

第2部 資料

資料3：富士森林再生プロジェクト 日吉町森林組合研修報告	58
資料4：富士森林再生プロジェクト 生産性分析結果と生産性改善に関する提案	66
資料4：富士森林再生プロジェクト システムダイナミクスによる生産性改善に関する分析	80

「富士森林再生プロジェクト」 日吉町森林組合研修報告

日吉町森林組合参事 湯浅 勲
農林中央金庫農林部森林班 部長代理 大山 聡

2004年8月2日から6日にかけて、日吉町森林組合にて、「森林プランづくりと施業の取りまとめ」に関する事前研修を行ったところ、以下にその概要を報告します。

1. 研修の趣旨

台風10号が豊後水道を北上して、四国地方に大雨を降らした翌8月2日、「富士森林再生プロジェクト」の遂行メンバーが京都府日吉町に集合し、8月6日までの5日間にわたる「森林プランづくりと施業の取りまとめ」に関する事前研修を行いました。集まった顔ぶれは、取りまとめを実際に行う静岡県富士森林組合から3名、静岡県森連から2名、静岡県富士農林事務所、全森連、農林中金から各々1名の、これからプロジェクトを直接・間接に遂行される7名の人達です（農林中金は途中参加）。

この研修は6月の全体会合の時に決まったもので、狙いは富士山麓の小規模所有者を取りまとめて森林整備を行うに先立ち、まずは日吉で実践している森林調査・プラン作成・作業路開設などの「森林コンサルティング業務」をしっかりとマスターした上で、それを本プロジェクトの実践地である静岡県へ持ち帰り、富士の実状に合わせてアレンジしようというものです。

2. 研修カリキュラムと実施内容

1) 働きかけの必要性とその意義についておよび現場見学（1日目）

まず事務所にて、町内全体図から対象現場の絞り込み、踏査、作業路設定、地域組合員との座談会、森林調査・プラン作成、送付、施業、完了報告、精算に至る一連の流れの説明を行った後、実際の契約プラン・完了報告書を手し、作業現場および完了現場を見学し、意見交換を行いました。



今日が初日という事もあってか、皆さんやや緊張されていたようです。でもそこは森林に携わる面々、プランを手に現場へ出ると目の色が変わり、間伐率の決定方法や材価、作業路開設時における問題点など、様々な質問をしながら現場を見渡されていました。

2) 「森林プラン」作成にかかる現場調査（2、3日目）

2日目は、作業路ルートの設定・測量と森林調査を行いました。

この二日間は、今回のメインとなる森林現場での実施研修です。研修会の対象地には、面積5ha、所有者12名、林齢26～55年の人工林で、過去に一回以上の伐り捨て間伐が実施されており、地形が比較的なだらかで富士山麓林分のイメージに近い森林を選びました。

研修は7名、2班に分かれてもらって山も2つに分け、自分たちが林分調査した範囲は自分たちで作業路の測量までするという方法を採用しました。例えばB班は、初日に一人一人が釣り竿を回して林分毎の成立本数を確認して間伐率を出した上で伐採木の平均径を計ります。2日目は同じ場所で作業路ルートを決めて測量をし、実際に使えるプランを全員の人に作っていただきました。

皆さん最初は少しとまどっておられましたが、そこはやはりプロ。内容が把握できて要領がのみ込めるとさすがに手際よくなり、2日かかると見積もっていた現場調査が1日半で終わってしまいました。そこで仕方なく、日程を前倒しして5日の朝から予定していた「森林プラン」の作成を4日の午後から始める事にしました。

このあたりまで来ると皆さんかなりノッてこられた様子で、それまでこの研修を横目で眺めていた当組合の総務担当も「初日は怪訝そうな顔をした人もおられましたが3日目くらいから雰囲気が変わり、朝のあいさつも明るい感じになりましたよ」と言っていたほどです。



3)「森林プラン」づくりの実践（4日目）

予定の半日先を進んでいた研修ですが、この「森林プラン」作成も内容さえしっかり理解できていると特別に難しいものではないので、予定通り丸1日で所有者別の12枚の「森林プラン」が全てでき上がりました。そこで協議したところ、空いた半日を利用してもう一度作業中の現場を見学する事にしました。

またこの日の昼、「この格好で東京から来た！」と作業着姿で汗を拭きながら組合事務所へ入ってきた人がいます。農林中央金庫農林部に所属する本プロジェクトの事務局長代理です。午後の現場見学から皆さんと合流する事になりました。

現場へ行くと、初日と違って皆さんプランの中身がわかったのと互いに信頼関係が生まれたせいか、質問内容も初日とは違って変わり、核心に触れたものが多くなりました。例えば富士森林組合の若い人から作業路に関する問いで、「どういうルートでどこまで開設すれば良いのかをどうやって決めるのか」というのが出ました。とても難しい質問です。同一林分でも沢と尾根近くの木ではかなり違うので、間伐した木を全て搬出すべきか沢筋の良いところだけを出して残りは伐り捨てた方がベターなのかは山によって異なります。それも費用対効果だけで判断するのか次回間伐の事まで考えるのか、所有者の意向はどうか、また所有者が複数の場合は作業路の負担割合の問題なども出てきますから、様々な判断基準が必要となりますので。

この時はそれらを詳しく説明した上で「ケースによって異なる」と答えるしかありませんでした。

このように、実際の取りまとめでは技術的な問題よりも所有者の山に対する考え方や所有者同士の間関係にまで踏み込まなければならない場合が意外と多く、技術問題よりもむしろこちらの方が解決しにくいという例も珍しくないのです。ただここで、森林組合と所有者の信頼関係がしっかりしていれば案外簡単に解決する場合もあるのですが、それは実践して行く中で自ずと分かってくる事ですから、この時はそれには触れませんでした。

でもこういう質問が出たのは、富士へ帰って実際に取りまとめる場合のシュミレーションが頭の中でできている証拠でしょうから、多少なりとも研修成果が出つつ



あるのかなあと嬉しくなりました。

この日の現場見学終了後、最後の夜という事で皆が持ち寄ってバーベキューパーティを催しました。互いに気心が知れたのと少しアルコールが入った事で、仕事とはまた違った話が出たりしてとても楽しい一時でした。

4) 問題点の確認 (5日目)

いよいよ今日が最終日。でも技術的な問題点や改良点などは前日までの話の中で解決してきたので、急遽、事務局長代理がリーダーとなって研修の感想と今の想いを皆さんにヒヤリングして、以下のようにまとめてくれました。

4.1) 日吉へ来てわかったこと (得たこと)

- ・ 仕事に対する情熱が大事。
- ・ 一人一人の職員が組合の経営について考えている、原価意識がある。
- ・ 作業路線のセンターを素早く決められる。
- ・ 結果を積み上げてデータ化することが大事
- ・ 釣り竿は便利
持ち運びに便利だし、先が柔らかくて回すときに楽である
- ・ 作業員と事務員の連携が大事
意識改革、情報開示、一体化
- ・ 一人一人が公益性を考える事が大事
- ・ 富士でも「森林プラン」を作る事は可能だ

4.2) 今後の取り組みイメージ

- ・ 国土調査の終了している栗倉地区 (富士宮市) から進める。
- ・ やれるところからやる。
- ・ 5ha 程度、良い木があるところ、山が荒れているところを優先して行う。
- ・ 最もやりやすく失敗しないところから始める。
- ・ 地域の山林所有者との座談会を行う。



4.3) このプロジェクトは森林組合再生事業でもある

- ・組合再生プランを作り理事を説得する。
- ・地に足をつけ身の丈にあった事からコツコツと行う。

4.4) 9月2日（※次回の打ち合わせ日）までにやること

- ・森林プランの富士バージョンはどうする→とりあえず日吉方式をそのまま使う（単価はOK）。
- ・まず、富士森林組合の作業員に説明する。
- ・帰ったら参事に復命すると同時に、富士地区の関係者と打ち合わせをする。
- ・候補地を具体的に絞り込む。
- ・これらと平行して組合再生計画のタタキ台を作る。

