



森林総合研究所四国支所

公開講演会要旨集

ともに考えよう！ 豪雨・急傾斜地に適した 森づくりと伐出システム



2014 年 10 月 17 日（金） 高知会館 飛鳥

主催：独立行政法人 森林総合研究所四国支所

後援：四国森林管理局、高知県、高知県森林組合連合会、高知新聞社、RKC 高知放送局、NHK 高知放送局、KUTV テレビ高知、KSS さんさんテレビ

ともに考えよう！ 豪雨・急傾斜地に適した森づくりと伐出システム

日時：平成 26 年 10 月 17 日（金） 13:00 ～ 17:00

場所：高知会館 飛鳥（高知県高知市本町 5-6-42）

- | | | | |
|---------------|---|---------------------|----|
| 13:00 ～ 13:05 | 開会挨拶 | 外崎真理雄（森林総合研究所四国支所長） | |
| 13:05 ～ 15:30 | 【講演】 | | |
| 13:05 ～ 13:30 | 急傾斜地における森林管理を考えるー表土保全の観点からー
酒井寿夫（森林総合研究所四国支所 森林生態系変動研究グループ） | | 1 |
| 13:30 ～ 13:55 | 地域林業を持続可能にするための人工林施業を考える
宮本和樹（森林総合研究所四国支所 森林生態系変動研究グループ） | | 3 |
| 13:55 ～ 14:20 | 高知県香美森林組合に導入されたタワーヤーダの概要について
山崎敏彦（高知県立森林技術センター 森林経営課） | | 5 |
| 14:20 ～ 14:45 | 豪雨・急傾斜地に対応した低コスト型作業システムの構築
田中良明（森林総合研究所 林業工学研究領域） | | 7 |
| 14:45 ～ 15:10 | タワーヤーダ等の重荷重の車両が走行する作業道における工法と路体構造
後藤純一（高知大学教育研究部 自然科学系農学部門教授） | | 9 |
| 15:10 ～ 15:35 | シミュレーションで探るこれからの山づくり
光田 靖（宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科准教授） | | 11 |
| 15:35 ～ 15:45 | <休憩> | | |
| 15:45 ～ 16:55 | 【パネルディスカッション】
コーディネーター 清野嘉之（森林総合研究所 研究 COD）
パネリスト 福田真苗（土佐林業クラブ会長）、
半田州甫（（株）とされいほく副社長）
長谷川尚史（京都大学フィールド科学教育センター准教授）、
講演者 6 名 | | |
| 司会・進行 | 森林総合研究所四国支所 産学官連携推進調整監 | | |
| 16:55 | 閉会挨拶 | 木口 実（森林総合研究所研究 COD） | |

急傾斜地における森林管理を考えるー表土保全の観点からー

酒井寿夫（森林総合研究所四国支所 森林生態系変動研究グループ）

はじめに

ヒノキ人工林は他の樹種の人工林に比べて急傾斜地ほど表土が移動しやすいことが知られている。一般に森林土壌は下層植生や堆積有機物層によって雨滴の衝撃から守られているが、ヒノキ林においては間伐が行われる 20 年生くらいまでは林内がとても暗く、林床植生が発達しにくいことや、落葉が細片化しやすいために表土と混ざりやすく、堆積有機物層が発達しにくいので表土が移動しやすいと考えられている。このためヒノキ林では間伐をしっかりと行って林床植生を繁茂させることが表土保全のために良いとされている。実際に、立木本数の多い若い人工林や間伐が遅れた人工林では、スギ・ヒノキにかかわらず、林床植生がほとんど無いか、あってもまばらにしか存在しない場合が多い。しかもヒノキ林では堆積有機物が厚く堆積せず表土が露出している場合も少なからず見られることから、これが一般の人の目にも留まりやすく、とくに間伐遅れのヒノキ人工林がとても荒廃しているという印象をより強く持たれる原因になっている。

それでは人工林の土壌は、現在、どのような状態になっているのだろうか？ 既往の研究からは、確かにヒノキ人工林の表土移動量は他の樹種に比べて大きいといえるだろう。しかし、それは本当に林業の持続性を脅かすほどの大きな影響となっているのだろうか。また長伐期施業は土壌の保全にはとても良いと考えられているが、その効果はどの程度だろうか？ 私たちの研究グループでは、これらの問いに答えるために、これまで、主に高知県のさまざまな林齢・傾斜に成育するスギ林（29 カ所）・ヒノキ林（45 カ所）において堆積有機物量と土壌断面の調査を行ってきた（2014 年 5 月 1 日時点）。ここでは、これまでの解析結果を示すとともに、急傾斜地における森林管理について、表土保全の立場から考えてみたい。

ヒノキ林とスギ林の堆積有機物について

図 1 に各人工林における斜面傾斜ごとの堆積有機物量を示した。堆積有機物量はヒノキ林の方がスギ林に比べて明らかに少なかった ($p<0.01$)。また統計的には有意で無かったが、両林分とも急傾斜地で堆積有機物が少なくなる傾向が見られた。

堆積有機物量は乾重にして 5t/ha 以上あると表土への雨滴影響をかなり軽減できるといわれている。ヒノキ林はこの 5t/ha を下回っている調査地点が全体の半分以上となる 24 カ所で見られ、スギ林の 4 地点と比べて明らかに多く、ヒノキ林ではスギ林に比べて表土移動が起きやすい条件にあると考えられた。

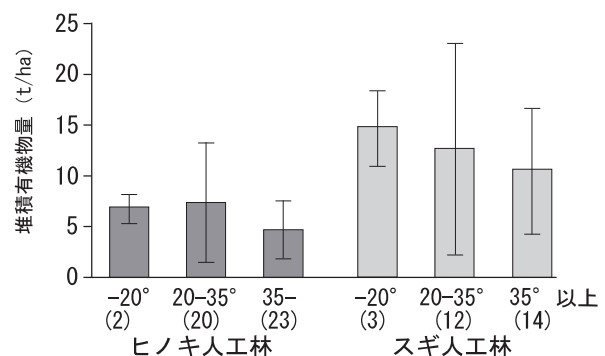


図 1 斜面傾斜と堆積有機物量（乾重）

急傾斜が表層土壌に及ぼす影響について

一般に、安定した林地では、土壌は微生物の力を借りて落葉落枝と混ざりあうことで、

ゆっくりと時間をかけて多くの有機物を含むようになる。しかし、そこが表土移動などの攪乱が常に加わるような場所だとすると、土壌有機物の貯まる速度や量に負の影響があると考えられる。そこで、ここでは土壌有機物量（炭素量）を指標にして、斜面傾斜が表層土壌（ここでは 0-30cm）に及ぼす影響について検討した。

