

持続可能な森林経営研究会
第12回セミナー
2009年4月21日
議事概要

「素材生産の生産性はどこまで向上させられるか」

※この議事概要は、事務局でとりまとめたものであり、発言によっては、趣旨を取り違えていることもありえますので御容赦下さい。

1. 要旨

森林総合研究所 林業工学研究領域
収穫システム研究室 岡 勝

素材生産の生産性はどこまで向上させられるか

－ 工夫と改善 －

<テーマ>

1. 素材生産の生産性はどのように把握されているか
2. 伐採から運搬までの各作業のどこを、どのように改善できるか
3. 伐採から運搬までの方法を組み合わせたシステム分析はどこまでされているか
4. 自然条件等に応じた伐採から運搬までのシステムはどのように類型化できるか
5. 素材生産の生産性は、現在に比べどこまで向上させうるか

生産性とは、単位時間あたり作業量 ($m^3/時$) あるいは、単位時間・労働量あたり作業量 ($m^3/人時$) であり、コスト算定における時間費用を産出する際の重要なパラメータとなる。生産性を把握するためには、個々の作業工程、システム全体における作業時間と作業量の計測が不可欠であり、さらに作業時間を左右する現場の諸条件（例えば、地形傾斜、集材距離、積載量、材の大きさ、機械の組み合わせなど）との関係を明らかにする必要がある。

生産性把握の大きな目標は、当該システムを用いた場合の生産コスト（経済性）の評価であるが、もうひとつの目的として、システムあるいは作業工程における問題点の抽出と改善点を見出すことにある。たとえば、ある工程が常に時間がかかり、全体の作業効率のネックとなることが判明した場合、どこに問題があるかをまず明らかにし、次にどうすればネックの解消が可能かを検討する。

集材作業に時間がかかるとすれば、機械性能が十分か、路網の線形や勾配がムリではないか、集材距離が長くないか、材の木寄せに手間取っていないか、オペレータの技量は十分か、などの要因を明らかにする。その上で、機械の取り替え、機械台数増加、路線作設・改良、木寄せ機械の導入、オペレータの交代や研修による技量向上などの改善策を検討することになる。ただし、これらの改善策が可能かどうかは、事業体の経済力、作業人員構成、費用対効果など経営面からの検討が当然必要となる。

生産性の把握は、時間観測、材や所条件の計測から始まる。把握方法としては、事業地（伐区）を単位とした作業日報による方法、VTR などを用いた時間観測方法の2つに大別される。作業日報からは、システム全体の大きな材の流れと工程の連携性などが日単位で把握でき、VTR による時間観測からは、作業時間に及ぼす諸要因の影響や作業待ち、手間取り時間などの詳細な状況が把握される。作業時間観測は、以前はストップウォッチを用いていたが、最近では VTR の小型化、長時間観測（終日観測）に耐え得ることなど使い勝

手の良さ、現場の状況を何度でも再生することができることから、この方法にとって替わったと思われる。通常、VTRには内部時計が組み込まれ時、分、秒が録画される。この時間から秒単位の時間分析ができる。作業日報、VTR観測にはそれぞれ利点があり、これらを組み合わせた方法により生産性を求める。

いずれにせよ、生産性の把握と作業改善に資するためには、調査方法にもひと工夫が必要となる。現場に行っていきなりVTRを回しても得られるものはあまり多くはない。このため、事前の調査計画、何を明らかにするかといった目標設定の検討が不可欠となる。VTRによる時間観測は事前準備、分析などに時間と労力を要することから、効率的な調査方法の工夫が必要であり。調査する側の目的意識が重要である。

伐採から運材（トラック）の作業工程を材の作業地点別に示せば次の通りとなる。伐採（林内）、木寄せ（林内）、集材・搬出（林内～山土場）、造材（林内路網、山土場）、桝積（山土場）、運材（山土場～木材市場等）。伐出は、言い換えれば素材の物流システムであり、伐採からトラック運材の個々の作業工程、システム全体に共通することは、①材の流れを止めないようにすること、②円滑な材の流れを確保すること、③作業時間が短くするように工夫・連携すること、④各作業の特徴、影響要因、クセを知ること、⑤オペレータの融通性、考え方の柔軟性などがあげられよう。

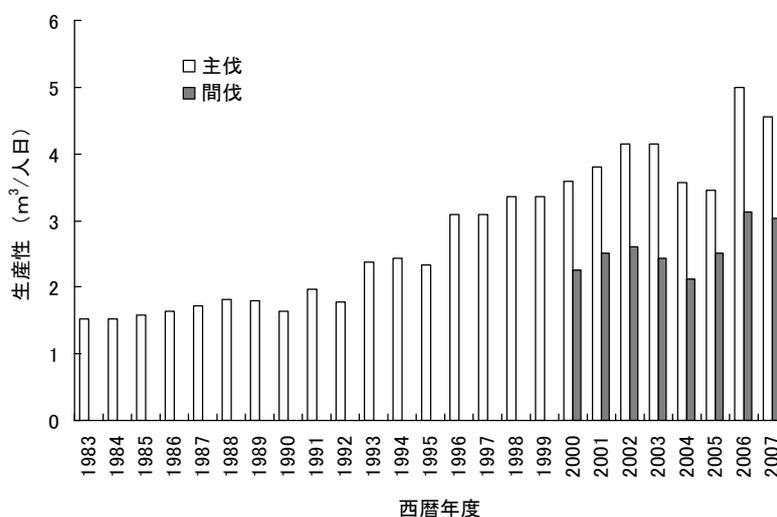
伐出作業は、森林内において人、機械、路網が連携して作業を行う。作業条件は多種多様であるが、作業改善に向けたポイントはいくつかあげられる。例えば、車両系伐木機械の場合、林内を車両が移動しながら伐倒・造材を進行するため、機械の移動経路や桝積位置は、伐木作業時間だけでなく後続する集材作業時間にも関係してくる。このため、機械作業の効率化を図る伐採方法（列状伐採など）、直線的な作業空間の確保、次の工程である集材工程との作業連携を円滑にするための作業分担のあり方がポイントとなる。また、集材作業（車両系・架線系機械）では、林内に散在する材の木寄せ・横取りを行い、集材車両や架線搬器が土場から林内（先山）まで往復移動することにより、木材運搬を行う作業である。路網密度や索張り線密度、路網や索張り線の配置は、木寄せ・横取り距離、車両や搬器の走行距離に影響する。このため、集材距離や木寄せ・横取り距離の短縮、走行速度の向上、土場配置、路線線形、幅員、縦断勾配、索張り本数や索張りの配置、搬出方向（上荷・下荷）などが検討すべきポイントとなる。

伐採から運搬までの方法を組み合わせたシステムは、作業形態や集材特性（集材作業に影響すると考えられる機能）の観点などからタイプ区分することができる。使用機械の視点からみれば架線系、車両系、併用系システムと区分されよう。作業形態（集材木の形態）の視点からみれば全木、全幹、短幹、全木+短幹システムと区分されよう。また、集材の機能からみれば機動性、輸送性、到達性システムと区分されよう。Fisher（1974）は、軍事用設備のシステム分析からシステムの機能に着目した評価基準を示した。伐出においても、重量物の運搬輸送を行うことから、その基準のいくつかはそのまま適用可能と考える。

通常、伐出作業はいくつかの工程が連携して行われている。システム全体の生産性を高

めるには、全体の作業時間をできるだけ少なくし、少ない人員で生産量をあげることが重要である。システム全体の生産性を上げるには、①各工程の作業時間を短縮する（各工程の生産性の向上、作業方法の改善など）、②工程ごとの作業重複時間を出来るだけ増やす（システム全体の作業時間を縮減するため、各工程を同時並行的に作業する）、③工程間の作業待ち時間を少なくする、④ネックとなる工程の作業時間短縮をまず行う。例えば、機械台数増、機械性能増による時間短縮。路網整備による木寄せ、集材時間の短縮、高い生産性の工程が低い工程の作業を分担・フォローする。⑤工程の生産性のバランスをとり、不均衡を是正する。この場合、生産性の低い方に合わせるのではなく、出きるだけ高い方にソフトアップするように工夫する。

図1は林野庁の資料をもとに生産性の推移を示したものである。現在、わが国の生産性は2006年度の場合、主伐5.0m³/人日、間伐3.1m³/人日であり（総平均値）、全体的な傾向として生産性は向上している。ただし、このデータは全ての条件を込みにしたものであり、生産性と要因との関係については今後の分析が必要である。