3. 研修の評価

最後に、農林中金大山部長代理が、今回の研修の評価と今後の課題についての的確にまとめてくれましたので、以下に紹介します。

1) 研修を受けたみんなの気持ちが変わった！

最終日に研修を通じてわかったことをまず言ってみようという、夏休みの林間学校の最終日のような企画をやったのですが、その中で、森林組合の方が「日吉町森林組合の職員が仕事に対し情熱を持っている、組合経営について考えている」と発言されました。また、その前日には、「富士プロジェクトは森林再生ではなくて、森林組合再生」という発言もありました。正直言って、私は吃驚しました。おそらく、日吉町森組方式成功の本質は、言われているところにあると思っていました。大変失礼ながら、いくつになっても、人は変わりうるということを体感した気がして、勇気ももらったと思っています。富士プロジェクトの成否は、現場を持つ富士森林組合のやる気次第ですから、一緒に研修を受けた組合の方々の思いも含め、非常に盛り上がった気がします。

あとは、富士農林事務所の方も言っていました、研修で持ったテンションを下げないで継続してやり抜くことが大事になると思います。

2) 「森林プラン」は、入り口は広く奥は深い！

富士森林組合の技術員の方から「森林プランの単価の根拠を実感できた、山を見るとプランの作業道とコストのイメージが沸く」との発言がありました。私は施業の見積りの基本を知りませんし、最初3日間の森林プラン作りにも参加していませんので、正直、よくわかりませんが、とにかく森林プランの前提係数はそのまま使ってみて、

あとは富士に合うように細かく変えていくということになりました。これは、森林プランの汎用性の高さを物語っていると思いますので、この森林プランは他の組合にも広げられるように思いました。

ただし、日吉町森組森林プランナーの話「森林プランは従来山により区々であった施業に共通する基準を作ったようなものだが、これからも常に変わり続けていくもの、良くしていくもの」であり、県森連の方が言われているとおり、まさに富士森林組合として「スタート台に立った」ところでしょう。

3) プロジェクトメンバーの一体感が高まった！

富士森林組合のみなさんの意欲が高まったのは何よりでした。しかし、日常の仕事に忙殺されたり、組合理事さんから反対にあうかもしれません。

そんな時に、モチベーションが下がらないよう、勇気づける存在や仕組みが必要となります。その意味でも富士農林事務所、県森連、それから全森連と一緒に研修を受けたのは心強い限りです。

富士森林再生プロジェクト
生産性分析結果と生産性改善に関する提案

静岡大学農学部 近藤恵市

I. 全体的な生産性と生産コストについて

本施業は、作業路開設と支障木伐木造材搬出作業を担当するA班と、列状間伐作業を行うB班との混成チームで行った。以下は、A班伐木造材搬出作業、A班の作業路作設作業、および3. B班間伐の生産性・コスト分析である。

1. A班伐木造材搬出作業（作業路支障木）

1) 生産性分析

出材材積 **120.349 m³** 売り上げ **1,327,753 円 11,033 円/m³**
総人工数

使用機械	作業種	稼働時間	作業時間	稼働日数	生産性
チェーンソー	伐木造材	56.08 h	6 h/日で	9.35 日	12.87 m³/日
フォワーダ	搬出・積込	32.08 h	6 h/日で	5.35 日	22.50
グラップル	集積・積込	12.33 h (10%)	6 h/日で	2.06 日	58.42
合計		100.49h		16.75 日	7.19

注) こちらで用意した野帳から集計した。

グラップルの総作業時間は 123.33 時間である。

グラップル作業の 10% を木寄せ積込として見込んだがデータの裏づけはない。

伐木造材搬出作業の生産性としては $120.349 \text{ m}^3 / 16.75 = \underline{7.19 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{日}}$ となった。

2) コスト分析

下の表は、機械費用についてコスト分析に使用した数値の一覧である。

	作業用途	稼働日数 日/月	減価償却 費 円/日	燃料費 円/日	修繕費 円/日	機械費用 円/日
フォワーダ	搬出・荷降ろし	10	19,500	2,500	6,726	28,726
グラップル	道付け・集材	20	9,000	4,000	6,989	19,989
チェーンソー	伐木造材	20	191	700	169	1,060

	価格	償却 年数	残存価値率	年稼働日数	稼働時間当係数 (修繕費)
フォワーダ	13,000,000	5	0.1	120	0.0000796
グラップル	12,000,000	5	0.1	240	0.0000896
チェンソー	153,000	3	0.1	240	0.0001697

下の表は、1日当たりの賃金を18000円と15000円とした場合の一日あたり労務費用である。

	賃金	雇用保険	労災保険	共済	林退協	通年雇用	労務費 円/日
グラップル	18,000	243	1,062	2,492	457	140	22,394
チェンソー	15,000	203	885	2,077	457	140	18,761

	機械	労務
伐木造材費用	9.35日 × (1,060 + 18,761) = 185,326円	1540円/m ³
搬出費用	5.35日 × (28,726 + 18,761) = 254,055円	2111円/m ³
集材費用	2.06日 × (19,989 + 22,394) = 87,309円	725円/m ³
合計	526,690円	

$$526,690 \text{円} / 120.349 \text{m}^3 = \underline{4,376 \text{円/m}^3}$$

この数字は、山土場までの直接経費であり、これに市場までのトラック搬出費用(2000円/m³)と間接経費を加えることが必要である。

2. A班の作業路作設作業

1) 生産性分析

幅員補修延長	136m	作業時間	4h (推定) : 0.5日
作業路作設延長	1,205m	作業時間	107.0h : 17.8日
作業路作設工事	1,205m/17.8日 = <u>67.6m/人・日</u>		

グラップルの稼働時間を6h/日と仮定すると上記のようになるが、実際のグラップルの稼働時間は8~10時間/日であるためこの数字より40~50%ほど向上する余地がある。

実際のグラップルの稼働日数は、14日間であった。

2) コスト分析

伐木造材搬出作業で使った数値を使い作業路作設コストを計算すると以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \text{作業路作設費用} & 17.8 \text{ 日} \times (19,989 + 22,394) = 754,417 \text{ 円} \\ & 754,417 \text{ 円} / 1,205 \text{ m} = \underline{626 \text{ 円/m}} \text{ となる。} \end{aligned}$$

ただし、この数字についても、実際のグラップルの稼働時間は8～10時間/日であるためこの数字より40～50%ほど向上する余地がある。

3. B班間伐

1) 生産性分析

1.1) B班の伐木造材搬出作業（列状間伐）10/21-11/24 分の生産性

出材材積 **168.51 m³** 売り上げ **2,277,467 円** **13,515 円/m³**

使用機械	作業種	人工数	生産性
チェーンソー	伐木造材	30 人・日	5.62 m³/日
フォワーダ グラップル	搬出 集積・積込・積降	18 人・日	9.36
合計		48 人・日	3.51

注) B班から提出された作業出面から集計した。

ただし、先行伐採分があるため、実際は、この数字よりは高いと思われる。

伐木造材搬出作業の生産性としては $168.51 \text{ m}^3 / 48 = \underline{3.51 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}}$

1.2) B班の伐木造材搬出作業（列状間伐）12/9-1/18 分の生産性

b-1 機械野帳から推定した生産性

出材材積 **449.78 m³**

使用機械	作業種	稼働時間	作業時間 / 日	稼働日数	生産性
チェーンソー	伐木造材	295.33 h	6 h/日 で	49.22 日	9.14 m³/日
フォワーダ	搬出	111.08 h	6 h/日 で	18.51 日	24.29
グラップル	集積・積込・積降	188.58 h	6 h/日 で	31.43 日	14.31
合計		594.99h		99.17 日	4.54

注) こちらで用意した機械野帳から集計した。

ただし、先行伐採分があるため、実際は、この数字よりは低くなると思われる。
搬出作業については、記入漏れがあるということで、野帳の集計から計算したものに、10日分60時間を加えて計算してある。

伐木造材搬出作業の生産性としては $449.78 \text{ m}^3 / 99.17 = 4.54 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{日}$