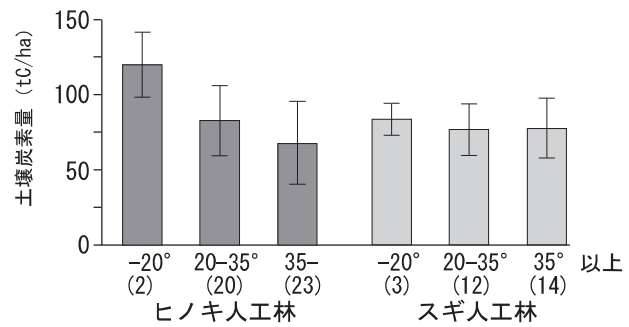


図2 傾斜と表層土壌（0-30cm）の炭素量の関係

まず図2に斜面傾斜階ごとの表層土壌の炭素量（t/ha）を示した。スギ林では傾斜度に関わらず表層土壌の炭素量は 78.0 tC/ha 前後で、大きな違いがなかったのに対し、ヒノキ林では傾斜が大きくなるほど表土の炭素量は明らかに小さくなった。急傾斜地のヒノキ林では表土の移動量が大きいといわれているが、その影響がごく普通の土壌調査によって検出できるレベルで顕在化していると考えられた。ただしヒノキ林では傾斜が 35°以上であっても土壌炭素量が驚くほど低くなっているわけではなく（平均値で 68.0 tC/ha）、影響の度合いはそれほど大きなものではないと考えられた。一方、スギ林は 35°以上の急斜面でも土壌炭素量が小さくならなかった。その理由の一つとしては、スギ林ではほとんどの調査地において堆積有機物量が 5t/ha（表土への雨滴影響をかなり軽減できるとされる値）を上回っており、堆積有機物による表土保全効果が発揮されたものと考えられた。

次に図3に林齢と表層土壌の炭素量の関係を示した。スギ林では林齢との間にほとんど関係は見られず、表層土壌の炭素量はほぼ同じだった。一方、ヒノキ林では、傾斜の影響なども考慮して解析した結果、高齢林ほど土壌炭素量が多くなっていた（ $p<0.01$ ）。この理由は恐らく「はじめに」でも述べたように、ヒノキの落葉は細くなりやすく土壌に入りやすいという特性が影響しているものと考えられる。このようにヒノキ人工林の土壌は、スギ林のそれに比べて、傾斜（表土移動）や林齢（土壌有機物量の回復）の影響を受けやすく、表層土壌の有機物量のばらつきがより大きくなっていると考えられた。

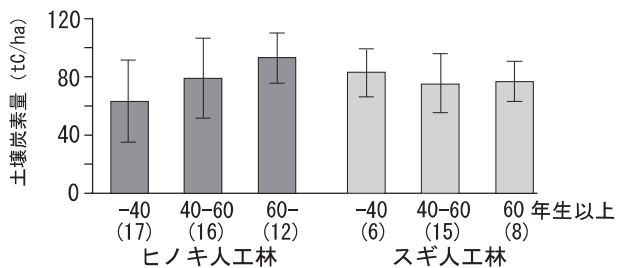


図3 林齢と表層土壌（0-30cm）の炭素量の関係

本研究の結果から、表土保全の観点からは、急傾斜地をヒノキ人工林として利用することはなるべく避けるか、利用するにしても適切な間伐を入れて林床植生を増やすなど表土保全に配慮した施業を行うことが望ましいといえるだろう。また、ヒノキ林における長伐期施業は表土の有機物量の回復という点では有効な施業方法の一つとなると考えられた。さらに今回の調査から見出されたもう一つの重要な点は、たとえ急斜面のヒノキ林であっても林業の継続が大きく懸念されるほど表土が流亡してしまっているような林分はほとんど見られなかったということである。このことは 35°以上の急斜面のヒノキ林でも表層土壌には平均値として 68tC/ha の炭素（有機物）が貯留していたことからもうかがえる。さらに表層土壌の炭素量が極端に少ないヒノキ林分（< 40tC/ha）が実際には急傾斜地の 5カ所であり、その中で成長が著しく遅かった場所が 1カ所だけであったことを考慮すると、表土保全を意識しなければならない立地条件は、ある程度、限定された場所に絞られると考えられた。

地域林業を持続可能にするための人工林施業を考える

宮本和樹（森林総合研究所四国支所 森林生態系変動研究グループ）

はじめに

植栽から約 50 年以上が経過したいわゆる高齢級人工林が増加する中、費用やシカの問題から皆伐・再造林の実施が困難なことを背景に、なしくずし的に人工林が長伐期化に向かっているという状況にある。そのため、将来へ向けて健全に人工林を管理してゆくために適切な施業の手法が求められている。「森林・林業再生プラン」において 2010 年にドイツ・オーストリアのフォレスターが指導した将来木施業は、目標とする幹の大きさとその時の本数を明確に決め、その本数が均等に配置されるように幹が大きく枝葉の部分も大きな木を将来木として選ぶというものであった。また、将来木の周囲にあって成長を妨げる大きな木から優先的に間伐し、それ以外の木は基本的に間伐しないことなどを特徴としている。日本の人工林に対する将来木施業の適用については、日本の気候や立地条件、樹種の特性等の観点からさまざまな議論があるが、今後の長伐期施業を考える上でのひとつのきっかけとなったことは確かであろう。