資料：林野庁（2008）平成19年度素材生産費等調査報告書

図1 わが国の生産性の推移

今後、わが国の生産性がどこまで向上するかについては、路網整備の推進など未確定の要素もあるため、ここで予測するのは困難である。しかしながら、近年、林野庁の主導による新たな生産システムに関する事業が推進されるとともに、森林組合や素材生産事業者などのパイオニアによる各種の改善、工夫が進められており一部においては高い生産性が実現されている。

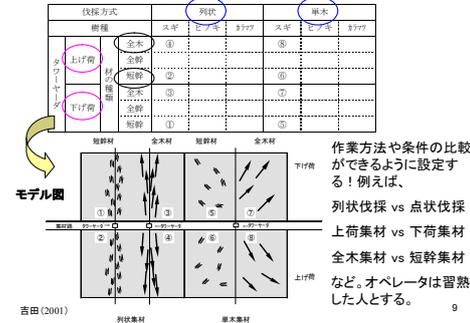
現在のシステムを用いた場合、種々の条件やオペレータの習熟度、改善と工夫を加えれば間伐の場合でも2006年度の5.0（主伐）を大きく上回る生産性が期待されよう。その試みの1つとして、平成19年度から低コスト作業システム構築事業が開始され、生産性10m³/人日に向けた種々の開発証試や実証が進められ成果が得られつつある。なお、短期的には10～20m³/人日の生産性を確保している事例報告もある。しかしながら、年間を通じてこのレベルの生産性を維持するには、事業量の確保は大きな問題といえよう。このほか、路網整備、少人数・少工程での生産システムの構築など現場の地形、地理、林分、経営条件などに応じた生産システムの構築、作業技術の研鑽など不断の努力と工夫・改善および確かな林業技術を持ったオペレータの育成・教育が不可欠と言えよう。

2. 講演

<p>持続可能な森林経営研究会 第12回セミナー 2009.04.21</p> <p style="text-align: center;">素材生産の生産性はどこまで 向上させられるか — 工夫と改善 —</p> <p style="text-align: center;">森林総合研究所 林業工学研究領域 収穫システム研究室 岡 勝</p> <p style="text-align: right;">1</p>	
<p><テーマ></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 素材生産の生産性はどのように把握されているか 2. 伐採から運搬までの各作業のどこを、どのように改善できるか 3. 伐採から運搬までの方法を組み合わせたシステム分析はどこまでされているか 4. 自然条件等に応じた伐採から運搬までのシステムはどのように類型化できるか 5. 素材生産の生産性は、現在に比べてどこまで向上させうるか <p style="text-align: right;">2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産性を把握する手法、生産性把握を通して作業改善やシステム改善を中心に考える。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 素材生産の生産性はどのように把握されているか <p>1-1) 生産性とは</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 単位時間あたり作業量 ⇒ 生産性 ② 単位時間・労働量あたり作業量 ⇒ 労働生産性 $\begin{aligned} \text{生産性} &= \frac{\text{作業量}}{\text{作業時間}} \quad (\text{m}^3/\text{時}) \\ \text{労働生産性} &= \frac{\text{作業量}}{\text{労働量(人工数)}} \quad (\text{m}^3/\text{人時}) \\ &= \frac{\text{作業量}}{\text{人数} \times \text{作業時間}} \end{aligned}$ <p style="text-align: right;">3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産性は、単位時間あたりの作業量 (m³/時) もしくは、単位人・時間あたりの作業量 (m³/人時) である。 ・ 作業量は、工程により異なるが、システム全体の生産性としては出材量を用いることが多い
<p>1-2) 生産性の把握 .. 調査目的と流れ</p> <p>目的1: ①計画 ⇒ ②時間観測 ⇒ ③時間分析 ⇒ ④作業モデルとサイクルタイム ⇒ ⑤生産性の算定 ⇒ ⑤コスト分析 .. 経済性の評価</p> <p style="text-align: center;">再調査 ← [実証試験 (使い物になるかどうか)] →</p> <p>目的2: ①作業の流れ ⇒ ②問題点発見 ⇒ ③改善の足がかり .. 改善策の検討</p> <p>→ 時間のかかり増しの発見・理由解明 作業の不慣れ、作業の難易度、作業連携や段取りミス、付帯時間や作業遅延(やり直し)、機械故障等の頻度</p> <p style="text-align: right;">4</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産性の目的と把握の流れを示したものである。経済性の評価だけでなく、改善策の検討がポイントとなる。 ・ 色々な条件を考慮した実証試験を経て実用に供することが求められる。

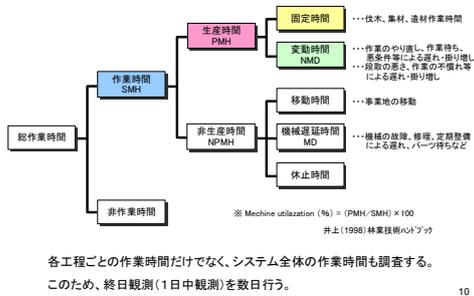
<p>1-3) 生産性把握の具体的な方法</p> <p>① 大まかな把握 ⇒ 作業日報調査</p> <p>② 詳細な把握 ⇒ VTRを用いた時間観測</p> <p>それぞれの利点を活かし、通常、①、②の2つの方法を併用する。</p> <p>②では、目的をしぼり実験的に行う フォワーダ集材(満車・下り)</p> <p>写真: VTR、フォワーダ集材走行観測 (カメラマン: 岡、2008.10.15-17)</p> <p>この調査では、積載量の違い(満車: 4m³、半車: 2m³、空車)、上り・下りの違い、縦断勾配(0~20度)の影響を計測。</p> <p>併せて燃料消費、排ガス調査も実施。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 作業日報調査は、伐区全体の生産性や作業の流れの把握ために有効である。できれば、伐区図面と合わせて整理することが望ましい。 VTR を用いた方法は、作業のどこに、どのような問題が潜んでいるかを把握するのに有効である。それぞれのメリットを活かして生産性を把握する。
<p>▶ 把握方法の留意点1 .. 方法の違い、特徴</p> <p>① 作業日報調査 .. 伐区を単位 毎日の作業の流れが把握できる。 結果が比較的早く判る ⇒ 作業員のコスト意識の改善などに寄与できる。 .. 作業条件との関係、改善点の詳細検討には不向き。 .. 日報の付け方に影響される。</p> <p>② VTRを用いた時間観測 .. プロットを単位 作業条件との関係を把握できる。 生産性の一般式に利用できる。 作業の改善点が把握できる。 .. 調査計画をうまくたてないと、いいデータがとれない。 .. 事前の準備、分析が大変。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ただし、この方法では大きな面域での調査は困難であり、通常、実験計画的にプロットを設定して行う。
<p>▶ 把握方法の留意点2 .. 調査対象となるもの</p> <p>① 作業量、作業条件 作業量 .. 生産量、工程により異なる ⇒ 最終的には出材量 作業条件 .. 地形傾斜、材積、集材方向、路線線形など</p> <p>② 作業時間(作業内容) 伐木 .. 切り倒す、枝払う、丸太にする 木寄せ .. 集める、運ぶ 造材 .. 丸太にする 搬出 .. 運ぶ(集材車両など) 山土場 極積 .. 積みなおす、並べる 林内~山土場 運材 .. 運ぶ(トラック) 山土場~市場など</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性を把握するために必要な情報として、作業条件、作業量、作業時間の把握が必要である。作業時間は作業工程ごとに把握し、システム全体の作業の流れやかかり増しとなっている工程を把握し改善の糸口とする。
<p>1-4) 生産性の把握(最近の調査例から)</p> <p>■ VTRを用いた時間観測の流れ .. まず、目標設定。 何を、どのように明らかにするか</p> <p>例えば、集材作業について..</p> <ul style="list-style-type: none"> 路線線形の違いが集材走行時間にどの程度影響するか? 集材機械の性能はどの程度発揮されているか? 集材作業に及ぼす現場作業条件の影響は? 集材時間を短縮させるにはどの方法があるか? 木寄せ距離と集材距離の兼ね合いはどうか? システム全体の作業時間を短縮させる方法は? 集材などに伴う残存立木の損傷を少なくする方法は? 	<ul style="list-style-type: none"> VTR を用いた生産性の把握では、VTR を何度でも再生できるメリットがある。 この講演では、VTR を用いた調査計画の目標設定や調査方法、分析手法、改善のための調査事例について、これまで講演者が行ってきた方法を通して、いくつかの留意点、改善策を説明する。