提出された作業出面から推定した生産性

使用機械	作業種	稼働日数	生産性
チェンソー	伐木造材	56日	8.03 $\text{m}^3 / \text{日}$
フォーワーダ グラップル	搬出 集積・積込・積降	54日	8.33
合計		108日	4.16

注) B班から提出された作業出面から集計した。

機械野帳から推定した生産性より若干低い値となるが、こちらの数字が現実に近い数字と思われる。

先行伐採分があるため、実際は、この数字よりは低くなると思われる。

伐木造材搬出作業の生産性としては $449.78 \text{ m}^3 / 108 = 4.16 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{日}$

1.3) B班の伐木造材搬出作業(列状間伐)全期間における生産性

出材材積 **618.29 m^3** 売り上げ **7,070,333 円** **11,435 円/ m^3**

主に機械野帳を基に推定した生産性

使用機械	作業種	稼働日数	生産性
チェンソー	伐木造材	75.22日	8.22 $\text{m}^3 / \text{日}$
フォーワーダ	搬出	25.51日	24.24
グラップル	集積・積込・積降	43.43日	14.24
合計		144.16日	4.29

主に機械野帳を基に推定した伐木造材搬出作業の生産性としては

$618.29 \text{ m}^3 / 144.16 = 4.29 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{日}$ となる。

主に作業出面を基に推定した生産性

使用機械	作業種	稼働日数	生産性
チェンソー	伐木造材	86日	7.19 $\text{m}^3 / \text{日}$
フォーワーダ グラップル	搬出 集積・積込・積降	72日	8.59
合計		158日	3.91

主に作業出面を基に推定した伐木造材搬出作業の生産性としては

618.29 m³/144.16 = 3.91 m³/人・日 となる。

機械野帳から推定した生産性より若干低い値となるが、こちらの数字が現実に近い数字と思われる。

2) コスト分析

下の表は、機械費用についてコスト分析に使用した数値の一覧である。

	作業用途	リース代金 円/月	稼働日数 日/月	リース費用 円/日	燃料費 円/日	機械費用 円/日
フォワーダ	搬出	135,450	10	13,545	1,500	15,045
グラップル	〃・荷降ろし	118,125	10	11,813	1,500	13,313
グラップルミニ	集積・積込	55,200	10	5,520	2,000	7,520
チェンソー	伐木造材		20		169	911

	価格	償却 年数	残存価値率	年稼働日数	稼働時間当係数 (修繕費)
チェンソー	153,000	3	0.1	240	0.0001697

下の表は、1日当たりの賃金を18000円とした場合の一日あたり労務費用である。

	賃金	雇用保険	労災保険	共済	林退協	通年雇用	労務費
労務費内 訳	18,000	243	1,062	2,492	457	140	22,394

上記の機械費用と労務費を基に、提出された作業出面をベースにして計算する。

これらの数値から 機械費用 労務費
伐木造材費用 86日× (911 + 22,394) =2,004,230円
2,004,230円/618.29 m³ = 3,242円/m³

フォワーダ 労務費 グラップル

$$\begin{aligned} \text{搬出費用} & \quad 24 \text{ 日} \times (15,045 + 22,394 + 13,313) & = & \quad 1,218,048 \text{ 円} \\ & \quad 1,218,048 \text{ 円} / 618.29 \text{ m}^3 & = & \quad \underline{1,970 \text{ 円} / \text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \qquad \qquad \qquad \text{グラップル 労務費} \\ \text{集材費用} & \quad 48 \text{ 日} \times (7,520 + 22,394) & = & \quad 1,435,872 \text{ 円} \\ & \quad 1,435,872 \text{ 円} / 618.29 \text{ m}^3 & = & \quad \underline{2,322 \text{ 円} / \text{m}^3} \\ \text{合計} & & & \quad 4,658,150 \text{ 円} \end{aligned}$$

B班の作業出面から、集材搬出作業の稼働人工数は72人・日ということであった。搬出作業時には、フォワーダと荷降ろし用のグラップルが使われるため、搬出作業時はフォワーダとグラップルの2つの機械経費が計上してある。また、集積作業と搬出作業の区別ができないため、集材搬出作業の稼働人工数72人・日のうち2/3を集積作業、1/3を搬出作業として計算した。

$$4,658,150 \text{ 円} / 618.29 \text{ m}^3 = \underline{7,534 \text{ 円} / \text{m}^3} \text{ となる。}$$

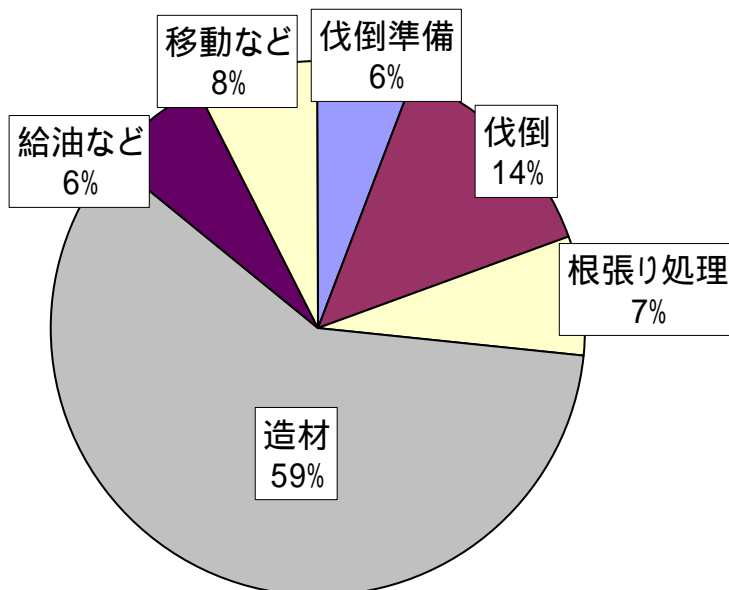
A班と同様に、この数字は、山土場までの直接経費であり、これに市場までのトラック搬出費用（**2000**円/m³）と間接経費を加えることが必要である。

Ⅱ. 生産性の分析と問題点の改善策

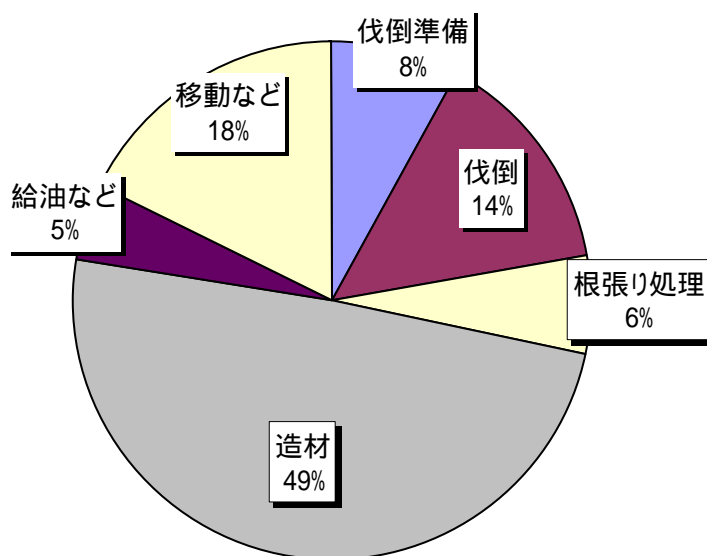
1. 伐木造材作業の生産性について

1) 伐木造材作業における作業要素別の時間分布

今回の伐出作業において、チェーンソーによる伐木造材作業の生産性が低いことがわかった。そこでこの作業について分析を行った。



図－1. A班における伐木造材作業の要素別作業割合



図－2. B班における伐木造材作業の要素別作業割合

図-1はA班の、図-2はB班の伐木造材作業における作業割合である。この図から明らかのように、圧倒的な割合を占めているのが造材作業である。伐倒自体は全体の14%であり、造材作業をプロセッサで行えばかなりの生産性向上が見込める。また、チェーンソー作業を伐倒作業のみにすれば、他の付帯作業の割合も減少することが予想される。今回の現場であれば、地形的にはハーベスタの導入も可能であり、将来的にハーベスタを導入することができれば、その後の集積・搬出作業との連携をうまくとることで、飛躍的な生産性向上が見込まれる。