長伐期施業では、植栽木が気象害や病虫害など自然災害のリスクに長くさらされることになる。このことから 1 本 1 本の木の形質に着目し、どの木を残すかを判断するという「個体管理」の考え方が重要となってくる。将来木施業でも同様であるが、吉野地方など日本で従来から見られる長伐期施業においても「残す木」を選ぶために必要な基準として、幹の大きさや通直性、枝葉のついている部分（樹冠）の大きさ、根の張り具合などとともに、植栽木どうしの間隔（配置）が挙げられている。植栽木の間隔については長年の経験による基準であることが多く、植栽木の成長がどの範囲の他の個体にまで影響を受けているのかについてデータに基づく検証は十分に行われていなかった。数少ない事例のうち秋田スギ高齢林の研究では、植栽木どうして光や水、養分などの資源をめぐる競争が及ぶ範囲は、およそ植栽木を中心とする半径 8 m の円で示される範囲であった報告されている。しかし、四国地方のような急傾斜地のスギ、ヒノキの高齢林や過密林でも秋田スギと同じような競争状態となっているのかは不明である。今回は、四国地方のスギ、ヒノキ人工林を対象に長伐期施業における「残す木」の成長が影響を受ける他の個体の範囲を示し、四国地方における人工林施業を考える上でのヒントにしてみたい。

調査地と方法

調査地は、魚梁瀬千本山人工林試験地（2013 年時点で 91 年生）のスギとヒノキ人工林および香美市香北町「不伐の森」（2013 年時点で 44 年生）のスギ人工林である。魚梁瀬千本山では 1976 年にスギ、1986 年にはヒノキの間伐試験地が設置され、定期的に搬出間伐（小さい木から伐る下層間伐）と毎木調査が行われてきた。不伐の森は 2010 年に「森林・林業再生プラン実践事業」の一環で設置され、将来木施業をスギ人工林で実施し、その後の成長を観測することを目的として試験的に選木と間伐が行われた場所である。

植栽木どうしが光や水、養分などの資源をめぐる競争をしている範囲の評価を行うにあたり、ここでは競争が生じている範囲のことを「競合範囲」と呼ぶことにする。競合範囲は、対

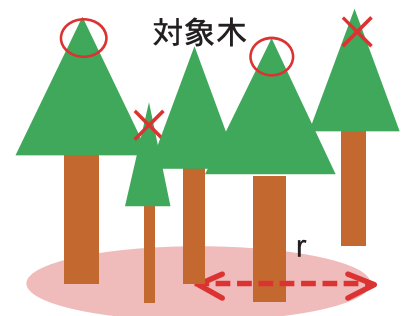


図 1 対象木周囲 r m 以内の範囲において、より大きい他個体 (○) を競争相手にした場合のイメージ

象となる個体の周囲の半径 r (m) の円で表す (図 1)。このとき競争相手として、(1) 競合範囲内のすべての他個体および (2) 競合範囲内で対象木よりも直径が大きい他個体の 2 つの場合を想定した。

主な結果

競争相手として、対象木よりも直径が大きい他個体のみを想定した場合の方が、周囲のすべての他個体を想定した場合とくらべて間伐後の成長との関係が強かった。これは、競争において大きい個体が小さい個体に対して有利となる関係 (一方向的な競争関係) が成り立っていることを示している。

魚梁瀬千本山スギ林では、54 年生時から林齢が上がるにつれて競合範囲が大きくなる傾向がみられたが、2013 年 (91 年生) 時に生存している木 (「残す木」) に着目した場合、74-91 年生時の競合範囲は、54-64 年生時の競合範囲と変わらなかった。また、「残す木」の競合範囲 (11 m) はそれ以外の木 (91 年生時までの間伐木や枯死木) の競合範囲 (6 m) と比べて大きかった。一方、ヒノキ林はスギ林と比べて傾向があまりはっきりしなかった。競合範囲はスギと同程度あるいは明確な競合範囲がみとめられなかった場合もあった。また、残す木の競合範囲はスギ林と同様、それ以外の木よりも大きかった。

将来木施業を行った不伐の森スギ林においても魚梁瀬千本山のスギ林と類似の傾向がみられた。林分全体の競合範囲は 6 m であったのに対し、将来木のみに着目した場合は競合範囲が 9-10 m と大きくなった。将来木以外の木では全体の場合と同じく競合範囲は 6 m であった。

まとめ

以上の結果から、四国の急傾斜地におけるスギ、ヒノキ林においても秋田スギ高齢林で見られたような個体間の競争関係が見られたがスギの方がより傾向がはっきりしていた。また、ほとんどの競争関係は、大きい個体が有利となる一方向的な競争関係であった。スギやヒノキの植栽木の成長に影響を及ぼす競合範囲は、残す木とそれ以外の木とで比較すると競合範囲が異なる傾向があることがわかった。これは、直径が大きい木 (その多くは「残す木」) ほどその後の成長が良いという傾向が高齢林でも示されていることを考えると、妥当な結果であるといえる。今後、高齢化する人工林を適切に管理していく中で、1 本 1 本の木に着目した森林の管理をするために、林分全体ではなく「残す木」に着目した競合範囲を考慮し、「残す木」をどのような間隔で配置していくかを考えることが重要である。将来木施業では 100 年生時の将来木の本数をヘクタールあたり 100 本程度と定めて将来木を選ぶが、これは競合範囲が 10 m の場合に相当する。魚梁瀬千本山スギ林や不伐の森スギ林では、「残す木」(や将来木) に着目した場合 9-11 m とほぼ同等の競合範囲となった。少なくともスギ林ではこの本数密度と間隔の妥当性について客観的な根拠を示したひとつの事例であるといえ、将来木施業に限らず四国地方における長伐期施業において「残す木」の配置を考える上で参考となる知見と考える。

地域林業を将来にわたり持続可能にするために必要な施業を考えるには、まず気候や立地環境といった地域の自然条件に適っているかという点が重要である。そのための科学的な根拠となるデータの蓄積はまだ十分とはいえず今後も進めていく必要があるが、当面は今ある知見と技術を組み合わせることで地域の自然条件さらには社会・経済条件にあった人工林施業の選択枝を提案していくことが重要と考えている。