▶目標設定(調査計画)・・ 違いを発見するために



• VTR による生産性の把握では、一度に大面積の調査が困難である。このため、調査計画をまず明確にした上で、効率的かつ条件の影響が把握できるように、作業条件、方法の組み合わせを十分に考慮したうえで、いくつかの目標設定を決めることが重要である。

▶作業時間について



• 文献をもとに、伐出作業時間を作業時間、生産時間などに区分したものである。この時間区分法は、米国などでは一般的であり機械の作業時間効率 ($Mu = PMH / SMH$) を求めることが可能となる。

▶調査の主な流れ・・ 通常の調査例から

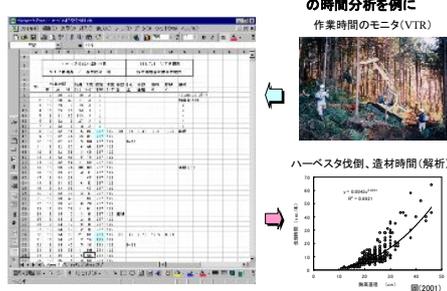


• ハーベスタ、フォワーダシステムによる列状間伐、点状間伐の生産性の把握を行うため、事業実施以前に行っている立木配置、地形測量などの予備調査の例(写真)。図は測量結果を図化したものであり、工期調査(本調査)の野帳として機械位置などの把握に使用。

▶時間観測調査(ハーベスタ、フォワーダの主作業時間)



• ハーベスタ、フォワーダの主要作業として移動、伐木・造材(ハーベスタ)、積み込み、走行、荷おろし(フォワーダ)の調査風景である。

<p>▶ 時間観測・分析の例</p>  <p>ハーベスタ伐木造材作業の時間分析を例に 作業時間のモニタ(VTR)</p> <p>ハーベスタ伐倒、造材時間(解析)</p> <p>DBHの累乗関数として作業時間を近似・・・DBHにより時間の予測 このほか、作業進行パターンにも影響される・・・プレゼンで説明</p> <p>13</p>	<ul style="list-style-type: none"> VTR による作業録画を研究室に持ち帰り、要素作業（伐倒、移動、極積みなど一定のまとまりある作業動作群）に区分している。 ハーベスタ伐倒、造材時間は、胸高直径と累乗的な関係が確認された。これらの要素作業はサイクルタイムの構成単位となり、生産性把握の基礎となる。
<p>2. 作業改善に向けて・・・円滑な作業の視点から</p> <p>✓ 時間分析のチェックポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> 材の流れを止めないようにすること スムーズな材の流れを確保すること 作業時間が短くなるように工夫・連携すること 各作業の特徴、影響要因、クセを知ること オペレータの融通性、考え方の柔軟性・・・など <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> 作業量の増加と作業時間縮減 生産時間割合の増加 非生産時間の縮減 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> 適正な作業計画、段取り ムダな作業時間の排除 高能率な機械の導入（時間縮減） </div> </div> <p>14</p>	<ul style="list-style-type: none"> 時間分析のチェックポイントとして、材の流れを止めないこと、円滑材の流れを確保すること、工程・システム全体の作業時間が短くすることなどが重要。 このため、適正な作業計画、段取り、ムダな作業時間の排除、工程のネックとなる工程に高能率林業機械を導入するなどの工夫、改善を行う。
<p>✓ チェックポイント・・・リストアップの例</p> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>伐木作業（車両系伐木機械） 林内を車両が移動しながら伐倒・造材 機種の移動経路と堆積み位置は、伐木作業時間だけでなく後続する集材作業時間にも関係</p> <p>このため、機械作業の効率化を図る伐採方法（列状伐採など）、直線的な作業空間の確保</p> <p>集材工程との作業連携を円滑にするための作業分担のあり方がポイント</p> <p>伐木と集材の作業分担のあり方の例として林内集積（極積み）間隔の問題</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>集材作業（車両系・架線系機械） 林内に散在する材の木寄せ・横取りを行い、集材車両や架線搬送器が土場から林内（先山）まで往復移動することにより、木材を運搬</p> <p>路網密度や索張り線密度、路網や索張り線の配置は、木寄せ・横取り距離に影響</p> <p>また、路線線形や路網規格は車両の走行速度に関係</p> </div> </div> <p>フォワーダの例！</p> <p>このため、集材距離や木寄せ・横取り距離の短縮、走行速度の向上がポイント</p> <p>路網配置や路網密度、土場配置、路線線形、幅員、縦断勾配、索張り本数や索張りの配置、搬出方向（上荷・下荷）などが問題</p> <p>次項</p> <p>15</p>	<ul style="list-style-type: none"> 時間観測のチェックポイントとして、車両系伐木機械（ハーベスタ、プロセッサ）、車両系・架線系機械を示した。ここでは、車両系集材機械として近年急速に普及しているフォワーダを取り上げ、次項以降に調査分析の方法、問題設定の考え方、調査結果から路網にどう還元していくかについて事例を示す。
<p>✓ チェックポイント・・・フォワーダ集材走行の例から</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>調査・分析例 集材路幅員、曲線半径、縦断勾配、積載量の影響</p> </div> <p>(問題点の把握)</p> <p>原因の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 積載オーバー 足が強い 集材距離、木寄せ距離が長い <p>改善点の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 積載量のより大きな機械の導入 複数台によるピストン輸送の検討 走行速度のより速い機械の導入 集材路幅、路網勾配・線形の手直し 作業道新設・集材路延長の増加 <p>効果</p> <ul style="list-style-type: none"> 1回当たり集材量の増加 待ち時間の減少 集材走行時間の短縮 <p>留意点の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械経費増大 路網新設・定員費の増大 維持管理費の増大 コストメリットの検討 <p>岡(手持ち)</p> <p>16</p>	<ul style="list-style-type: none"> 図はフォワーダの「走行時間がかかる」という事象から推察される原因、その改善策、方法、期待される成果および留意すべき事項を模式的に示したものである。これらは、数々の調査事例から得られたヒントを適宜まとめたものであり、考え方の例として示した。

■ フォワーダ走行速度を指標にした集材路の評価 1

✓ 縦断勾配、曲線半径の影響評価



対象機械の例

17

- ・ フォワーダの走行速度は集材時間に大きく影響する。ここでは、作業路の縦断勾配、曲線半径、幅員の影響がどの程度走行速度に影響するかを明らかにするための調査事例を示す。

調査方法 1

- ① 関東地域の3県、4集材路線、5機種のフォワーダを対象に、車両走行をVTRで時間観測。事前に路線測量を行い、線形等の変局点に10~20m間隔で目印となるハタを設置。ハタの通過時間と区間から、区間走行速度を求めた。
- ② オペレータはフォワーダ運転に習熟しており、路面が良好な状態のもとで実施。走行調査は、空車、半車(約1.5m³)、満車(約3.0m³)状態で、通常の作業速度で実施した。

集材路線の概要および対象機種

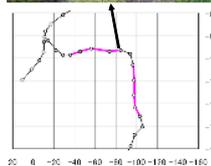
調査地 No.	所在地	設置区間数	区間平均幅員 (m)	幅員 (m)	区間縦断勾配 (%)	最小曲率半径 (m)	平均曲率半径 (m)	対象機種	車幅 D (m)	
										区間平均幅員 (m)
1	茨城県 鹿野七倉村 林地	556	52	10.3	2.4~3.6	23.3	9.3	3	MST-600	2.0
2	栃木県 氏有塩谷町 林地	413	20	20.7	2.6~3.2	7.5	4.3	20	MST-700	2.2
3	栃木県 氏有黒頭町 林地	306	18	17.0	2.6~3.4	23.2	10.6	3	RMBWD-6HG	1.8
4	群馬県 沼田沼田市 林地	524	49	10.7	2.2~3.0	16.8	7.8	3	AK-3 U-3BG	1.7 1.9
合計		1799	139							

18

- ・ 関東地域の3県4集材路線(1799m)、ゴムクローラタイプを主体に5機種のフォワーダについて走行試験を実施した(4調査路線)。

調査方法 2

- ④ 集材路幅員に関する調査は、車幅+5cmから開始。10~20cm間隔で、ポールおよびテープを用いて拡幅する模擬的な試験とした。
- ⑤ 勾配の影響を少なくするため、±5度前後の緩勾配で、直線路の確保ができる区間に設定した。