一方、伐倒作業をチェーンソーで実施していく場合においても、生産性は伐木造材手の熟練度に大きく左右される。A班とB班の伐木造材作業の生産性は、約2倍の開きがある。

2) 単木材積と伐木造材作業時間の関係

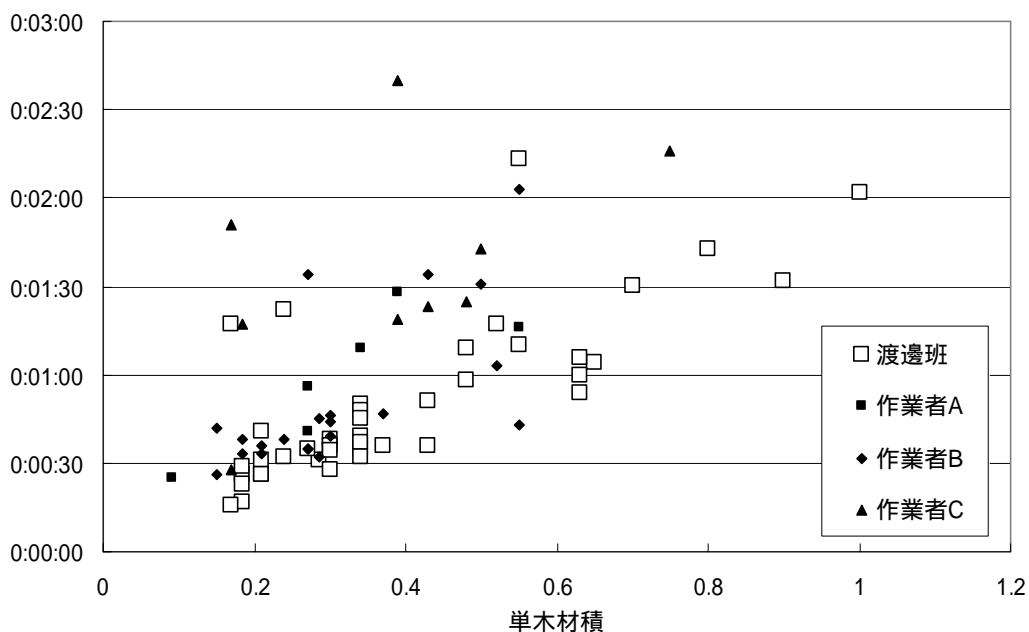


図 - 3. 単木材積と伐倒時間の関係

図-3は、単木材積と伐倒時間の関係を示したグラフであるが、A班の作業者はB班の3名に比べて全体的に伐倒時間が短く、材積が大きくなるにつれこの傾向は顕著になる。また、造材時間を含めた単木処理時間について見ると図-4のようになる。この図からも同様のことが言えるが、材積の増加に伴う差はより顕著であり、このことから伐木造材作業の生産性に大きな差が生じていることがわかる。

この原因は、作業者の熟練度等の他にもいくつかの要因が考えられる。ひとつは、A班での作業は、4～6本をまず伐倒し、その後この4～6本の伐倒木をまとめて造材していることにある。このことにより、一本ずつ処理する場合に比べ無駄な移動などが省かれて

いる。また、A班での作業では受け口の切り方が特殊で、根張りを落とすことで受け口としていることがある。いずれにしろ、A班の作業者は無駄な動きが少なく、作業が機敏であるという印象を受けた。

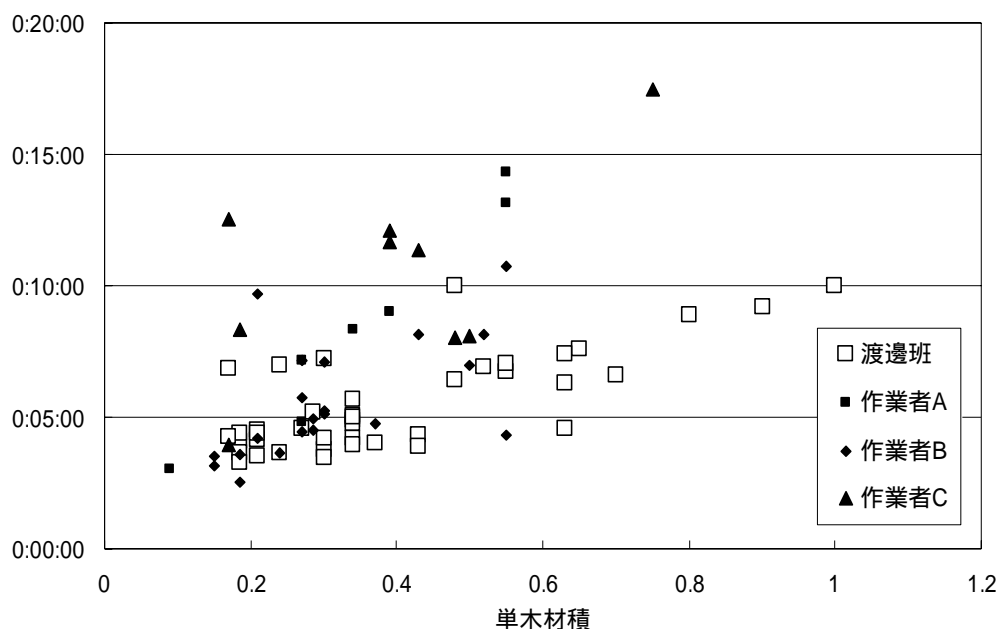


図 - 4. 単木材積と伐倒造材時間

ただし、A班の造材作業は数本をまとめて行うため、個々の伐倒木毎の作業時間を把握できないため数本分の平均を求めた。このため、材積の大きい伐倒木については処理時間が過小に見積もれている可能性がある。

最終的に生産性をあげるためには、高能率な機械をその能力がフルに活用できる環境におくことがベストではあるが、現在の作業方法の中においても作業のやり方や取り組みのなかに改善のヒントはあると思われる。