高知県香美森林組合に導入されたタワーヤーダの概要について

山崎敏彦（高知県立森林技術センター 森林経営課）

導入の背景

香美森林組合は、高知県でもいち早く平成 8 年度から民有林の団地化に取り組み、各種事業を活用し、路網整備や人材育成、高性能林業機械の導入を図りながら収入（搬出）間伐の実績をあげてきた。

これまでは、管轄区域内で比較的路網を整備しやすく、スイングヤーダシステムによる搬出間伐に適したエリア（路網間隔 150 ～ 200m 程度）での収入間伐作業が中心であった。しかし、団地化を進めていく中で、作業道の開設が困難あるいは限定される急傾斜地での団地化が必要となってきた。このことは、路網密度が低く、道の間隔が広いあるいはトラックが走行できる道からの集材距離が長くなることから、結果としてスイングヤーダ集材不適地の増加となった。

このことから、香美森林組合での団地化を進めていく上で、中・長距離集材システムは必要不可欠なシステムであると考え、平成 21 年度林野庁補助事業（2 次補正）「森林・林業再生プラン実践事業」に高知県香美地域（香美森林組合・物部森林組合）として応募し、全国 5 地域の 1 つに採択され、ドイツならびにオーストリアのフォレスターによる森林施業や路網計画・開設方法などの研修を受けながら、導入機種選定を行い「先進林業機械の導入・改良事業」によって、オーストリアのマイヤーメルンホフフォレストテクニク社（以下 MM 社という）製けん引式タワーヤーダ WANDERFALKE（以下ワンダーファルケまたは WF という）を主力機として導入し、急傾斜地における中距離搬出間伐の取組が開始された。

作業システムの特徴

従来のスイングヤーダとプロセッサによる集造材の工程では、林内での荷掛作業者・スイングオペレーター・プロセッサオペレーターの計 3 名が必要となるが、WF とプロセッサ（現在ではハーベスタを使用）の組み合わせでは、林内での搬器操作および荷掛作業を行う林内作業者と、おろし場（土場）付近に到着した搬器をプロセッサのオペレーターが搬器寄せ、荷おろし、荷外し、索上げ、空搬器走行開始までを無線式コントローラーで行えることから、作業人員は 2 名で可能となる（空搬器の走行と実搬器走行については、半自動運転「オートラン」機能を利用することにより、タワーヤーダ専属オペレーターが不要となることによる省人化）。

安全性

集材側に掛かる力（タワーを倒す）を支えるのは、4 本の控え索（ガイライン）を使用するとともに、主索については、主索ドラムディスクブレーキに圧力を掛け、ドラムの回転を止める構造となっており、過負荷が掛かればブレーキが滑り、主索がジワッと繰り出されるようになっている。また、WF のその他の安全装置として、搬器走行や荷の上げ下げを行う作業索にメインラインがあるが、このラインの過負荷（実際にはメインラインドラム駆動油圧回路に圧力センサーが配置されている）が掛かると、本機と専用搬器双方から同時に警報音が発せられるようになっている。一方、我が国のタワーヤーダは集材方向

の反対側の控え索が 2 本、主索ドラムは張り上げ後、爪ロックで完全固定する機構が主流である。

地形への適応性

線下高を一定以上必要とする箇所には主索中間支持金具（以下中間サポートという）を用いることで、地形の制約が少なくなり適用範囲が広がる。一例として平成 23 年 11 月に工期調査等を実施した箇所の線下縦断面図を図 1 に示す。

WF の場合、設置した中間サポート位置の前後 5m 程度の計 10m 区間で自動減速走行するので、連続した集材が可能となる。また、WF の中間サポート自動減速設定箇所数は最大 5 カ所まで設定できる。これまで 1 線での最大設置箇所数は 4 カ所であった。

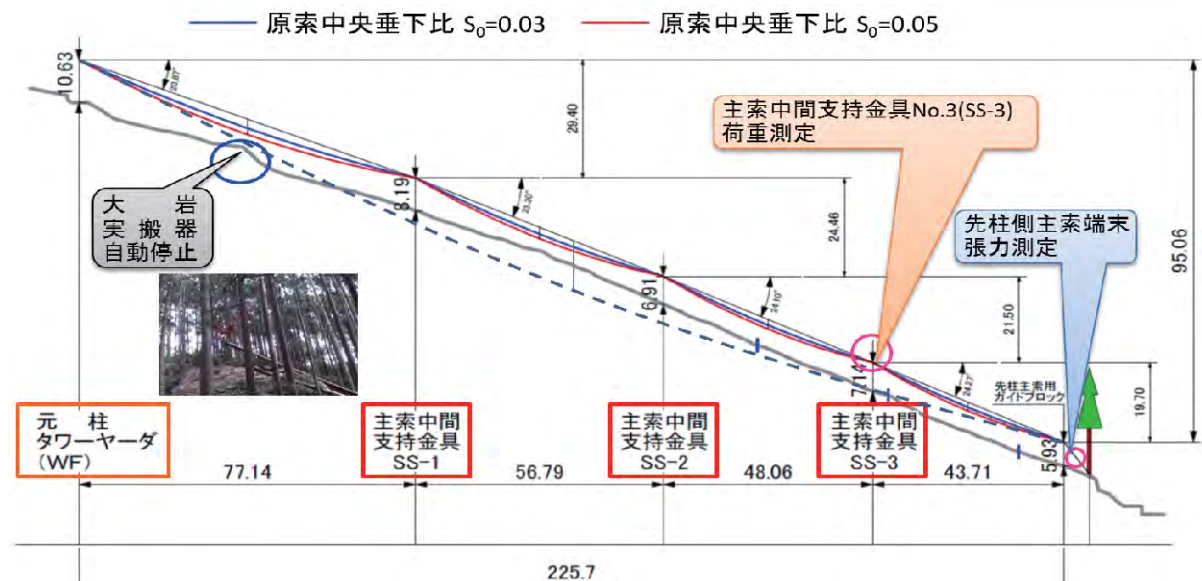


図1 中間サポート3カ所設置線下縦断面図（H23.11月香北町谷相新道1号線）

おわりに

平成 23 年 4 月から平成 26 年 3 月末までの期間で、のべ 160 日、1,651 人の視察者を数えている。このことから欧州型タワーヤードが注目されていることは、言うまでもない。また、森林・林業再生プラン実践事業および先進林業機械導入・改良事業実施前の平成 22 年 1 月末では、7 団地 4,741ha であったものが、平成 24 年 7 月末では、12 団地 9,251ha と香美森林組合では、大幅に団地（集約）化を進めることができた。このことは、急傾斜地における中距離搬出間伐システムとしてのタワーヤードが加わったことによる、収穫区域拡大も起因していることを付け加えておく。