調査地 4 (沼田市) 19

- ・ 路線幅員の違いが走行速度に及ぼす影響を把握するために実施した調査方法と調査地である。
- ・ できるだけ、幅員以外の条件(縦断勾配や曲線半径など)の影響を受けない箇所に調査地を設定することが重要である(これは、他の調査でも同様)。

調査風景

— 調査地 4 —

車幅に対する集材路幅員比率の影響評価

機種	車幅 D (m)	集材路幅員 W (m)									
		1.75	1.85	1.95	2.05	2.15	2.35	2.55	2.75	3.00	
AK-3	1.7	1.75	1.85	1.95	2.05	2.15	2.35	2.55	2.75	3.00	
	W/D	1.03	1.09	1.15	1.21	1.26	1.38	1.50	1.62	1.76	
U-3BG	1.9	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.55	2.75	3.00	3.25	
	W/D	1.03	1.08	1.13	1.18	1.24	1.34	1.45	1.58	1.71	



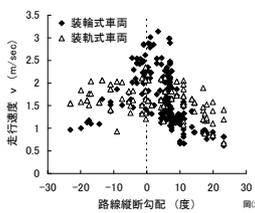
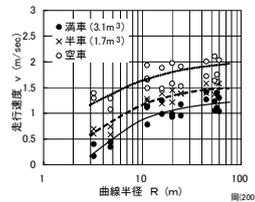
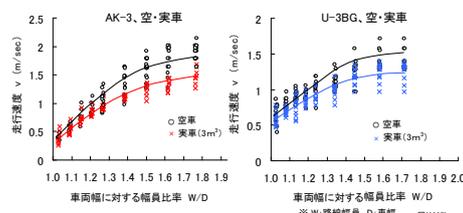
AK-3 (D=1.70m)

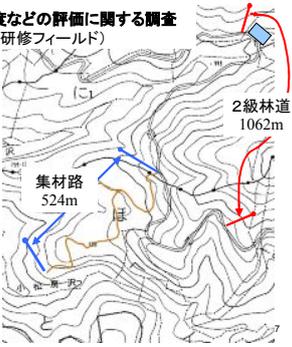
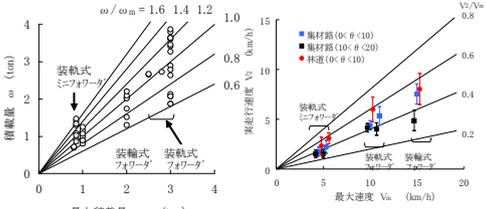


U-3BG (D=1.90m)

20

- ・ ここでは、2機種のゴムクローラタイプフォワーダ(最大積載量3ト)を対象に、車幅とほぼ同幅員から1.7~1.8倍程度に路線幅員を変化させた。

<p>調査風景 — 調査地 4 —</p>  <p>狭幅員 (1.75m、W/D=1.0) 広幅員 (3.0m、W/D=1.8) 21</p>	<ul style="list-style-type: none"> 機械幅ぎりぎりの路線幅員と3m幅員の走行試験の風景。実際に作業路を作設して行うべきかもしれないが、事故を避けるため、模擬的な幅員を設定した。
<p>結果と考察 1 — 地形傾斜と走行速度の関係 —</p>  <p>フォワーダの走行速度と路線縦断勾配の関係 (空走行) ※ ヘアピンカーブは除く</p> <p>22</p>	<ul style="list-style-type: none"> 結果の1つ、縦断勾配との関係。上り、下りとも縦断勾配の増加に伴い走行速度は減少する傾向が確認され、足回りの違い(装輪式:ホイールタイプ、装軌式:クローラタイプ)がみられた。
<p>結果と考察 2 — 曲線半径と走行速度の関係 —</p>  <p>フォワーダの走行速度と曲線半径の関係 (装軌式) ※ 縦断勾配 $\theta < 10$度の区間</p> <p>23</p>	<ul style="list-style-type: none"> 結果の1つ、曲線半径との関係。曲線半径が小さくなるほど、切り返しなどにより区間の走行速度は低下する。特に、満車状態では速度の低下が顕著にみられた。
<p>結果と考察 3 — 路線幅員と走行速度の関係 —</p>  <p>※ W: 路線幅員、D: 車幅 2007</p> <ul style="list-style-type: none"> 空走、実走とも幅員比率(W/D)が1.3~1.4までは、速度は増加傾向がみられた。 W/Dが1.5以上では、速度は横ばい傾向。W/Dが1.2以下では、空走、実走とも速度の差は小さい。W/D1.0付近の初期値の違いは、習熟の影響と考えられる²⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> 結果の1つ、車両幅員Dに対する路線幅員Wの増加に伴い、走行速度は空車、実車とも増加傾向がみられた。 2機種を用いた調査結果、いずれも路線幅員比率(W/D)が1.3~1.4までは増加傾向となった。以上から、幅員比率が1.4以上であれば走行速度の向上が期待される(小曲線部等は除く)。

<p style="text-align: center;">フォワーダの走行速度を指標（まとめ1）</p> <ul style="list-style-type: none"> 路線の縦断勾配と走行速度から 走行速度は縦断勾配の増加に伴い減少。 縦勾配（±7度以下）では最大走行速度は、装輪式車両＞装軌式車両。±7度以上では装軌式車両が優位。 路線の曲線半径と走行速度から 走行速度は曲線半径の増加に伴い増大。 R=10m付近に速度の変曲点が見られ、R<10mでは空車、実車とも、走行速度の減少傾向が大。R>10mでは横ばい傾向。 路線の幅員と走行速度から 走行速度は路線幅員の増加に伴い増大。 路線幅員が車幅の1.3～1.4倍付近に走行速度の変曲点が見られ、1.5倍以上では横ばい傾向。 <p style="text-align: right;">25</p>	<ul style="list-style-type: none"> 以上の調査結果、フォワーダの走行速度に及ぼす路線縦断勾配、曲線半径、幅員の関係からまとめた。
<p style="text-align: center;">■ フォワーダ走行速度を指標にした集材路の評価と</p> <p style="text-align: center;">✓ 実作業におけるフォワーダの機械性能(走行速度など)の評価</p>  <p style="text-align: center;">写真機械の例</p> <p style="text-align: right;">26</p>	<ul style="list-style-type: none"> さらに、フォワーダ（林内作業車はミニフォワーダとした、を含む）は実際の作業でどの程度の機械性能を発揮しているか、最大積載量に対する実積載量、最大走行速度に対する実走行速度（最大値はいずれもカタログ値）調査した。
<p style="text-align: center;">フォワーダの走行速度などの評価に関する調査 (林業機械化センター研修フィールド)</p> <p>試験(2007.7.20) フォワーダ走行速度 (U-3BG,AK-3)</p> <p>1) 林道(2級) 2) 集材路</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 林業機械化センター（林野庁）橋梁を得て、2級林道と集材路での走行調査を行った。データには当該箇所での調査例以外の資料も含まれる。
<p style="text-align: center;">フォワーダの最大積載量と積載量との関係</p>  <p>注1) 積載量ω/最大積載量ω_mが20%以内の資料を用いた 注2) エラーバーは標準偏差を示す フォワーダの最大速度と実走行速度との関係 圖(2007)</p> <p style="text-align: right;">28</p>	<ul style="list-style-type: none"> 調査結果、実車時におけるフォワーダの積載量は最大積載量の0.6～1.6倍程度であり、走行速度は最大速度の0.2～0.7倍程度であった。 路線の規格が高規格であり、縦断勾配小さい路網ほど機械の性能を向上させる可能性が高いことが推察される。

システム区分1 (システムの特徴)

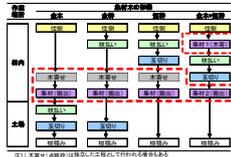
作業工程	全木	伐出システム	解説
1 伐倒のみであり、林内での作業数は少ない。	伐倒および積出し。	伐倒、積出し、玉切りなど林内での作業数が多い。	
2 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
3 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
4 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
5 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
6 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
7 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
8 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
9 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
10 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
11 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
12 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
13 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
14 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
15 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
16 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
17 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
18 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
19 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
20 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
21 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
22 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
23 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
24 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
25 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
26 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
27 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
28 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
29 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
30 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
31 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
32 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
33 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	
34 集材距離が長い4分は伐倒の倍(積出し)に手	集材距離が短い。林内での作業数は少ない。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	集材距離が長い。林内での作業数は多い。一旦に大量の木材を運ぶ必要はない。	

集材方式の違いは、林内での作業工程数にも影響するだけでなく、使用機械にも影響してくる。例えば、短幹集材方式では、林内で伐倒から造材を行い、集材機やフォワーダなどで林道端の山土場まで搬出される。

システム区分2 (作業機能から)

伐出作業を集材機能からみると

- 林業機械(作業内容)
 - 切り倒す(伐倒) ..
 - 集める、運搬する(集材) ..
 - 丸太にする(造材) ..
 - 並べる、仕分けする(積積) ..
- 生産システム(集材機能から)
 - 機動性(小回り) ..
 - 輸送性(搬出量) ..
 - 到達性(アクセス) ..
 - 連携性(工程間) ..



