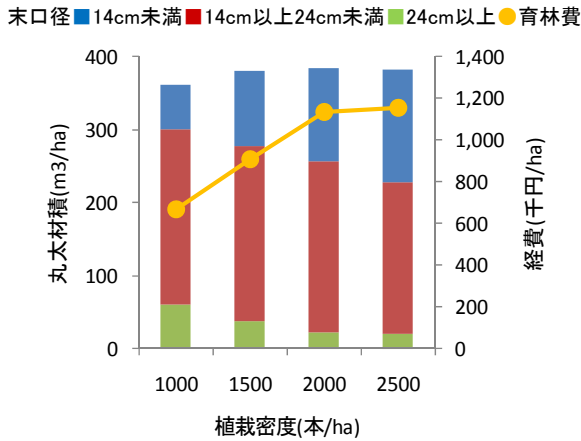


図-1 40年生カラマツ人工林（地位指数22）の素材生産量予測（間伐木含む）

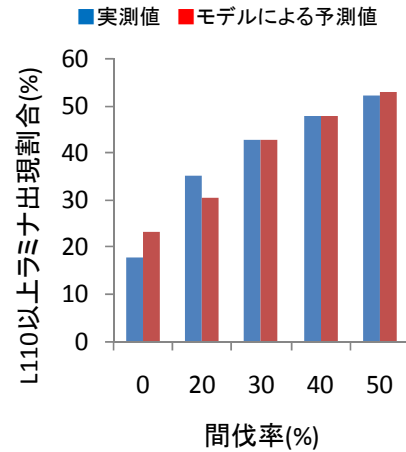
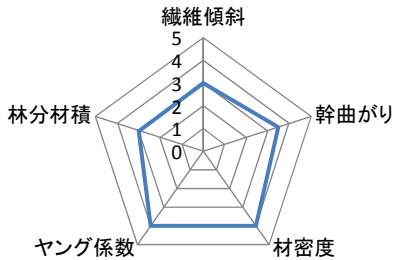
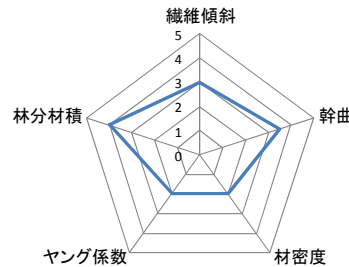


図-2 41年生間伐試験地における高強度ラミナの出現割合（主伐木のみ）ラミナ：JAS規格L110以上，115×36×3750mm

グイマツ精英樹G2が母親の場合



カラマツ精英樹L1が母親の場合



カラマツ精英樹L2が父親の場合

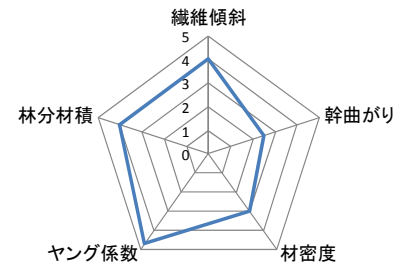


図-3 グイマツ雑種F<sub>1</sub>の母親（左）、カラマツの母親（中）、カラマツの父親（右）として優れている精英樹クローンを選抜した場合の、それらの子供家系（群）の特徴  
林分材積、ヤング係数、密度、幹曲がり、繊維傾斜を1から5の相対値で評価した。大きい数値が利用上優れていることを表す。G2、L1、L2は精英樹クローンを表す記号。精英樹とは林木の育種を進めるために外見的に成長や樹形が優れていると登録された木のことである。

表1 カラマツ人工林の効率的施業モデルの例(地位指数22,主伐40年)

施業内容	対象林分	植栽密度 (本/ha)	材積間伐率 (%)	通常施業との比較	
				収穫量(丸太、製材)	育林コスト
低密度植栽	新規植栽林分	カラマツ	30-35	14cm未満 30-60%減	20-40%減
		1,500-2,000 グイマツ雑種F <sub>1</sub> 1,000-1,500		14cm以上 20-30%増 ラミナ数20-50%増	
若齢時強度間伐	既存林分 低密度植栽不適林分	2,000-2,500	初回40-50 2回目以降 30-35	14cm未満 15-20%減 14cm以上 5-10%増 ラミナ数15%増	15-30%減
間伐率向上	低密度植栽不適林分 強度間伐不適林分	2,000-2,500	30-35	14cm未満 10%減 14cm以上 20%増 ラミナ数5%増	15%減