2. 搬出作業の生産性の問題と改善策

B班の搬出作業の生産性が非常に高いが、これは記帳漏れがあるのではないかとと思われる。

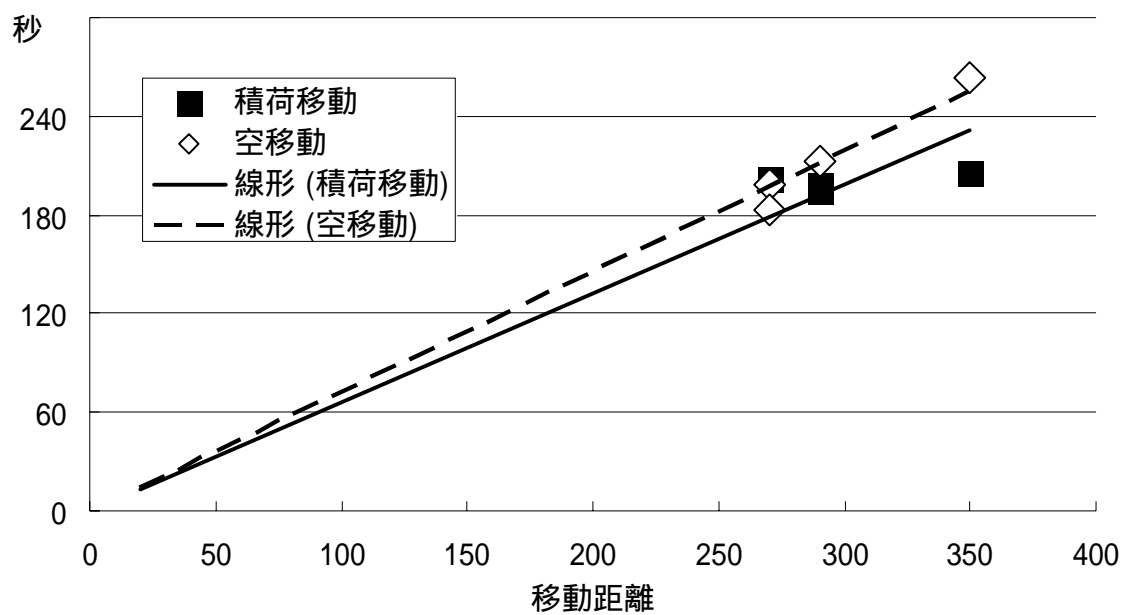


図 - 5 . フォワードアの移動距離と時間の関係

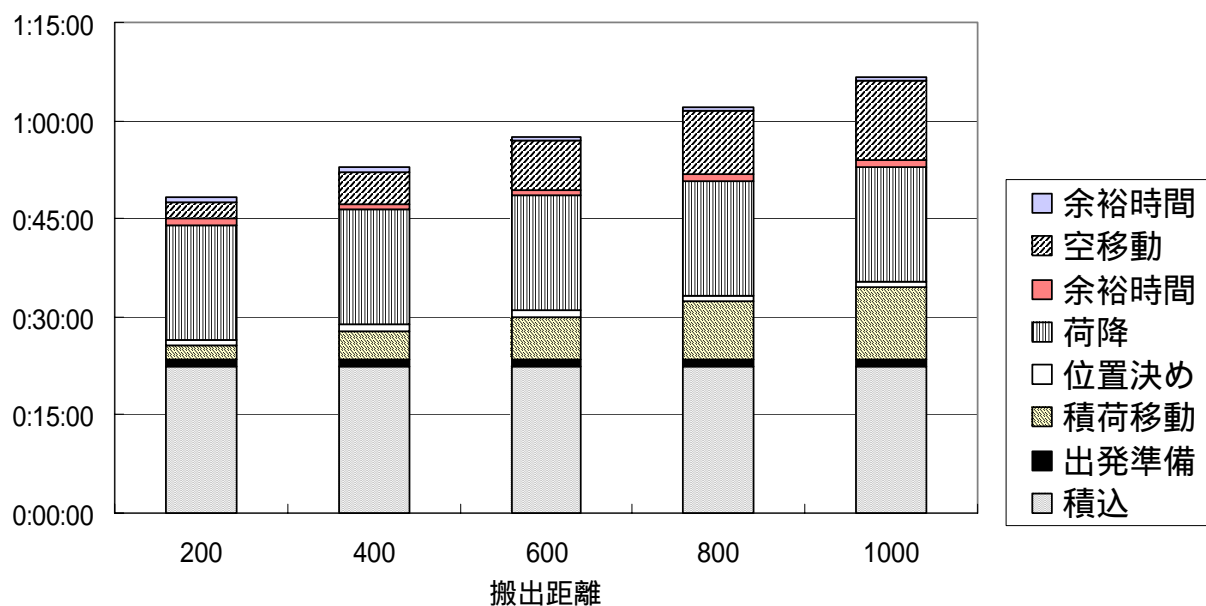


図 - 6. フォワーダの搬出距離と時間

図-5と図-6はA班のフォワーダ搬出作業から作成した図である。B班のフォワーダ作業は観測できなかった。図-5は搬出距離と時間の関係を示したもので、1次式で近似でき、空荷走行と積荷走行であまりかわらないことがわかる。積荷走行のほうが速いが、これは空荷走行がバック走行をしているためである。図-5をもとに、フォワーダの搬出サイクルタイムを距離別に示したものが図-6である。この図からわかるとおり、距離の増加に応じてサイクルタイムも増加するが、搬出作業で大半を占める作業は積込みと荷降ろしであることがわかる。

距離	200	400	600	800
積込・荷降ろし	83	76	70	64
移動	10	18	24	30
その他	7	7	6	6
合計	100	100	100	100

上の表は、距離別に搬出作業サイクルに占める主要作業の比率を示したものである。これを図-7にしめす。

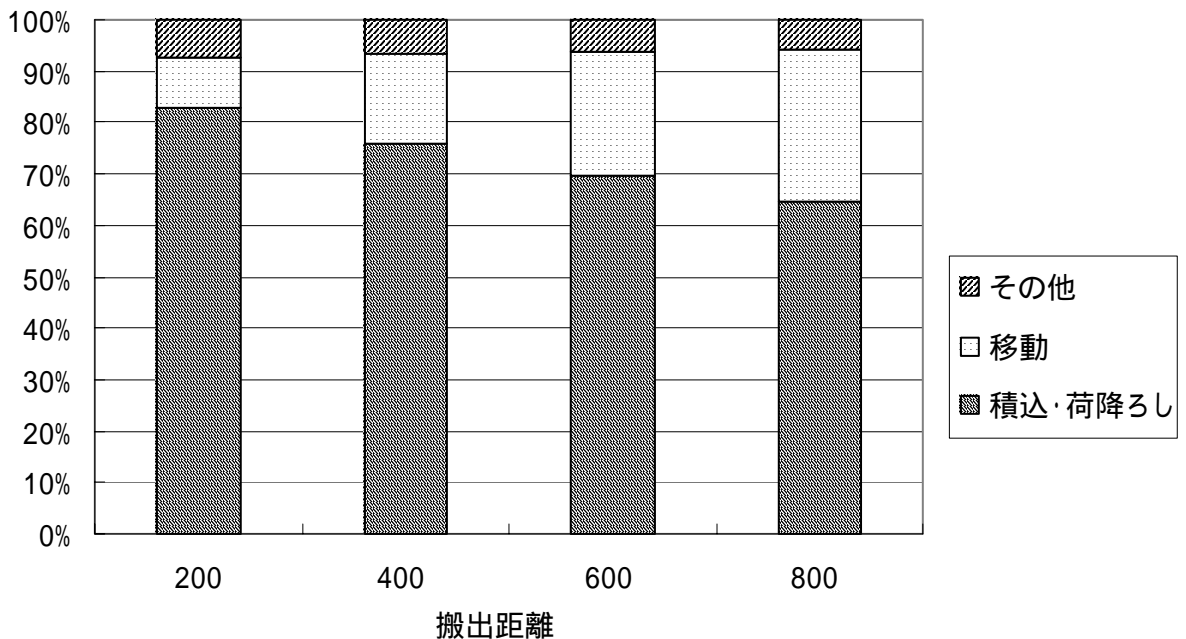


図-7. 距離別の搬出作業サイクル時間に占める主要作業の比率

この図からも、積込と荷降ろしの影響の大きさがわかる。積込と荷降ろしで重要なこととして、

1. グラップルの機械的能力
2. 作業者の熟練度
3. グラップルの作業空間の広さ

等が考えられる。A班の積込作業においては、大型グラップルの作業能力はフォワードャーに付属したグラップルの3倍程度（未確認）ということで、能力の高い機械をうまく使う作業手順を工夫することが重要である。

また、作業路の伐開幅には制限があるが、積込作業時に十分な空間が確保されていないとブームの旋回が制限されるため余分な作業が必要となり作業時間の増加につながり、作業自体も難しくなる。残存木の状況次第であるが、ある程度の間隔で少し広めの空間を確保した作業スペース的なものがあると作業は楽に速くなる。作業者の熟練度も重要なことで、高能率の機械ほどオペレータの差が生じると思われる。ブームやグラップルの移動時に、同時に複数の動きが行えるかという点や、グラップルによる材の掴み方などでオペレータの技量が伺える。荷降ろし作業で2人の作業を観測できた。1回のみの観測ではあるが、熟練者の作業は40%ほど速い結果であった。

3. 集積作業の問題点と改善策

B班の集積作業については、現地で観測したが動きが複雑多様で分析できていない。列状間伐して造材された丸太を集積する作業は、全体の生産性を下げる作業のひとつといえる。作業路から遠いところに丸太があるため、小型のグラップルが林内（主に列状に間伐された空間）に入っていく散在している丸太を作業路の方向に小集積する。近いところは、1度の集積で終了するが、奥の丸太は一度集積された丸太をさらに作業路の方向に移すという作業を繰り返している。一次集積された丸太を二次集積し、場合によっては三次集積もしなければならないという作業で非常に非効率になっている。