図中の赤点線枠は木寄せ、集材、搬出
 集材機能として求められるもの
 ⇒ 生産システムの区分に応用

伐出システムは、いわば林内から山土場までの木材輸送を行うものであり、先出の図を例にとれば、赤点線枠が木材輸送に該当する集材工程(木寄せ、集材、搬出)である。

ここでは、集材システムを機能面からとらえ、機動性、輸送性、到達性の観点から区分を試みた。

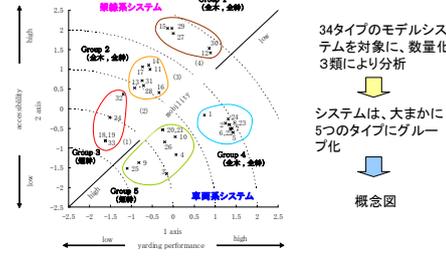
表一 伐出システムのパターン分析に用いたモデルシステム

システム No.	集材機系	伐木	木寄せ	集材	集材機	造材	積積	工程数	機動性
1	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	4	4
2	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	4	7
3	短幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	2
4	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	3	2
5	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	6
6	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	6
7	全幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	6
8	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	6
9	短幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
10	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
11	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	4	5
12	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	4	5
13	全幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	7
14	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	7
15	短幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	5	8
16	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
17	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	3	4
18	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	4	6
19	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	1	6
20	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	1	6
21	短幹	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
22	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
23	全木	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3
24	#	全木	全木	全木	全木	全木	全木	2	3

システム区分2の解析に用いた作業モデル
 ※システムNo.11 ~20、29~31は省略

機能面からのシステム区分は米国の軍事設備の輸送の面から Fisher (1974) による文献がある。伐出システムにおいては、これまで分析例が無かったことから、わが国の間伐における作業システムを 34 タイプにモデル化し、地形傾斜、集材距離、集材木の形状、工程数など 9 要因をもとにパターン分析を行った。

システム区分2 (結果) .. グループ化と軸の解釈



34タイプのモデルシステムを対象に、数量化3類により分析
 システムは、大まかに5つのタイプにグループ化
 概念図

システムは、集材機械から大まかに集材機系、タワーヤード系、スイングヤード系、スキッダ系、フォワーダ系 5 つのタイプにグループ化された。
 座標軸等の解釈から、輸送性、到達性、機動性 (45 度線) に区分された。車両系は一般的に機動性が高く、原点に近いほど小回りの効くグループである。

<p>✓システム区分2・・集材特性を考える(概念図)</p> <p>3つの集材特性が示唆 1軸:集材性 2軸:到達性、 45度線:機動性</p> <p>システムの考え方として 確立されたものでない</p> <p>もの見方, 考え方 の1つとして</p> <p>図(2006) 37</p>	<ul style="list-style-type: none"> 機能的な観点による伐出システムの区分は、一般化されたものではないが、1つの考え方として示した概念図である。 ここでは、それぞれ3つの機能(集材特性)をつなぐ要因として、集材距離、集材量、土場形態(土場の大きさ、配置)を提示したが、今後さらに検討すべきであろう。
<p>✓システム区分2・・特徴(集材特性・機能的観点から)</p> <p>i)機能向上とシステム改善の考え方 一実例をもとに 機動性!</p> <p>表一 機能面からみた伐出システムの特性 1</p> <p>機動性 (mobility)</p> <p>機動性の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 架設撤去の容易さ、早さ ⇒ 迅速な移動・展開 ⇒ 高密度路網、路網間隔狭い ⇒ 短距離集材型 ⇒ 少工程システム ⇒ 小面積、分散 <p>図(2001改) 38</p>	<ul style="list-style-type: none"> それぞれの特徴がわかれば、システム改善の糸口も見えてくる。機動性を向上させるには、機械の架設撤去の容易さ・早さ、機械やシステムの迅速な移動・展開、高密度路網で路網間隔狭いこと、短距離集材型の集材システム、少工程(少人数)システムとなること、対象地として小面積で分散的に対応することが必要。
<p>ii)機能向上とシステム改善の考え方 一実例をもとに 集材(輸送)性!</p> <p>表一 機能面からみた伐出システムの特性 2</p> <p>集材性 (yielding performance)</p> <p>集材性の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 積載能力の高い機械 ⇒ 複数台の集材機械 ⇒ 高速走行可能 ⇒ 路線線形 ⇒ 中～長距離型 ⇒ 大面積、集中 <p>図(2001改) 39</p>	<ul style="list-style-type: none"> 集材性(輸送性)を向上させるには、積載能力の高い機械、複数台の集材機械使用、高速走行可能な機械使用、それを可能にする路線線形が必要となる。対象地として中～長距離型の集材、大小面積で事業地が集中してある場合や工期が短い場合に対応することが必要である。
<p>iii)機能向上とシステム改善の考え方 一実例をもとに 到達性!</p> <p>表一 機能面からみた伐出システムの特性 3</p> <p>到達性 (accessibility)</p> <p>到達性の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 到達困難地で適用可能 ⇒ 長距離集材、多段集材 ⇒ 中間土場 ⇒ 複合システム (架線系+架線系) (架線系+車両系) ⇒ 低規格路網の導入 <p>図(2001改) 40</p>	<ul style="list-style-type: none"> 到達性(アクセス)を向上させるには、到達困難地で適用能力の高い機械、長距離集材や多段集材が可能な機械の使用(この場合は中間土場が必要となる)。あるいは、作業システムとして架線系+架線系、架線系+車両系といった複合システムの採用、中間土場付近まで低規格路網を導入することなどが必要である。

■ システム生産性の改善

- ✓ 工程ごとの作業時間とシステムの作業時間
- ✓ 作業時間短縮(=生産性向上)のために

- 1)各工程の作業時間を短縮する
 - ・ 生産性の向上、作業方法の改善
- 2)工程ごとの作業重複時間を出来るだけ増やす
 - ・ システム全体の作業時間が縮減される
 - ・ 同時並行的に作業する(ケース1、4の比較)
- 3)工程間の作業待ち時間を少なくする
- 4)ネックとなる工程の作業時間短縮をまず行う
 - ・ 機械台数増、機械性能増、路網整備、作業分担(生産性の高い機械によるフォロー)
- 5)工程の生産性の不均衡を是正する ⇒ 高い方にシフトアップ 41

これらの状況を踏まえた上で、システム生産性を向上させるため、いくつかのポイントが考えられる。1) 各工程の作業時間を短縮、2) 工程ごとの作業重複時間を出来るだけ増加、3) 工程間の作業待ち時間の縮減、4) ネックとなる工程の作業時間短縮、5) 工程の生産性の不均衡を是正(高い方にシフトアップ)。

✓ 工程ごとの作業時間とシステムの作業時間

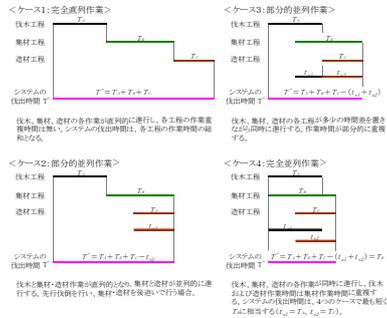
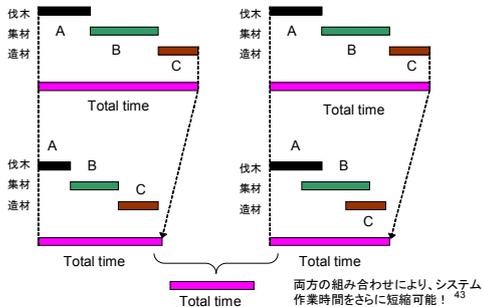


図1 システム作業時間のモデル(並列作業)