通常施業：植栽密度2,500本/ha、間伐率25% ラミナ：115×36×3750mm

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- 滝谷美香、小山浩正、梅木清、八坂通泰、大野泰之、渡辺一郎、寺澤和彦（2010） The effects of early and intense pruning on light penetration, tree growth and epicormic shoot dynamics in a young hybrid larch stand. Journal of Forest Research 15: 149-160
- 八坂通泰・滝谷美香・山田健四（2011）システム収穫表「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」の開発。道総研林業試験場研報 48: 65-74
- 山田健四、八坂通泰、大野泰之、中川昌彦（2009）低密度植栽後24年間のグイマツ雑種F<sub>1</sub>の成長。日本森林学会北海道支部論文集 57: 85-87
- 市村康裕、来田和人、内山和子、黒丸亮（2008）31年生グイマツ雑種F<sub>1</sub>における交配親としてのカラマツの遺伝特性。日本森林学会北海道支部論文集、56: 51-53

## 低コスト育林高度化事業

担当：森林資源部 経営G

委託元：社団法人林業機械化協会

研究期間：平成20年度～22年度

区分：受託研究

### 研究目的

大型地拵え機械による地拵え作業の効率化について明らかにするとともに、この機械を用いたことによる、植栽、下刈り作業への影響などについて明らかにする。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地：美瑛町、京極町 植栽樹種：カラマツ1号苗  
 植栽前の地拵え方法  
 ・ブラッシュカッター（DAH-100）：刈り払い  
 ・レーキ+ブラッシュカッター（DAH-100）：枝条整理、刈り払い  
 ・レーキ+刈り払い機：枝条整理、刈り払い  
 ・バケット：地剥ぎ

調査方法  
 ・地拵え工程の調査  
 （時間観測、作業面積測量）  
 ・地拵えコスト試算  
 （聞き取り、コストシミュレーション）  
 ・植栽工程の調査  
 （時間観測、土壌貫入試験）

\* 工期：単位あたりの仕事のはかどり具合を示す指標。ここでは、面積（ha）あたりで表している。

### 研究成果

#### 1. 地拵え機械の作業工期

大型地拵え機械の作業工期は、林地条件によって変わるが、平均的には下記の表の結果となった。これらの数値は、良い作業条件下での肩掛け式刈り払い機による作業工期（0.06ha/日）をいずれも大きく上回る。

表-1 地拵え方法（機械）の作業工期

\* 1日の稼働時間は6時間

地拵え方法	作業機械	斜度	植生型	作業（ha/日）
刈り払い型	ブラッシュカッター （DAH-100） （写真-1）	9～25度	クマイザ、草本	0.40
レーキ型	グラップルローダ +自作レーキ （写真-2）	10度	クマイザ	0.50
全剥型	バケット	10度	クマイザ	0.57



写真-1 ブラッシュカッター（DAH-100）



写真-2 グラップルローダ+レーキ

## 2. 地拵え機械のコスト試算

大型機械による地拵え作業は、通常行われている肩掛け式刈り払い機による作業よりも工期が高い反面、機械が高価である。そのため、コストシミュレーションを行い、低コスト化に必要な年間作業面積を計算した(図-1)。試算条件に用いた作業工期値は、ブラッシュカッター(DAH-100)は0.4ha/日、グラップルローダ+レーキは0.5 ha/日、バケット(油圧ショベル)は0.57 ha/日、肩掛け式刈り払い機(STIHL FS200)は0.06 ha/日である。

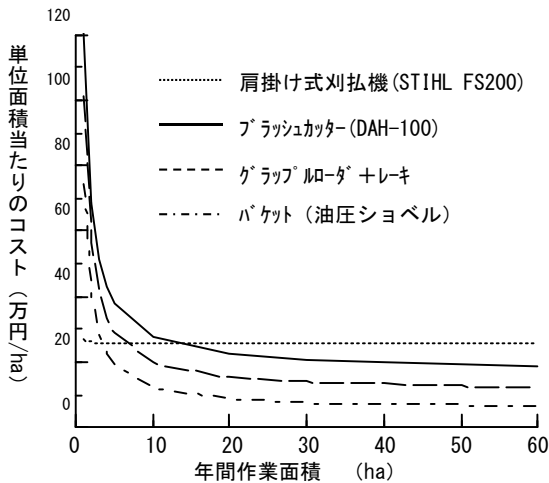


図-1 年間作業面積と単位面積あたりのコストの関係

表-1 単位面積あたりの地拵えコストの比較  
(年間作業面積20haの場合)