導入したタワーヤードにより、これまで 7 団地、合計 110ha（H26 年 3 月末現在）の利用（搬出）間伐を実施した。この間様々な路網と地形の条件下で、ワンダーファルケを効果的に使用するため、種々の工夫と、経験を積み重ねてきた。特に、一面傾斜地で 1 線あたりより多くの収穫量を得るためには、中間サポート設置（架設）は必要不可欠である。

香美森林組合でタワーヤードを使用している林産班の植田班では、条件に合わせて 4 タイプの中間サポート設置方法を採用している。これまでの植田班の努力に敬意を表するとともに、今後とも、森林総合研究所ならびに高知大学と協力して、タワーヤードシステムの得失を念頭に置き、可能な限り支援していきたいと考える。

豪雨・急傾斜地に対応した低コスト型作業システムの構築

田中良明（森林総合研究所 林業工学研究領域）

はじめに

わが国の森林・林業を再生するため、路網整備と機械化等による新たな素材生産技術の開発が求められている。日本の急峻で複雑な地形における素材生産作業では架線による集材が不可欠である。架線系の集材機械に、建設機械にウィンチをつけたスイングヤーダがあるが、集材距離が短いことから高密な路網が必須である。しかし、降雨が多く地形条件の厳しい日本では、高密路網を整備できる森林は限られている。また、資源が成熟し大径化しつつある中で、従来機械ではパワーが不足しているため、木材を引き上げるのに困難な状況も見られるようになってきた。そこで、集材距離が長く、十分なパワーを持つ欧州の先進タワーヤーダを用いて間伐作業を実施し、その生産性を明らかにするとともに、タワーヤーダを有効に活用するための森林路網を計画する手法を開発した。

タワーヤーダの生産性

国内外のタワーヤーダの性能比較のために文献調査を行うとともに、欧州の先進タワーヤーダを用いて急峻で複雑な斜面で間伐作業の実証試験を行った。

架線下の間伐した伐倒木を搬器でつり上げ、上げ荷集材（木材を斜面の上方に集める作業）した場合、荷掛量（搬器に掛けた材積）は集材作業時間に影響せず、集材距離が長いほど作業時間が多くかかることが分かった。また、搬器の走行速度を既存機と比較すると、先進タワーヤーダの方が荷を掛けていない空走行では 2 倍、荷を吊った実走行では 1.2 倍程度速いことが分かった。

以上から、上げ荷集材作業の生産性を求めると、荷掛量が約 0.30 m^3 であった既存機の生産性は、先進機の荷掛量 0.20 m^3 の生産性とほぼ一致し、先進機の方が既存機より 1.5 倍程度の高い生産性が得られることが分かった（図 1）。

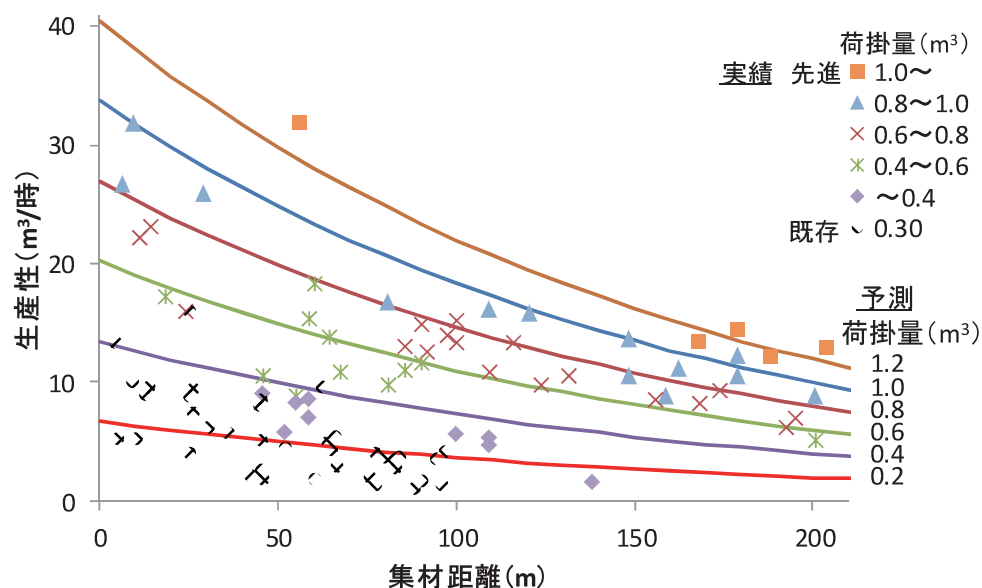


図 1 タワーヤーダの生産性

タワーヤードのための路線選定支援システム

タワーヤード作業特性を考慮した路線開設地の選定支援システムを開発した。タワーヤードによる集材は、作業道などの路線上から行われるため、路線の選定にあたっては、機械の集材範囲を考慮して路線開設地を選定することが重要である。

タワーヤードは上げ荷集材に適していると考えられている。このため、開設に適している地点とは、その地点から見て、標高が低い箇所がより多く見渡せる地点となる。さらに、タワーヤードは、中間サポートを用いることによって地形の凹凸に対応しながら架線を設置することができる。