最初に示したように、生産性は単位時間あたりの作業量(m³/時)もしくは、単位人・時間あたりの作業量(m³/人時)である。これまでフォワーダを例に改善に向けた色々な工夫を示した。

図は組作業(システム)における作業時間の概念図であり、4つのケースにより全体の時間が違うことが把握できる。

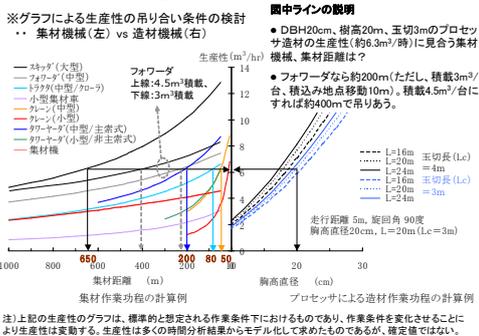
✓ システム作業時間短縮の基本 ・・ 工程の生産性Up、作業重複各工程の生産性Up(作業時間短縮) 工程の作業時間を重複



両方の組み合わせにより、システム作業時間をさらに短縮可能! 43

この図では、端的な例として、ABCの各工程の作業時間を短くすること(すなわち生産性向上)と工程間の重複時間を増やすことを模式的に示した。それぞれ、システム全体の作業時間短縮につながり、これらを組み合わせることさらにシステム全体の単位時間短縮が期待できる。

✓ システム作業時間短縮の基本 ・・ 生産性のバランス



この図は配付資料には無かったものであるが、工程間のバランスを均衡化させるという観点から、集材と造材の生産性の釣り合い条件をグラフ的に示したものである(集材の図は配付資料)。

グラフからプロセッサの生産性に見合う凡その集材距離が把握でき、必要な集材距離を検討する際の基礎資料となる。

<p>5. わが国の素材生産の生産性の現状</p> <p>2000年度から主伐、間伐に区分。全体的な傾向として生産性は向上。 2006年度：主伐5.0m³/人日、間伐3.1m³/人日（総平均値） 2007年度：主伐4.6m³/人日、間伐3.0m³/人日（総平均値）</p> <p>資料：林野庁(2007)平成18年度素材生産等調査報告書</p>	<ul style="list-style-type: none"> 図は林野庁資料による、生産性の時系列変化を示したものである。2000年度から主伐、間伐に区分された（配付資料より新しい資料による）。 2006年度は、主伐 5.0m³/人日、間伐 3.1m³/人日（総平均値）となっており、傾向的には生産性の増加がみられる。
<p>(参考1) スウェーデンにおける作業機械と生産性の変遷</p> <p>⇒ 図の作業条件は不明。わが国の生産性と単純な比較が可能かどうかは、今後検討すべき課題である。</p> <p>20m³/人日の事例報告もあるが、常時達成可能かどうかは要検討！</p>	<ul style="list-style-type: none"> 図は参考として、北欧（スウェーデン）における作業機械と生産性の変遷を示したものである。機械化による合理化が見て取れる判りやすい図である。 ただし、図の作業条件やシステムなどが明らかでないため、この値とわが国の生産性との単純な比較が可能かどうかは、今後検討すべき課題であろう。
<p>(参考2) 高生産性システムの構築に関する調査例(鹿児島モデル林)</p> <p>一中傾斜地におけるハーベスタ、フォワーダシステムの作業分析と改善</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 平成19年度・・・ロングブームハーベスタ+フォワーダによる作業分析と改善 <p>■ 平成20年度・・・ウインチ付きハーベスタの+フォワーダによる作業分析と改善</p>	<ul style="list-style-type: none"> わが国の作業システムは改善の過渡期にあると考えられる。先のスウェーデンの図に赤点線枠で示したものが、現在、林野庁の補助事業で進められているモデル林での目標生産性である。 ここでは講演者が担当した、鹿児島モデル林での工夫や改善策について簡単に示す。
<p>調査試験のネライ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現状 <ul style="list-style-type: none"> 傾斜地では、林内自由走行による機械作業は困難 木寄集材作業はウインチ付きグラブ等が必要 ・ 改善・工夫 <ol style="list-style-type: none"> 1) 低コストを図るには、少機械・少人員・少工程でのシステム運用が重要・・・2人作業による作業性を評価 2) ハーベスタのブーム到達外では、ウインチ付きグラブ等の木寄機械が必要・・・機械台数削減の試みとして、ハーベスタにウインチを装着し木寄機能を付加。その作業性能を評価 3) オペレータの連携により、出来るだけ工程ごとの作業時間を重複し、1人で複数の作業種、作業機械の運用を試みた ・ 期待される成果・目標 <ol style="list-style-type: none"> 1) ハーベスタの適用範囲の拡大 2) ウインチ付きグラブが不要・・・機械経費の削減 3) 高い労働生産性の確保(10m³/人日)を目標 <p>⇒ H19年度調査(10~13m³/人日)、H20年度調査(6~11m³/人日)を達成 ・・・詳細については分析中(年度内の報告を予定)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ハーベスタとフォワーダによるシステムは2工程、2人作業が可能であり高い生産性が期待される。しかしながら、傾斜地の多いわが国では、緩傾斜地もしくは作業路上での適用となる。ここでは、15~20度程度の傾斜地において列状間伐を前提に路上から行う作業（H19）、ハーベスタに木寄機能を付加した調査を実施した（H20）。

<p>■ 平成20年度 … ウインチ付きハーベスタの+フォワーダによる作業分析と改善 … (作業の流れ…上荷から開始 ⇒ 下荷へ)</p> <p>49</p>	<ul style="list-style-type: none"> 相当の高密度路網でない限り、路上作業は困難である。H19年度はロングリーチハーベスタを用いたが、リーチ到達範囲外での伐倒はチェーンソーによった。また、上荷集材を行うには別途木寄せ機械(ウインチ付きグラップル)を用いた。このため、H20年度はハーベスタにウインチを搭載し、図のような流れで作業を実施した。
<p>■ 平成20年度 … 工程系列図…2~4工程</p> <p>※ハーベスタブームの到達範囲内にある路端の伐倒木は、伐倒・造材を連続実施。 ※下荷の場合、樹高+ブームのリーチを活かし、路端から約20mまで直接木寄せ集材を実施。 ※オペレータ2人、3人での連携による作業効率の違いを検討。</p> <p>50</p>	<ul style="list-style-type: none"> ハーベスタのブーム到達範囲では伐倒から造材までを1台で作業可能であるが、到達範囲外では、ブームが伐倒を直接つかめる範囲とそうでない範囲では工程が異なり、2~4工程の作業となった。分析中のため、暫定的ではあるが実績生産性は H19：10~13m³/人日、H20：6~11m³/人日を達成した。
<p>防護具+あて木(損傷なし) 防護具+杭留め(損傷なし)</p> <p>防護具なし ⇒</p> <p>あて木は先端を尖らせてとズレにくい</p>	<ul style="list-style-type: none"> 伐出作業では機械やワイヤロープ、集材木などが残存立木に接触、激突して損傷を与える場合が少なくない。生産性の向上を追求することは勿論であるが、間伐において、将来の林木の経済価値を損ねることは望ましくない。このため、安価で簡易な防護具を用いた残存木の損傷軽減技術の開発も進めている。
<p>(参考3) 作業改善や生産性の向上などを図る上で重要なこと … 調査や現場オペレータ等との意見交換等を通じて</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 作業に対する問題意識と工夫 2) 実行力と協調性 3) 柔軟な思考力と行動 <ul style="list-style-type: none"> … 現場状況の変化を機敏にとらえ、最適な選択肢をいくつか考え、即決し実行できる、瞬発力 … 固執しない、他人の言うことを聞く、失敗から学ぶ、柔軟な発想と種々の条件に対応できる融通性 … 切磋琢磨、試行錯誤など <p>↓</p> <p>人づくり、チームづくりがとても大切です！</p> <p>50</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本講演では、講演者がこれまで行ってきた調査研究の成果の一部を示した。しかしながら、多様な森林現場で、効率的な生産システムをすすめるための共通の回答はまだ得られていない。機械、路網、人が上手く融合してこそ効率的なシステム運用ができる。当然かもしれないが、機械やシステムを運用するのは人であり、問題意識と工夫、実行力と協調性、柔軟な思考力と行動が重要と思う。

3. ディスカッション

(発言者の表記について： 説明者→説、委員→委、アドバイザー→ア)