ブラッシュカッター (DAH-100)		222千円/ha
グラップルローダ+レーキ, 補正刈り	172 + 50 =	222千円/ha
バケット, 補正刈り	89 + 50 =	139千円/ha
肩掛け式刈り払い機		255千円/ha

試算結果について、大型機械は標準価格で計算し、実際の運用状況より高めに算定した。

一方、肩掛け式刈り払い機については、良好な作業条件下での作業工期値を使い、かつ刈り払い物を除ける作業およびトンボ立てなどの付帯作業を除き、安めに算定した。

その結果、大型機械による地拵え作業の低コスト化効果を引き出すためには年間20ha以上の作業面積が必要であることを明らかにした。

ただし、「グラップルローダ+レーキ」と「バケット」については、補正刈り作業も付随するため、これを含めて試算する必要がある(表-1)。

いずれも肩掛け式刈り払い機よりも低コストとなった。「ブラッシュカッター」と「グラップルローダ+レーキ, 補正刈り」のコストは、ほぼ同コストである。ただし、同コストでも作業時間は「ブラッシュカッター」の方が補正刈りが必要無い分だけ早く、省力化が図れる。

残材など障害物が林地に少ない場合は、「ブラッシュカッター」を用いるというように林地条件によって使い分けるとよいと考えられる。「バケット」については、コストは最安であるが、土壌を露出させるため、傾斜地を避けるなど慎重に条件を検討する必要がある。

## 3. 植栽工期への影響

地拵え方法別に、植栽工期と作業内容を要素分析した(図-2)。

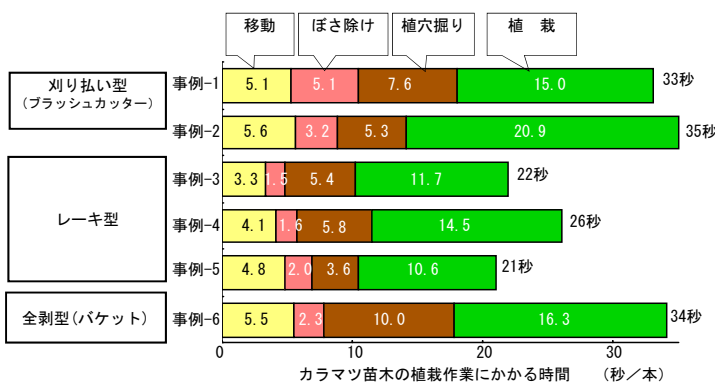


図-2 地拵え方法別に見た植栽工期の作業要素分析

刈り払い型(事例1,2)では「ぼさ除け」に割く時間が、他の地拵え方法の場合よりも多く、ブラッシュカッター作業で発生する刈り払い堆積物が植栽工期に影響を与えていることが明らかとなった。

また、全剥型(事例-6)では「植穴掘り」に割く時間が多く、これは土壌硬度が他の地拵え方法よりも硬かったことが影響したものと考えられる。

一方、レーキ型(事例3,4,5)では「ぼさ除け」「植穴掘り」に加えて「植栽」についても他の地拵え方法と比べ、同等かそれ以下の時間であったことが最も良い植栽工期になった要因と考えられる。

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- ・渡辺一郎（2010）大型機械による地拵え作業と植栽工期に与える影響，機械化林業 684：23-28
- ・渡辺一郎（2010）機械地拵え作業の違いが植栽工期に与える影響，第59回日林北支部会（ポスター発表）



## 先進林業機械導入・改良事業のための実証試験

担当：森林資源部 経営G  
 委託元：佐藤木材工業株式会社  
 研究期間：平成22年度 区分：受託研究

### 研究目的

新たに海外より導入された林業機械（PONSSE社製ハーベスタ“BEAVER”）と既に導入されている欧州型のフォワーダ（Welte社製“W130”）を組み合わせた北欧型のハーベスタ・フォワーダ作業システムの実証試験を行い、生産性や残存木、林地環境への影響を明らかにし、本機械導入の適用性を検討する。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地：西興部村

- ・調査林分：トドマツ人工林51年生
- ・作業方法：林内走行型作業システム
- ・作業機械：ハーベスタ（PONSSE BEAVER）  
 フォワーダ（WELTE W130）