もともと、B班の考えは小回りのきく小型の機械を使って定性間伐をするということのようで、列状間伐については否定的であるようだ。作業路は列状間伐を前提としたA班の考えを主体に作設されているが、この作業路も妥協の作品となっているため、お互いの長所を生かしきっていない結果となっている。

搬出路から離れたところで造材をすることは非常に効率が悪い結果となることが多い。搬出路付近まで全木（全幹）で運び出し、造材処理することで集積作業はかなり減らすことができるはずである。短幹よりは全幹、全木で処理できる作業路（集材路）の配置と、リーチのある機械を使い、なるべく材積の大きい状態の木材を移動させるように工夫することが必要である。

現状での生産性からの理想形は、A班で行われている列状間伐、グラップルによる引き出し、プロセッサによる造材という作業仕組みであると思われる。ただ、B班の人が懸念している、富士山麓の浅根性の森林で列状間伐した場合の危険性については考慮する必要があると思われる。

先にも触れたが今回のような地形の森林であれば、将来的にはハーベスターの導入も検討すべきであると思われる。

システムダイナミクスによる生産性改善に関する分析
-作業システムの表現と定式化-

東京大学大学院森林利用学研究室 仁多見俊夫

資料4の生産性分析結果報告においては、生産性分析に加え、生産性向上のための伐倒造材工程の改善と、プロセッサなどの新たな機械の導入が提案された。そこで、ここでは、システムダイナミクスモデルを用いて、具体的にどの程度生産性の改善が可能となるのかをシミュレーションすることにする。

1. システムダイナミクスによる作業システムの表現

1) システムダイナミクスとは

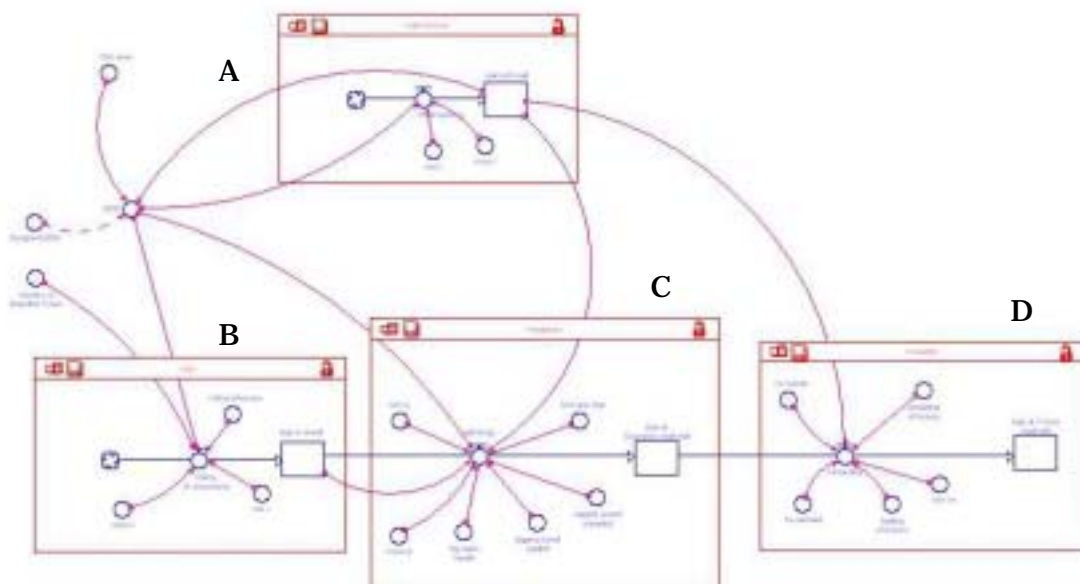
一連の作業の流れをシステムとして捉え、その効率の適正化を図るには、システムダイナミクスモデルによって作業システムを表す手法が、有効である。システムダイナミクスとは、数量で表される複数の要素の変化を、影響を受ける因子との数量関係とともに表したもので、時間の進行に伴うそれらの変化を検討するのに適していることから、木材生産工程を分析するのに優れた手法である。

2) 今回の作業工程のシステムダイナミクス

今回の間伐作業を、以下の各作業工程ごとに分解して表したものが、図1である。

- A 作業路の開設。
- B 伐倒造材作業。
- C 林内に列状に散在した玉材のミニグラブによる作業路脇までの木寄せ集材。
- D フォーワーダに積載・林道脇の土場まで搬出・集積。

図表1 今回の作業システム



これらの各作業には、休みなどの遅延が適宜発生するとともに、作業能率や積載容量などの工程に関わる因子が関連している。

図の中では、数量で表される要素は量の蓄積として四角()で、その量の変化のはその四角を結ぶバルブで、バルブを制御する因子は丸()で、それぞれ表している。蓄積量とともに、バルブを制御するように因果関係付けする。

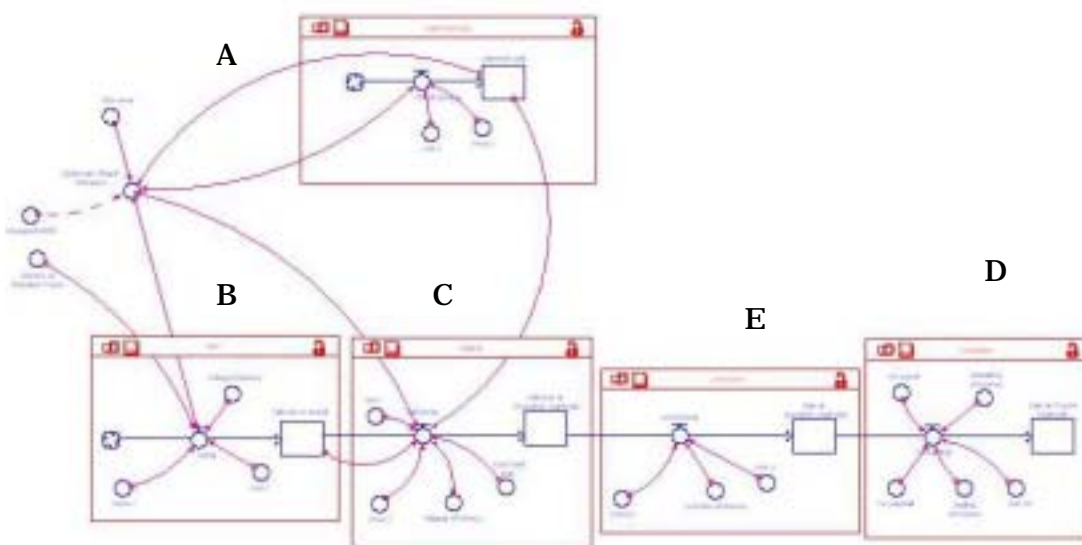
各工程は、先行する工程が適当に作業を進めた後に後続した処理が行われていく。すなわち、伐倒・造材作業は、作業路の作設が進行して、お互いの作業に支障が発生しない間隔を確保しながら行われる。また、フォーワーダ運材工程は、ミニグラップルによる作業路脇への素材の集積量が1車分の積載量に達しない場合は、作業が発生しない。

3) プロセッサ導入の作業工程システムダイナミクス

生産性分析においては、作業現場の観察によって、人力作業における伐倒・造材作業の効率化のため、林内における人力作業を伐倒のみとすること、全木状態の材をミニグラップルで作業路脇へ木寄せし、それらをプロセッサによって造材処理すること、が提案された。その場合の作業システムを表したのが図表2であり、図表1のC、Dの工程間にプロセッサ造材工程Eを挿入したものである。

造材工程を林内の人力作業から分離することによって、林内の人力作業は伐倒作業に集約され、造材工程を機械化することによって作業能率を高めることができることがわかる。もっとも、機械化造材作業は作業能率が大いなので、先行する作業のその時点での在庫量が、当該作業の単位時間当たりの作業能率に見合わない場合は、当該作業を行わない。すなわち、この場合の後続作業は、先行作業に継続して作業が行われることはない。