これらの条件を考慮して、タワーヤードの集材可能範囲を、半径が最大集材距離で、45 度の中心角をもつ扇形と仮定した。標高データを持つ DEM(数値地図モデル)を使って、すべての地点においてタワーヤードの集材に適しているかどうかの計算を行い、開設地の候補となるべき場所を抽出した。図 2 の色の濃い部分がタワーヤードによる上げ荷集材に適している箇所で、したがって路線開設の候補地となる。

このシステムは GIS をベースとしているため、開設適地の情報に加えて、既存の林道や作業等との接続、他の森林情報も考慮しながら森林路網を計画することができる。

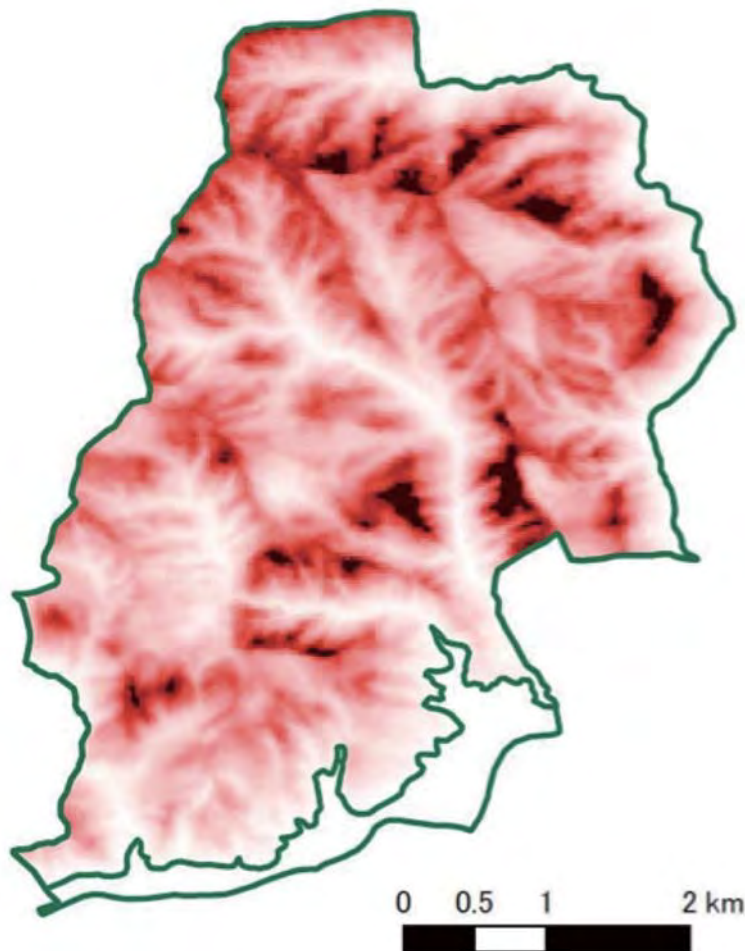


図 2 タワーヤード作業の効率性を考慮した路線開設適地（赤塚山団地）

タワーヤード等の重荷重の車両が走行する作業道における工法と路体構造

後藤純一（高知大学教育研究部 自然科学系農学部門教授）

はじめに

より効率的な林業活動を実現するには、質の高い基盤整備が欠かせない。タワーヤードの活用が定着している中部ヨーロッパでは、タワーヤードを搭載したトラックが走行できる道路が高密度に整備されている。一方、日本では地形が急峻で降雨量が多く、林道開設経費のみならず、維持管理経費も高く、基盤の整備が十分ではない。

従来の架線集材では、2 段、3 段と積み替えて材を下げ荷で谷筋の林道まで集材するという方法にとどまっており、現状の路網では効率的な林業活動を支えることができない。これらを一度の架設でトラック道まで集材できるようにすることが当面の目標となる。路網がそこまで到達できれば、タワーヤードの導入も現実味をもってくる。そこで、本報告では、トラックやタワーヤードといった重荷重の車両が安全に走行できる路体を作設する上で、施工時における課題を検討した。

調査地と調査方法

調査地は高知県内の国有林、民有林に開設された規格の異なる既設の作業道である。調査した作業道は作設工法によって、半切り・半盛りで作設された路線と路面全体をある程度の深さまで全掘削した後に締固めて作設された路線に区分され、また、路線を走行する車両の想定がクローラ式車両とトラックに大別される。

調査項目は、路面支持力と路体内部の締固め状況の評価である。調査は 5 路線 22 地点を対象に、上層路盤材の敷設前に簡易支持力測定器を用いて CBR 値を推定した。また、路体内部の締固め状況の調査では、6 路線 24 調査地点で実施した。原位置における土質試験として現場密度試験と簡易貫入試験を、試料採取による粒度試験をそれぞれ実施した。

さらに、盛土部の作設方法の違いを明らかにするとともに、その安定性も評価するため、上記の路線において横断面形状から盛土部を含むと判断された 15 の調査のり面を選定し、簡易貫入試験と試料採取による締固め試験、および、のり面の移動量測定を実施した。

結果と考察

1. 路面の支持力

十分な転圧がなされた路面に相当する轍と谷側路肩において、細粒分割割合と CBR 推定値との間に負の相関が認められた ($p < 0.01$)。細粒分割割合が 30% 未満の場合に、CBR 推定値が 15% 以上となることを示している。一般に、土の組成を改善するために、碎石などの粗粒分を路盤

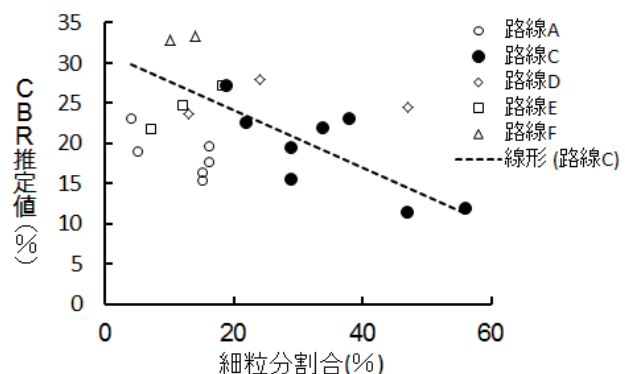


図1 路面の CBR 推定値と細粒分割割合との関係

に敷設して路面支持力を向上する措置がとられていることから、当然の結果といえよう。このことは、簡易支持力測定器によって得た CBR 値から細粒分割割合を推定できるということ