調査方法

- ・作業機械の功程調査（時間観測，出材量）
- ・環境影響の調査（損傷木調査）

### 研究成果

#### ○調査対象機械



写真-1 新たに導入されたハーベスタ



写真-2 既導入のフォワーダ

新たに導入されたフィンランド製ハーベスタ（写真-1）は、走行方法がホイールであること、クレーンが前方に付いているという特徴がある。既導入のドイツ製フォワーダ（写真-2）との連携により欧州型のハーベスタ・フォワーダ作業システムを実現した。

#### ○作業システムの生産性

表-1 新たに導入された機械による生産性

工程	伐木・枝払い・玉切り	集材・巻立て	システム生産性	労働生産性
作業機械	ハーベスタ	フォワーダ	(m <sup>3</sup> /時)	(m <sup>3</sup> /人日)
生産性	28.6	10.9	7.9	23.7

\* システム生産性の計算方法：1 / (1/28.6 + 1/10.9)

\* 労働生産性の計算方法：7.9 × 6（時間） / 2（人）

労働生産性は従来方式の2.5倍以上となった。ハーベスタの生産性に対して、フォワーダの生産性が低いため、バランスをとるためには、フォワーダを2台組み込むか、より生産性の高いフォワーダの導入が必要となる。

# ポスト・クリーンラーチ時代に向けたグイマツ育種材料の拡充

担当：森林資源部 経営G

研究期間：平成22年度～24年度

区分：経常研究

## 研究目的

林業試験場ではこれまでにグイマツ第一世代精英樹\*から材質や炭素固定能が優れたグイマツ雑種F<sub>1</sub>品種「クリーンラーチ」などを開発してきた。一方、カラマツ伐採跡地の増加や温室効果ガス削減対策から、収益性と炭素固定能により優れた品種の開発が望まれている。この間、優れたグイマツ精英樹同士をかけ合わせた次代検定林を造成し、より形質の優れた精英樹（第二世代）の選抜の準備を行い、評価適期を迎えた。雑種生産を目的とした樹種における第二世代精英樹の選抜方法を確立するとともに 第一世代精英樹よりも成長や幹の通直性、材密度が優れた第二世代精英樹を選抜する。

\*未選抜の人工林や天然林から成長や樹形で選んだ精英樹

## 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

- ・グイマツ×グイマツ次代検定林（三笠市）
- ・人工交配44家系

調査項目や分析方法について

- ・樹高、胸高直径
- ・矢高（幹曲がり）
- ・ピロディン陥入量（材の密度の指標、陥入量が小さいほど、材の密度が高い）

## 平成22年度の研究成果

表-1 選抜前と選抜後の平均値と選抜候補個体の交配親のクローン数

形質	選抜前			選抜後		選抜差
	平均値a	標準偏差		平均値b	標準偏差	
材積(m <sup>3</sup> )	0.079	0.028	選抜基準1	0.097	0.014	0.018
			選抜基準2	0.112	0.022	0.034
1/ピロディン陥入量(1/mm)	0.0418	0.0033	選抜基準1	0.0449	0.0016	0.0031
			選抜基準2	0.0428	0.0027	0.0009
矢高(cm)	3.28	1.85	選抜基準1	1.82	0.40	-1.46
			選抜基準2	2.18	0.96	-1.10
選抜候補の個体数と親のクローン数			家系数	母親	父親	
			選抜基準1	19	4	5
			選抜基準2	18	9	6

基準1: 材積上位40%、ピロディン上位30%、矢高上位30%のすべてを満たす個体

基準2: 母親ごとに父親が重ならないように2個体選ぶ

材積、ピロディン陥入量、矢高のすべてを基準として選抜した基準1では選抜前の平均値に対する改良割合(b-a)/aはそれぞれ23、7、45%であった（表-1、図-1）。