委：本日の講演は、個別事例をきちんと時間観測しそれらをどう改善するかに重点が置かれていた。それらを総合した標準工程をどう改善するかに議論を広げなかった。

委：スライド「システム生産性の改善」について。これは、日本の標準性をどうしようかと言う議論の中心になる話かと思う。日本の場合、工程数が多い。アメリカなどはハーベスタ、フォワーダ、スキッダあたりを用いてよりシンプルに行われる。生産性向上のための策として工程数を減らすという項目があるべきではないか。その辺りをどうお考えか。

説：その通り。工程数を少なくする、できれば使う機械を減らすことが重要だと考える。それを実証するために低コストシステムでやった事例（参考3）を時間があれば紹介したい。工程が少ないと、人も少なくて済むし融通が利く。

委：工程を少なくする、また工程の独立性を高めれば工程間の調整が容易になるのでは。あるいは、講師の岡氏も指摘していたが工程間格差を少なくすれば良いではないか。伐倒、造材、搬出の量を等しくすれば作業の無駄は生じない。作業システムを組む時はそこから出発してどういうやり方にしていくか、という発想になるのでは。そうすると、1日当たりの理論値やボトルネックになっている箇所が出てくると思う。それで果たしてその前の工程、後の工程がどうなるかが分かる。いま必要とされる生産性とコストを考えて、システムとして良い悪いが判定できるかと思う。日本の人工林は1,000万haと超膨大である。その全てとは言わなくても700万haくらいはきちんと生産を行わなければならない。そこから逆算し、さらに材価、機械費用、賃金も加味すると、必要な生産量が出てくるはずである。私が考えるに、機械セットでやると年間10,000m³位生産しないと採算が取れないのでは。現在の生産システムでやっている場合ではない、と思う。

説：わが国の生産性の現状については、「5.わが国の素材生産の生産性の現状」のスライドや集材機械の生産性のグラフを参考にして頂きたい。それともう1つ。フォワーダ作業システムで最も注意しなければならないのは、道をふん詰まりにさせないこと（作業路でのフォワーダ走行を手詰まりにさないこと）である。路網と伐区的位置関係や伐区形状、面積にもよるが、土場に入出入する経路は迂回させてでも2つ以上作る場合が必要なケースもある。道が1本しかない、そこが雨などでやられると材が出てこなくなってしまう。

委：道を2本つけると無駄である。2箇所あった方が効率がよくなる事はあるかと思うが、1本でも材が出てこなくならないようリスクヘッジをしながら行うのが本来のやり方である。道を2本つける費用はどこからも出ない。1本の道を壊れないようにする。もう一点。フォワーダの運搬距離400mで生産20m³/日・人という話があったが、自分

の所の実績と大きく違う。4t 積みで1日 45 m³。多い所では 60 m³生産できる。距離は平均 500m程である。間伐材だからばらけて置いてあるのか一箇所に固まっているのか、さらに土場の状況にも左右される。今回の話は、現場の自分達の感覚とずいぶん違っていた。

委：機械によっても生産性はだいぶ違うと思う。それを明らかにしないと議論できないのでは。

委：自分の所の機械は今回の講演の事例と同じである。木の太さ、雨が降った後かどうか、斜度、カーブ、土場の状況などで生産性は変わってくるはずだ。

説：今回示した結果は大量のデータを平均しているので、一箇所の事例とは違うかもしれない。先ほど委員から多い所では 60 m³生産とあったが、委員の現場ではフォワーダは時速何キロで走行しているのか？ フォワーダの最大速度に近い時速 10 キロは、2級林道クラスでないと無理である。実作業では路線勾配、積載量、曲線半径、路面状態などにより走行速度が異なることはスライドで示したとおりであり、平均走行速度は最高速度の4～6割程度のレベルである。

委：生産性という数値議論をやると、数値の持つ様々な意味を分析していかなければならなくなる。1つずつの条件の議論をしても仕方ない。我々は日本の林業をどうしようかと思っているから、場所別の議論をしていくことは研究会の意図にそぐわない。システム生産性を考えた時に、今の日本林業でやっているところのどこが問題なのか、を明らかにしたい。1つ1つの作業時間を減らせていないのか、重複がうまくいっていないのか、など。どこが問題か、岡氏の意見は。

説：時間は1つの物差しである。時間を短くする、人を少なくする、量はそこそこ出す、というのが重要。生産性の理論式はいろいろ応用できる。自分の説明はミクロの議論ではないかとの指摘だったが、考え方はマクロな場合でも同じである。データを更新していくことによって徐々に適応可能な形へ変わっていくはずである。また、どこに時間がかかっているかは現場によって違う。集材か、伐倒か、など。マクロな視点からは、1つ1つの改善すべき点が見えてこない。

委：現場によって条件が違う。何が悪かったのか、どこが悪かったかを現場ごとに判定して反省会をしている。私が期待するのは、改善策の提示である。木が細かったらどうするのか、ぬかるみが多かったらどうするのか、その改善策を聞いたかった。

説：事例調査のように言われるが、どこに改善策を見出すかの考え方は違わないと思う。走りにくいなら走りやすい道を作るなど。鹿児島では走るたびに沈下する火山灰の道などがある。機械走行による路網沈下を軽減するため、路網に枝条を敷設するようにプロセッサで造材し、その上をフォワーダが走行するといった方法がある。

委：素材生産性がどこまで上がるか、それを聞けるとして楽しみにしていたのだが。

説：現時点の機械とシステムでは、間伐の場合でも皆伐の2倍くらい(10 m³/人・日)にはできると考えている(参照：わが国の素材生産の生産性の現状)。

委：何をどう変えたらそこまで到達できるのか。

説：長距離集材では高い生産性の達成は困難なので、道をつけること（アクセス性の向上）が必要である。だが、それだけではいけない。さらにシンプルな生産システム（少工程、少人数）を作ることが必要。

委：フォワーダ 1 日 30 m³/日ということは、それ以上にはならないはずである。それで 10 m³/人・日に到達するのか。

説：ハーベスタとフォワーダの 2 人組で作業を行うことにより可能であるとする。

委：ポイントは工程数を減らす事と工程間格差を減らす事と工程の独立性を高める事、の 3 つであった。

説：それともう 1 つ。工程そのものの時間短縮である。さらに工程を直列ではなく並列にすることが重要。

委：ハーベスタ（造材）がいちばん生産性は高いはずである。1 日 60 m³いくとして、その前工程のチェーンソーが 60 m³いかないと駄目であるし、後工程のフォワーダも 60 m³いかないと駄目。それが達成される必要がある。

説：車両を複数台使うなどの工夫によってそれが達成できると考える。

委：日吉の事例では、伐倒（チェーンソー）3 人、造材（ハーベスタ）1 人、搬出（フォワーダ）2 人でこれを達成している。工程間の生産性を合わせる発想でやっているところが日本では少ないと思う。

説：いちばん時間が長い工程に引きずられてしまう。それを短くする努力として機械を複数台にする、短距離集材にする、といった策がある。

委：現場はそれぞれ自己流で、原理原則が整理されていない。我々が研究者に期待するのは、原理原則をきちんと整理して現場、機械メーカーに発信する事である。古い機械を分析しても仕方なくて、将来我々が目標とするような機械開発を目指す方向で考えてほしい。現場では一般常識が一般常識化されていない。

説：データベース化するのがいちばんである。古い機械が駄目と言うのは少し違うかと思う。経済的にそれしか買えない会社もあるのだから。

委：お願いがある。結論として、人づくり・チーム作りとあった。1)作業に対する問題意識、2)実行力と協調性、3)柔軟な思考力と実施、と 3 項目が挙げられていたが、具体的にどう取り組めばそれが達成できるのかを示していただきたい。今日の話は、機械のことも人材育成のことももう 1 歩踏み込む前で止まってしまっている気がする。

説：事例を紹介したい。人づくりについて。機械操作が上手か下手かによってどのくらい違うかの調査結果、習熟の問題である。上手下手は、時間観測の時などに見ていれば分かる。沼田で半年間機械を使わないように頼んで試験を行った。グラップル操作が基本なので、フォワーダのグラップル操作について調査した。機械操作の動きが、慣れるとだんだん良くなっていくことが解明された。同じ作業を 5~6 回経験することで、かかる時間はぐっと減ることが分かった。これらを 1 つ 1 つ提示していく必要がある

と考えている。これはあくまで 1 つの事例だが、今回の講演では、委員の期待するところと説明者に十分答えられない部分もあったが、事前にこういう条件でやったらどうか、と単刀直入に聞かれた方が答えやすい。できるだけ特化した方向（条件付け）から調査を開始し成果を早く出す、という風に心がけている。