図表2 プロセッサを導入した作業システム



このため、当該工程に待ちが発生することから、その作業工程を担う作業員の運用を適正化する必要が生じる。その場合、作業を行う単位時間の設定が必要となるが、実際に作業内容の変更が可能な時間単位として、1日を設定しておくことが妥当であろう。しかし、細かく作業管理を行う場合には、この時間単位を短くすることとなる。

また、作業工程に応じて、まとまった作業を行うための最小時間が異なってくることから、それを考慮した工程間の進捗度調整が、作業システム全体の高度な合理化のために不可欠となる。

2. 数量関連付けシステムダイナミクスとそのシミュレーション

1) 現状の作業システムのシミュレーション

次に今回の作業システムを、数量関係を調整したシステムダイナミクスで表した(図表 3)。この場合、どの因子までを取り込むかの判断が重要となるが、ここでは、先に表した図表1, 2を基に、数量関係が設定しやすい以下の因子を取り込んで、齟齬無く表現した。

- ・ 作業地面積
- ・ 立木密度
- ・ 間伐強度
- ・ 作業路の開設に当たって設定する最大到達距離
- ・ 作業路の開設速度
- ・ 立木伐倒・造材作業能率
- ・ 玉材木寄せ作業能率
- ・ フォーワーダ集材作業能率
- ・ 伐倒手人数
- ・ 伐倒木1本から採材できる玉材の数

これらに加え、それらによって算出される数値因子も用いて作業システムを構築した。

また、図表4に作業路の開設が進んでいく様子を示す。図中の番号1が付いた線が作業路の開設延長を示す。開設の進行に伴って、対象地域内での最大到達距離は減少していき、初期に設定した最大到達距離になると作業路の開設は終了する。番号1が付いた線が図中右方で増加しなくなったのは、そのためである。

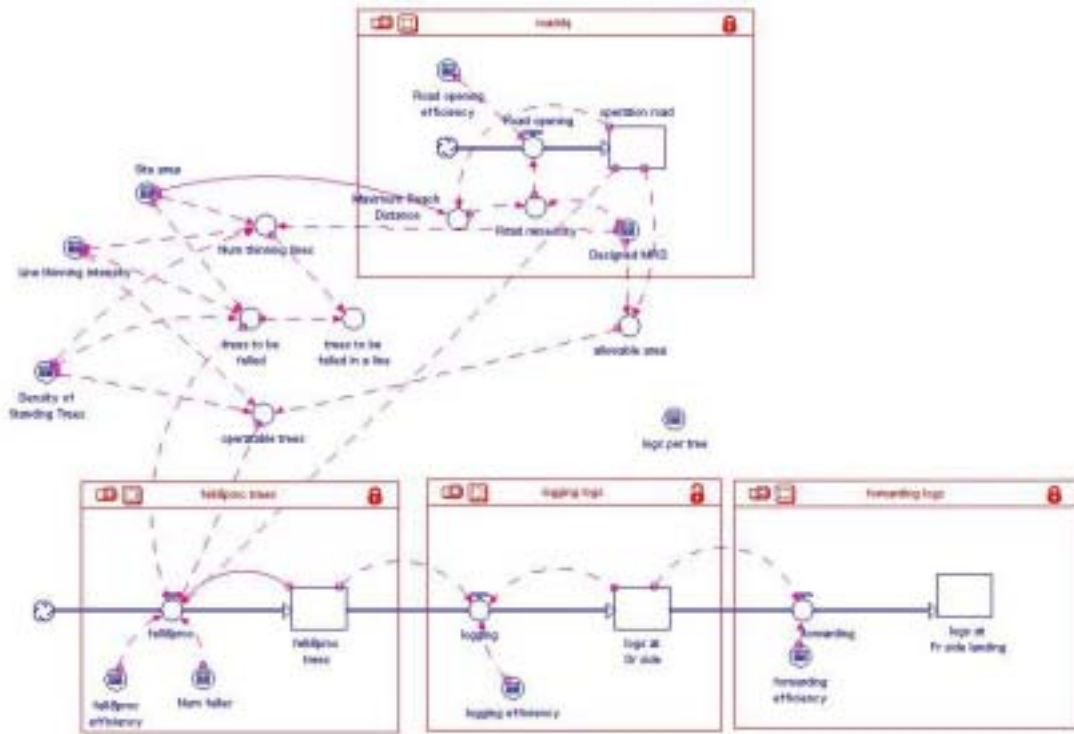
因子間の連関は、例えば、

```
fell&proc_trees(t) = fell&proc_trees(t - dt) + (fell&proc - logging) * dt  
fell&proc = if(operation_road > 200 ) then if (fell&proc_trees>=operatable_trees OR  
fell&proc_trees>=trees_to_be_felled)then 0 else fell&proc_efficiency*Num_feller else 0
```

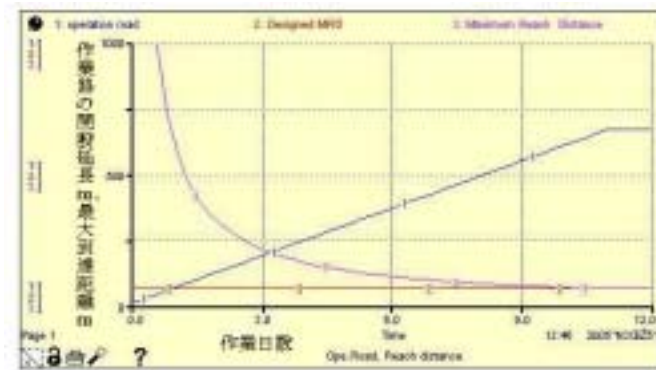
のように、増加した自身の値から、処理されて減少した分を差し引いたものとして定義される。

また、処理の進行においては、処理済みの量と次の工程の作業能率によって、作業が進むか否かを判断させている。

図表3 今回の施業の数量関連付けシステムダイナミクス



図表4 作業路開設状況



作業の流れは以下のとおりである。

- ① 作業路の開設。作業路は、対象地の任意の地点までの最大到達距離が設定した距離になるまで開設を進める。
- ② この作業路の開設の進行に伴って、作業開始地点から林分内へ向かって伐倒・造材作業を進める。所定の伐採列の長さを伐倒・造材すると次の列へ進む。
- ③ 列内の伐倒・造材作業が完了すると、ミニグラップル車両によって玉材を作業路脇まで木寄せする。
- ④ 玉材が作業路脇に積まれると、フォワーダによってそれらは林道脇の土場まで集材される。

また、各因子に与えた初期値は図表5である。

図表5 設定した因子の初期値

Site condition	
Site area	8
Density of Standing Trees	1000
Line thinning intensity	0.3
Designed MRD	60
Num feller	3
logging efficiency	120
logs per tree	3
fell&proc efficiency	30
forwarding efficiency	100
Road opening efficiency	60