でもあり、路体の締固め時に簡易な方法で CBR 値を推定することで、施工管理における指標としての活用できることを示唆している。なお、これらの関係は基岩の種類によっても異なることが考えられ、さらに含水比による影響も含めて関係を明らかにする必要がある、追加調査による検討の余地が残されている。

2. 簡易貫入試験

簡易貫入試験の結果から土層の状況は次の 2 パターンに分類できる。すなわち、徐々に N_d 値が大きくなり、地山に到達するパターン 1、もしくは、路体内部の深さで N_d 値が 5 以下にまで小さくなるが、深層ではこれを下回らないで徐々に増大するパターン 2 のいずれかである。

そもそも、土層の抵抗は土層の物理的性質に影響され、貫入抵抗値と乾燥密度や湿潤密度および飽和密度と正の相関が認められるとされており、作設の良否から評価すると、 N_d 値が著しい減少を伴わないで徐々に増加するパターン 1 が安定した土層を構成していると判断される。

既設の作業道には、路体内部に十分な締固めがなされていない事例も見られ、土構造によって路体を作設する場合には、深い土層においても十分な締固めを施すように留意する必要がある。

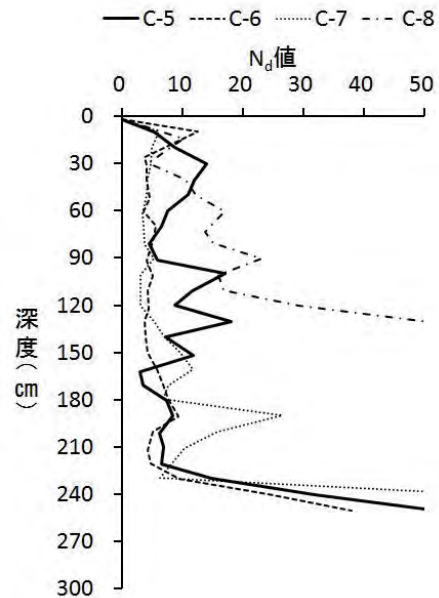


図2 簡易貫入試験結果

3. 締固め試験

吉永ら (1995) が示した N_d 値と乾燥密度との推定式を用い、路体内部の平均乾燥密度を推定した。試験地によって盛土の高さが異なることを考慮して、表層から 1m 深さまでの N_d 値の平均値を用いて路体内部の乾燥密度を推定した最大乾燥密度に対する推定乾燥密度の比を推定締固め度と定義した。フォワーダ作業道、基幹作業道（半切・半盛）、基幹作業道（全掘削）それぞれの締固め度の平均値は 54.0%、67.6%、79.2% であり、路体内部の乾燥密度を高め、堅牢な路体を作設する上で、半切・半盛による工法によるよりも、全幅員にわたって均一に締固めることの有効性が示唆された。

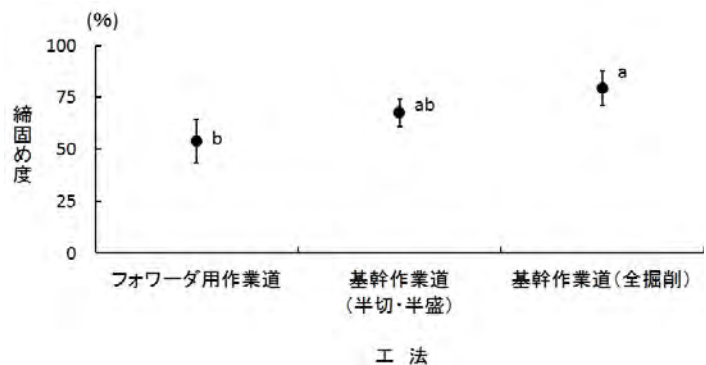


図3 設工法と路体内部の乾燥密度推定値との関係

フォワーダ作業道、基幹作業道（半切・半盛）、基幹作業道（全掘削）それぞれの締固め度の平均値は 54.0%、67.6%、79.2% であり、路体内部の乾燥密度を高め、堅牢な路体を作設する上で、半切・半盛による工法によるよりも、全幅員にわたって均一に締固めることの有効性が示唆された。

おわりに

本研究を通じて、路面の良否は土に含まれる細粒分の割合に支配されることから粗粒分の混入によって土を調整すること、また、堅牢な路体を作設する上で全幅員にわたって均一に締固めることの有効性が示唆された。特に、工事現場で土質を的確に見極めることが重要であり、その判定には簡易貫入試験が有効であることを示した。また、今後はこれらの現場試験が活用できるように基礎データを積み重ね、強い路体の作設に貢献していきたい。

シミュレーションで探るこれからの山づくり

光田 靖（宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科准教授）

戦後に植林された人工林が成熟し、これから本格的な主伐の時期を迎えようとしている。今後、主伐へ向けてこれからどのように山づくりを行っていくのか、指針を示すことが求められている。本報告においては、林分の成長と伐採・搬出コストをシミュレーションするモデルを利用して、どのような山づくりの方法がありえるのかを検討する。

平成 21 年に公表された森林・林業再生プランを契機として、林業を成長産業として捉え成熟した人工林資源を活用し、経営の効率化を図りつつ木材の増産を目指す機運が高まった。造林技術についても、規範として紹介されたドイツ・オーストリアで実践されている高密路網と大型機械を活用した非皆伐型施業である「将来木施業」について多くの議論がなされた。その中で「将来木施業」を日本の風土に合わせてどのようにアレンジすべきか、皆伐施業と非皆伐施業の得失など、これからの山づくりについて様々な議論が巻き起こった。そのような議論の中で特に重要視されたのは、その土地の自然に合った施業を行うという合自然の原則である。日本全国で一律の施業を行うことは合自然の原則に反することであり、結果として自然災害に脆弱な林分となったり、成長が不良で収益性の低い林分になったりする可能性があることは過去の経験から明らかである。林業生産の効率化、木材増産という目標は同じであっても、地域ごとの自然に合った施業を行う必要がある。四国は他の地域と比べて急峻な地形をしており、降水量も多く、台風による災害のリスクが高いという特徴がある。このような四国の自然条件下では、林業経営は国土保全の観点からも重要な役割を果たしており、自然災害に対して頑健な山づくりが求められる。本報告では、四国のような豪雨急傾斜地において、これから主伐期を迎える人工林を高収益性と高耐災害性を両立する林分へと導く山づくりのあり方について検討する。