委：「スウェーデンにおける作業機械と生産性の変遷」スライドについて。講演で紹介された図は 2000 年までのものだったが、スウェーデンの研究所が発行する 2008 年 1 月号のニュースで 2000 年以降の図が出ているのを発見した。生産性が 2005 年くらいで 25 m³まで達している。統計の取り方は、出てきた材を投入時間で割り戻すというもの。投入時間には保育まで含まれている、現場の作業全てを含んでいるということである。さらに、目標も掲げられている。2010 年までにさらに 50%上げるとしている。目標設定をどう考えるかということと、労働時間まで把握しているという事で、これは日本では難しいかもしれないが、生産性をどういう形で把握しどういう形で分析していくか、日本はどうすべきなのか。森林総研の「研究の森」で、生産性 2010 年 10 m³/人・日、2050 年 20 m³/人・日だったと思うが、これの妥当性に関して個人的にはどうお考えか。

説：2050 年にその程度かと思っている。もっと高い目標が可能と思う。「(参考 2) 高生産性システムの構築に関する調査例 (鹿児島モデル林)」を参照して頂きたい。この事例調査では条件にもよるが既に 10 m³/人・日を達成している。なお、「わが国の素材生産の生産性の現状」のグラフはスギだけで 300 以上、全体で 500 もの事例をとっているはずである。細かいところは分からないが、データ量はかなりある。ここで問題なのは、条件が良いも悪いも全て込みの状態である。ここでは、作業時間ではなく延べ人数の把握である。セット人員は分かっているが、作業日数が分からないので時間に換算できない。使っているデータの信憑性を私に問われてもどうしようもないが、主伐と間伐を分けたり、人夫数を一括りではなく工程ごとに分けたり、集材距離の条件を比較するといった努力を行い、生産性の変動要因の解明に取り組んでいる。

委：ご意見を聞きたい。スウェーデンは不連続に段階を踏んで生産性が上がる。日本でも技術革新が起きて上がるのか、また上げるにはどういう機械の開発が必要なのか、あるいは資源の成熟を追い風に底上げして上がるのか。見込みやお考えがあれば伺いたい。

説：個人的な意見としては、生産性が 2004、2005 年に下がって 2006 年だけ上がっている原因が分かっていない（参照：わが国の素材生産の生産性の現状）。距離のとり方がおかしいのか、正確に測っているのか、平均をとっているのか。伐区図があれば、集材距離や集材経路が概ね把握できる。諸条件を整理すれば、その理由も推測できると思う。道を入れること、トラックが入れると更に良い。フォワーダが必要なくなる。1 つ 1 つの工程が削れるならば削って行くが良い。当然、生産性は上がって行くと思う。材の成熟度もあるし、オペレータの習熟度の向上もあろう。

委：我々がやらなければならないのは、スウェーデンの産業の賃金上昇に負けない低コストである。材価一定の中でコストを削減して生産性を上げ森林を確保しようということだが、もう1つ日本にとってひっ迫しているのは、林業人口が下がって25,000人になっていく、そうすると1人1日10 m³出したとして年間5,000万m³しか出ない。となるときちんとした森林計画と他の産業の賃金に負けない生産性が必要になっていく。その中で技術革新をどうするか、どういう機械開発が必要なのか。路網整備や人材育成もあると思うが。まだまだ努力していかなければならない。資源の成熟によってずっと生産性は上がるのか。

説：北欧などでは、林業に携わる人の地位や賃金、やる気などが日本と違うのではと思う。日本の従来の考え方、方法ですっとやっていると無理。このままでいいやという状況で、どこが悪いのか分からないというのでは駄目になると思う。

委：フィンランドにもスウェーデン同様の図がある。ドイツやオーストリアではこれに匹敵するものは見たことがない。北欧ではハーベスタ・フォワーダのシステムでやっていると、単純化してできると思うが日本ではどうか。フィンランドではハーベスタもフォワーダも1300台所有しており年間5,000万m³くらい出しているの、1人年間20,000 m³。これはあくまでも完全機械化の場合であり、中央ヨーロッパの場合は機械の普及度によって差が生じる。日本の場合フィンランド同様にやるのは危険。労働生産性の場合、フィンランドは出ているが、単に1人当たりの生産性ではなく、労働コストと材価を勘案しての経済学的な労働生産性である。1950年代から2000年まででおよそ3倍になっている。材価と賃金とトータルで1人当たりどのくらい上がったのかという評価が必要。日本の場合、材価が下がって賃金そのまま、生産性が上がったとしても相殺されている可能性がある。1人当たりの生産性はあくまでそれに過ぎない。

もう一点。コストの話がある。コストがきちんと把握できないと目標設定もできない。1人10 m³/日というが、これで採算取れるのかという事まで含めてトータルに考える必要がある。現状としてこれくらい欲しいというのがあるはず。そこから逆算して考えないと。

委：意見がかぶるが、日本の山も、北海道から九州まで色々である。ハーベスタが使える所もあれば、昔ながらの架線集材の所もある。自分の所は後者で、新型タワーヤーダが良いかと考えている。そういう場所での生産性はどうか、と2つか3つかのパターンに分けてそれぞれを考えていかないと。先程話が出たが、1,000万haある人工林のうち700万haをやらなければいけないということであれば、この700万haについてのどのくらいの生産が見込めるかを考える必要がある。目標とする生産を見込めないのであれば、収穫林としてギブアップして環境林に持っていかるとか。そういうデータを少しでも提供していただければと思う。

ア：列状間伐が出てきた。話だけ聞いていると列状間伐の生産性が高いということだった

が、だから良いのかという議論が必要である。高いというのは、今の収穫の生産性の話である。今後、次の間伐の生産性、目標林型、今後作るべき基盤にとって今の列状間伐が良いのか、というところまで議論していただきたい。

説：列状間伐のメリットは、直線路の確保である。点状間伐だとワイヤーが近付くことや林内車が入ることで木が傷つく。列状間伐しておくことで、残存木が傷つきにくい。当然林縁木は傷つく。スイングヤードによる列状間伐の事例調査であるが、伐採列の後方（先柱側）から集材するという方法をとることで立木の損傷を大幅に防ぐことが可能である。今後、更なる検討は必要であるが、列状と点状の間伐で差が出るのは初めの1回か2回。その後の間伐ではどちらでも密度が低くなるから生産性の差は出てこないかと思う。

ア：傷をつけないとか、安全性を考えて列状間伐がいいということは分かる。そういった技術の未熟さを回避するために列状間伐をやっているというのでは、現場の技術向上の芽を摘んでいるし、駄目なのでは。現状では列状間伐しか選択肢がないという場合に関して列状間伐の効果を評価する、というスタンスで言うのであれば。

委：現場を見た印象では、列状間伐をやっていてそればかりになると、列状間伐以上のことができなくなる可能性も出てくるのではと思う。林業はその場その場で必要とされること（施業技術）があるから、状況に応じて列状にするか定性（点状間伐）にするかの技術方法を変えていかないといけないと思う。

説：列状間伐をやっている人は点状間伐もやっている。列状はあくまでパスとして道を入れるため、列状と点状を合わせてやっている人が多い。列の方向を等高線上とか斜面上とかモザイク状とか、様々にできる。残された木のことも考えることは重要。あと難しいのは、伐倒方向の問題である。

委：今回のセミナーでは、生産性の問題をたくさんのデータを使ってご説明いただいた。考え方をもう少し整理する必要があるのではと思った。目標をどう考えるか、それに対しどう取り組むかを整理すべき、といった考え方を持つ必要がある。どういう仕組みでどういう事をするか目標達成できるのか。その際に、現地の状況を考えて類型化する必要がある。

もう1つ、それらを議論するデータとしてきちんとしたものが無い。ベースとなるデータがあやふやなものしかない。どうデータ収集すべきか。時間観測まで戻るべきなのか、把握の仕方を考えなければ。どういう形でどういう風に類型化してどういうデータをとるのかを議論し直す必要があると感じた。集約化、路網、機械、生産性、全てが関連していて全体として考えなければいけない。生産性を上げていってもコストは一定の所で下げ止まる。生産性を上げてしかもコストを下げる仕組みを考え直さないといけない。コストをどう考えるかももっと詰めない。いずれにしても、全てが関連して考えていかねばならない問題なので、委員会で議論の仕方を整理する必要がある。講師の方々も含めて議論する機会も持つことができれば良い。