ここで、得られたシミュレーション結果は、図表6のとおりである。

図表6 今回の施業システムのシミュレーション結果



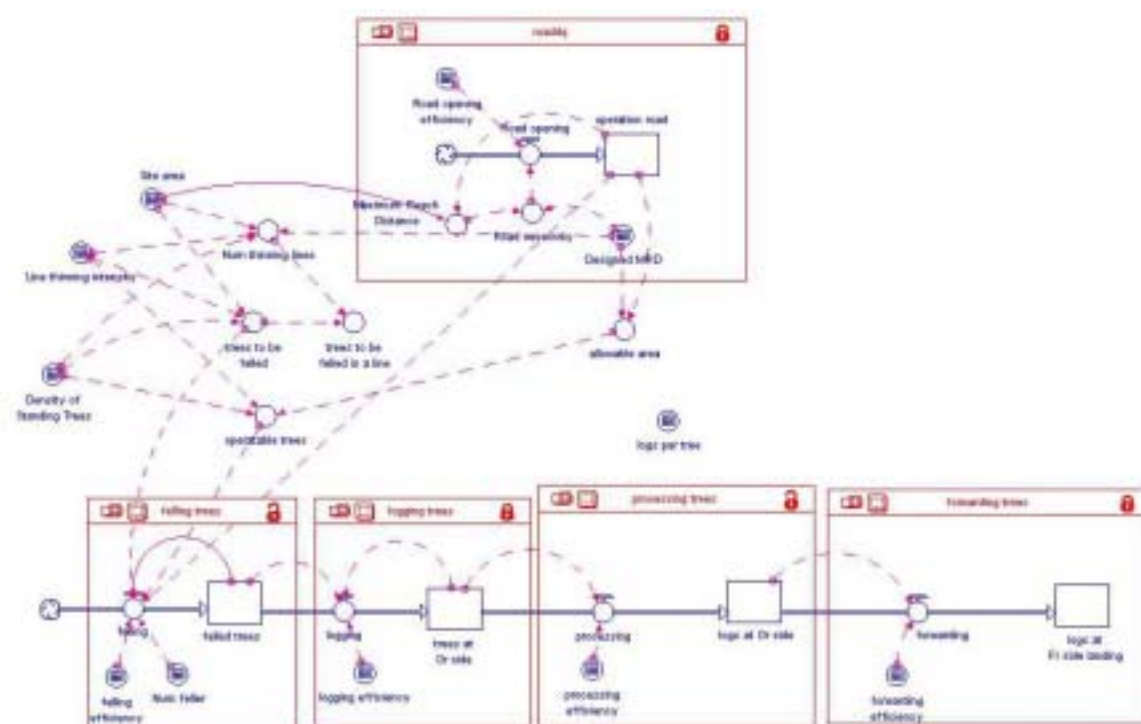
ここでは、後続の伐倒作業などの開始がシミュレーション開始($t = 0$)から遅れているが、これは、作業の安全を考慮して、先行する作業道の開設作業と時間差(これは距離をおくことに等しい)を設けているためである。作業が定常状態となり、林道端に素材が集積されているところ($t = 7.5$ 日以降)を見ると、約83本(素材)/日の工程で作業が進行することが見て取ることができた。

2) プロセッサを導入した作業システムのシミュレーション

次に、造材工程にプロセッサを導入した場合の作業システムを、図表7で表した。さきの作業システムの人作業を伐倒のみとし、作業路端でプロセッサ造材を行うことを前提としている。

作業の流れは、列内の伐倒作業が完了するとミニグラップル車両によって伐倒木を作業路脇まで木寄せし、作業路脇へ伐倒木が木寄せされるとプロセッサがそれらを造材するものである。したがって、図表3のシミュレーションで用いた「玉材木寄せ作業能率」の因子を、ここでは「造材作業能率」に置き換えているだけで、他の因子は、図表3の人作業・造材作業のあるシステムと同様である。

図表7 プロセッサ導入後の数量関連付けシステムダイナミクス



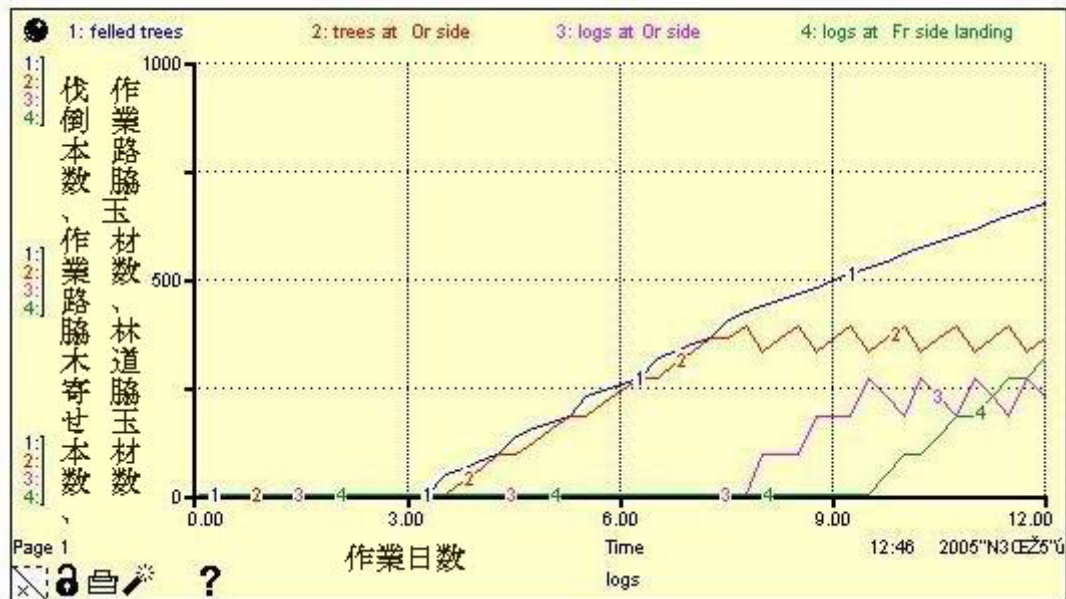
モデル化した作業システムに設定する因子の大きさをまとめた図表8と、当該モデルのシミュレーション結果を図表9に示す。

図表9は、伐倒、木寄せ、造材、運材の各工程の作業が進行して行く様子を示す。作業路が先行して200m作設されると、後続する伐倒、木寄せ、造材、集材の工程が始まり、作業が進行していく。伐倒作業が列毎に進行し、その後木寄せ作業が行われ、集材作業が進行することによって林道脇に極積みされる材積が増加してい

図表8 プロセッサ導入の場合の因子の初期値

Site condition	
Site area	8
Density of Standing Trees	1000
Line thinning intensity	0.3
Designed MRD	60
Num feller	3
logging efficiency	120
logs per tree	3
felling efficiency	60
forwarding efficiency	180
processing efficiency	360
Road opening efficiency	60

図表9 プロセッサ導入のシミュレーション結果



ることを見て取ることができる。

作業工程を見ると、伐倒から玉材を林道端まで搬出集積する作業において、10日目以降で見ると、300本の玉材を2日間で処理しており、伐倒3人、木寄せ1人、伐倒3人、木寄せ1人、造材1人、集材1人の作業であるから、作業工程 $p(\text{m}^3/\text{人日})$ は、玉材の材積を $v \text{ m}^3$ として、

$$p=300 \times v/2/6$$

となり、 $v=0.2 \text{ m}^3$ で $p=5 \text{ m}^3/\text{人日}$ となる。これは、ミニグラップルの木寄せ作業とプロセッサの造材作業、フォワーダの集材作業の流れの制御を行わない場合の工程であり、最低でもこの数値の達成は可能であると言えよう。

ここで、伐倒手は他の工程の進行状況に合わせて、他を支援することを考慮すると、総作業員数は、4～5名とみなせられ、その場合の生産性は $6 \sim 7.5 \text{ m}^3/\text{人日}$ となる。

また、作業班ごとの作業能率を見ると、先の人力伐倒・造材作業を行うシステムでは、素材83本/日の能率であったが、プロセッサを導入することによって、150本/日の作業能率となる。これは、作業能率の1.8倍の増加であり、プロセッサ導入の有効性が確認された。

まとめ

以上、システムダイナミクスモデルを用いると、機械作業の段取りを調整し、同時に複数の機械が作業する時間を減らすことによって、機械作業時間の効率的な分割を行い、操作に必要な作業員を減少させ、これによって班あたりの作業工程を増加させることが可能となることが明らかとなった。

すなわち、システムダイナミクス手法は、作業システムの客観的なモデル化に有効であるだけでなく、詳細な作業条件の取り込みと評価が可能となるモデルである。対象作業のモデル化をさらに詳細にくみ上げることによって、現実の状況、条件にもとづいた作業システムの検討と改善手法の発見を容易に行うことができ、さらにこのその手法を用いて検討を進めていくことができる。

次なる課題は、作業路の作設工程と、素材生産工程の協調について分析を加えることである。

なお、今回の分析では、機材の搬入・設置や撤収などは分析の対象外となっている。今後は、事業の仕掛けから完了撤収にいたるまでに必要な付帯作業を計数した作業能率を計算し、より現実に近い形にしていくことも課題である。