山づくりのあり方について検討するためには、どのような間伐を行うとその後の林分がどのように成長していくのか、どのような伐採を行うとどのようなコストがかかるのかを予測することが必要である。そこで、森林総合研究所と国有林が協力して長期的な観測を続けている試験地のデータを用いて林分の成長モデルを開発した。このモデルでは林分単位で光合成や呼吸量を計算して林分成長量を予測する。この計算においては日射量、気温および大気乾燥度といった気象条件によって光合成や呼吸の量が変化するため、場所に応じた成長の違いを表現できる。林分の成長を予測した後に、成長量を各個体へ分配して単木の成長を予測する。ここでは樹木の大きさに応じた競争を考慮しており、個体間の成長格差を表現することができる。この成長予測モデルと伐採・搬出のコスト予測モデルを組み合わせて用いる。伐採・搬出のシステムとしては、チェーンソー伐採、スウィングヤーダ集材、プロセッサ造材そして山土場までのフォワーダ搬送を想定している。また、データの蓄積が始まって間もないのである程度の概略値であるが、スウィングヤーダをドイツ・オーストリアで用いられている大型のタワーヤーダで置き換えたシステムを比較対象として設定した。コストの予測は各工程の所要時間を元にした労賃や諸経費の積み上げによって行っており、伐採対象の樹木サイズ、傾斜および伐採面積などによって変化するモデルとなっている。なお、本コストモデルは森林総合研究所・林業工学研究領域のご協力を得て作成したものである。

この林分成長予測モデルおよび伐出コスト予測モデルを用いることで、間伐から主伐までのシミュレーションを行い、どのような施業を行うとどのような林分となり、どのような収益が得られるのかを予測することができる。まず、議論のベースとして経済性のみを追求した場合の施業方法を考える。動的計画法という手法を用いることで、任意の林分について何年生でどのような間伐を行うことが最も高い収益となるかを明らかにすることができる。そこで試験地のデータから 15 年生のものを初期値として、通常伐期として 55 年生（40 年後）および長伐期として 95 年生（80 年後）を設定して、最適な間伐戦略を探索した。その結果、短伐期と長伐期ともに本数間伐率 45% という強度の上層間伐を行うのが最適であるという結果となった。この結果は素材の価格設定に大きく依存するものである。最適化を行うにあたり、市況価格を反映して末口直径が大きくなれば価格は上昇するが、30cm 以上になる少し価格が下がるという価格付けを行った。樹木個体が大きくなると作業効率の点では向上するが、あまり大きくなると値段が下がってしまう。そこで、大きくなり過ぎないうちに比較的大きな個体から間伐して、さらに間伐強度を上げることで間伐からも収益を上げるという戦略が最適になったと考えられる。一定以上太くなると木材の値段が下がるので、上層間伐の結果として皆伐時に大きな個体が少なくとも経済的なデメリットはなく、純粹に経済性の観点だけから見れば合理的な間伐戦略となっている。

次に、この間伐戦略に従った場合に林分がどのような状態になるのかをシミュレートして林分の状態について検討した。上層間伐を行うため間伐後には劣勢木が多く残ることとなるが、風害に対して著しく脆弱な状態となることが懸念される。将来木施業に係る議論で論点となったように、上層間伐によって林冠に大きな穴が開くことで通常の間伐よりも風の乱流が生じやすく、集団安定性が通常よりも低下する危険性が高い。さらに、残存木が下層木であるので樹高に対して直径が細い状態、すなわち樹高を直径で割った値である形状比が高い状態になっており、その点からも風害の危険性は通常の間伐よりも高くなっている。ただし、強度間伐を行っていることから残された下層木の成長は改善し、間伐後 10 年ほどで形状比が元の水準まで改善する結果となった。このような形状比の悪化および回復と風害発生リスクをどのように捉えるのかは経営判断となるだろう。その経営判断を行うにあたっては、その場所がどれほどの頻度と強度で台風の影響を受けるのかを考慮する必要がある。なお、成長モデルによる予測では上層間伐後の下層木が良く成長する結果となったが、現実には間伐による光環境の改善に下層木がすぐには反応しない可能性も高いので、予測が大きく異なる危険性もある。

本報告では、このような最適化やシミュレーションを行って、今後の山づくりのあり方について議論する材料を提供したい。地位が良い場所と悪い場所では最適な主伐・間伐戦略はどのように異なるのか、間伐後の林床光環境はどのように変化するのか、スウィングヤードと比較してタワーヤードが有利になるのはどのような場合なのか、将来木施業を行うとどのような林分が成立し、どのような収益が得られるのかといった点についてシミュレーションによって明らかにしていく。これら様々な観点からのシミュレーションを通して、四国における今後の山づくりについてどのような方向性が考えられるのか、議論を深めていきたい。ただし検討にあたっては、モデルの前提条件や限界などを考慮して、誤った結論を導かないように十分注意する必要がある。

メモ等にお使いください

ご静聴ありがとうございました

公開講演会要旨集

2014 年 10 月発行

編集・発行 独立行政法人 森林総合研究所四国支所
〒 780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915
Tel. 088-844-1121 (代) Fax. 088-844-1130

お問い合わせ 連絡調整室 koho-ffpri-skk@gp.affrc.go.jp
ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/skk/>

印刷所 (有) 西村謄写堂
〒 780-0901 高知市上町 1 - 6 - 4 Tel. 088-822-0492

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所四国支所の許可を得てください。