一方、家系を考慮した基準2では、改善割合が低下するが、選抜個体の遺伝的多様性が増加した。

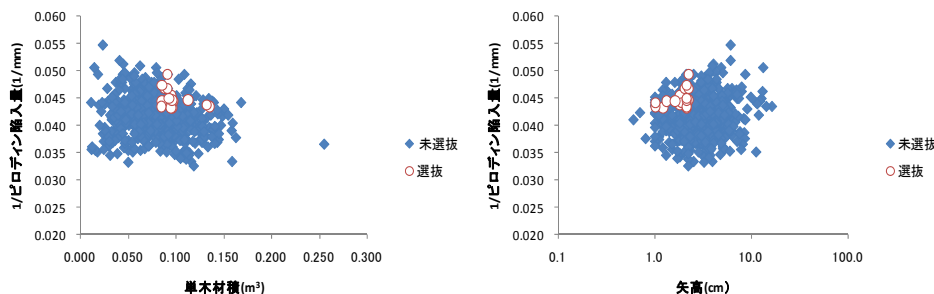


図-1 個体別単木材積、ピロディン陥入量、矢高の関係と単木材積上位40%、ピロディン陥入量上位30%、矢高上位30%の基準で選抜した場合の選抜個体と未選抜個体の差

## 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

## 森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発

担当：森林資源部 経営G、道東支場、道北支場

主管：森林総合研究所

研究期間：平成22年度～26年度

区分：公募型研究

### 研究目的

森林総合研究所が2009年に開発した森林炭素循環モデルに基づき森林炭素・窒素循環モデルや森林資源の広域評価手法の開発など、モデルの精緻化と適用の拡大を狙った開発を通して、森林・林業・木材生産による炭素量変化の将来予測とその地理的分布を表す新たな統合モデルを開発し、温暖化緩和をもたらす森林・林業・木材利用の最適な施策を提案する手法を開発する。北海道では炭素固定能の高いグイマツ雑種F<sub>1</sub>品種「クリーンラーチ」の林分成長、生理生態特性の環境適応性を明らかにするとともにさし木による大量苗木生産技術を確立し、二酸化炭素削減機能向上の効果を予測する。

### 研究方法（調査地概要や調査方法）

調査地や材料について

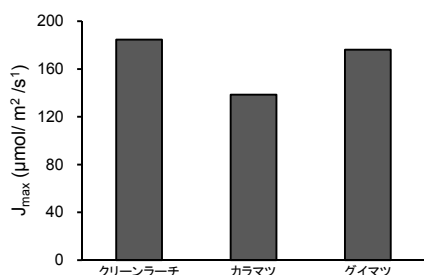
- ・グイマツ雑種F<sub>1</sub>、カラマツ類の試験地11地域22か所
- ・クリーンラーチ、カラマツ、グイマツ苗木
- ・クリーンラーチさし木

調査項目や分析方法について

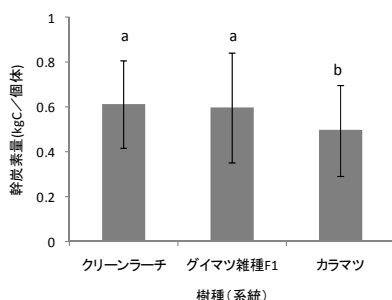
- ・成長量調査、乾燥重量測定
- ・光合成測定
- ・さし木ペーパーポットの改良と土詰工程機械化

### 平成22年度の研究成果

#### ①炭素固定能の高い品種の林分の成長特性・生理生態特性の解明（H22-26）



$J_{max}$ は、葉内の二酸化炭素濃度が高くなり、光合成速度が最大になったときの光合成能力を表す指標で、クリーンラーチ、グイマツ、カラマツの順で高かった。葉内二酸化炭素濃度が低いときの光合成能力を表す $V_{cmax}$ も同じ結果であった。



道内11地域22箇所の5年生炭素貯蔵量を推定したところクリーンラーチが高かった

#### ②炭素吸収源の拡大のための挿し木苗木大規模生産システムの開発（H22-H26）



水稲用土詰め機を使用できるように改良型ペーパーポットを製作した。  
（協力：ニッテン）

用語解説 グイマツ雑種F<sub>1</sub>：グイマツとカラマツの一代雑種

クリーンラーチ：グイマツ雑種F<sub>1</sub>の中でも炭素固定能が高い系統で林業試験場と林産試験場が開発した

### 研究成果の公表（文献紹介や特許など）

- ・宇都木玄・黒丸亮ほか（2011）クリーンラーチ（グイマツ雑種F<sub>1</sub>）の初期成長と被陰の影響，日林北支論59：13-15
- ・来田和人ほか（2011）気象要因が炭素固定の高いグイマツ雑種F<sub>1</sub>家系の成長に与える影響，第122回日本森林学会大会（ポスター発表）