

作業日程計画に関する研究

酒井 徹朗・楊 筱琴・神崎 康一

Studies of the forest operation schedule

Tetsuro SAKAI, Xiaoqin YANG and Kouichi KANZAKI

要 旨

森林経営管理システムのサブシステムとして森林作業計画を位置づけ、森林作業日程計画策定システムを構築した。このシステムは5年10年といった長期的な経営計画に基づく森林作業計画と1年程度の短期的な作業日程計画が策定できる。前者は施業モデルと予定作業人工数等を条件に、作業量や森林資源の推移を模擬し計画される。後者はPERTや線形計画法等のORの手法により計画される。またこのシステムは作業計画の策定だけでなく作業実行管理も行う。このことにより計画・実行・評価のサイクルができるだけでなく、森林資源や作業工程データベースのレベルアップも計れる。

は じ め に

森林作業計画は個々の林分に対する施業を経営体全体で集約し、合理的な人員や資材の配分を行うものである。森林の合理的経営のため、個々の林分の資源状況や、施業歴、立地環境などのデータベース構築は必須の条件である。現在、我国において森林資源の基礎データとして森林簿は個々の林分の状態を示す重要な情報源である。森林簿は林小班・樹種・林齢・面積等で構成されており、施業図と共に一筆毎の資源状態を把握することは困難ではない。しかし、森林簿の整備が必ずしも森林経営のためのデータベースとして利用されていないのが現状である。その理由としては、1. データベース構築のためのソフト及びハード面での不足。2. 森林簿記載事項が正確さに欠ける場合があること。3. 森林経営体の後進性が挙げられる。

森林計画の分野における電算化は森林簿の入力を皮切りに1970年代から始まり、営林局や各県のレベルでは既に各種統計算出や、森林簿の更新作業などに用いられている。しかし個々の課題（作業）の個別利用にとどまり総合的な経営管理システムとしては確立されていない。一方民有林における森林経営のための電算化は1980年代中頃からはじまり、いくつかのプロトタイプ of 森林経営管理システムが発表されてきた。なかでも住友林業と国際航業が開発したシステムは図面管理もできる本格的なものであったが普及するに至っていない。その理由としてはシステムの維持管理費用が高いこと、森林経営管理の必要性が認識されていないことが考えられる。しかし近年、パソコンはその機能が驚異的な発展をとげ、手ごろな価格になってきたため急速に普及している。生物資源生産という共通点を持つ農業経営面では、その合理的経営のための有力な武器として多くの農家がパソコンを積極的に用いている。このような背景の中で、森林経営においても経営管理の向上のため、森林資源のデータベースを中軸とした管理システムが望まれている。

我々が現在考えている森林経営管理システムは図1に示すように、各種のデータベースと計算支援ツールを持ち、経営管理のための計画策定や実行管理を行い、経営管理者の意志決定を支援するシステムである。実行管理をとおり各種データベースへのデータ蓄積・更新を行い、システムのレベルアップを計ろうというものである。このシステムが対象として考えている森林の規模はパソコンレベルでの運用を前提としていることから、現状では林分数（筆数）5000程度数千haまでであろう。そこでこのような森林経営管理システムの構築を最終目的とし、その中の一サブシステムとして森林作業計画を位置づけ、森林資源データベースを用いた作業日程計画システムの構築を試みた。ここでは各種の作業日程計画策定のための手法について考察すると共に、作業計画の実行管理である作業日誌に関して若干考察したので報告する。

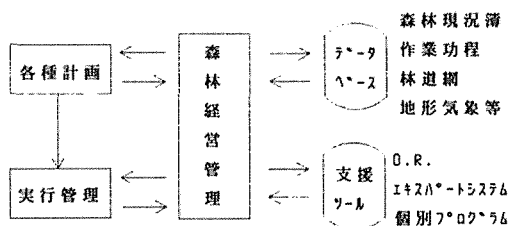


図1 森林経営管理システムの概念図
Fig.1 Model of forest management system.

森林作業日程計画

1) 計画策定の考え方

森林作業を個々の林分についてみれば数十年に及ぶ長期的なものである。一方、森林作業を経営体からみれば多種多様な林分を対象とし、強い作業実行時期の季節的な制約を受けながら、年間を通じ継続されるものである。森林作業日程計画の目的は第1に通年を通した作業量すなわち必要労働力の平滑化である。植物を相手にするため森林作業の多くはその実行時期は季節に制約される。この制約条件下で作業の割付を行わなければならない。第2に長期的な経営計画を保証するための施業林分の保続的配置への移行である。これは施業対象林分の年伐採量や作業量を平滑化する必要性から生じる。第3に月間あるいは旬間といった短期的な作業を合理的にやりくりすることである。これには個々の作業の合理的な作業手順も含まれる。

そのため森林作業計画は長期的な経営計画に基づいたものと、短期的な作業目標を達成するものの二つに大別される。前者は5年10年といった施業計画に基づく労務配分計画であり、後者は1年とか1月といった作業日程計画である。本論文ではまず、施業モデルにより長期的な作業量の推移を推定する方法について検討する。次いで、短期間の個々の林分の作業日程計画方法について検討する。なお検討は実在する山林を対象として実践的に行った。

2) 対象森林の概要

作業日程計画の対象として岐阜県の北部に位置するI林材K.K.の山林を用いた。この山林の特徴は高密度路網とスギの直挿しに裏

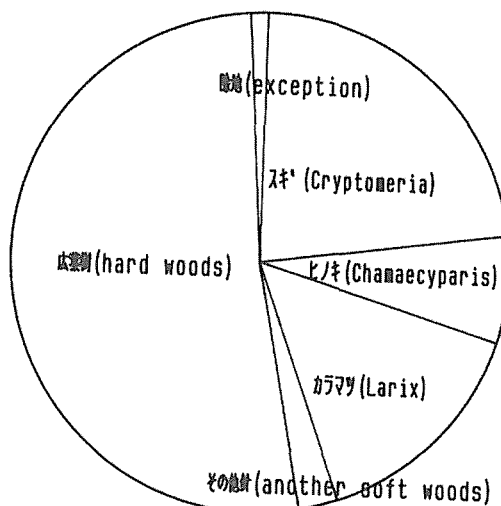


図2 樹種別面積比率
Fig.2 Percentage of forest stand species.

付けられた肌理の細かい複層林施業である。全森林面積 932 ha, その樹種構成は図 2 に示すとおりである。上層木についてみるとスギ・ヒノキ・カラマツの人工針葉樹が約 45%, 広葉樹が 50% の構成である。複層林は約 290 ha あり, そのうち上層木が広葉樹である林分は約 200 ha と大半を占め, スギ・ヒノキがそれに次ぐ。複層林の下層木はスギの直挿しが大半で一部ヒノキも植栽されている。図 3 に示した林齢樹種別の森林資源の構成をみると, 6-7 齢級の林分が多いこと, スギ・ヒノキの人工林は保育が必要な若齢林分が主体であること, 若齢の広葉樹は少なく 30 年生以上の林分が多いこと等が判る。

林道作業道の生産基盤はかなり整備されており, その総延長は約 55 km に及ぶ。林班別に林地と林道の距離についてみたのが図 4 である。5, 13, 21, 22 林班での道路整備が遅れているが

全体的にみれば, 平均集材距離は 98 m, 道路までの到達距離が 100 m 以内である林地面積は全体の 62%, 全林地面積の 85% は到達距離が 200 m 以内である。このように基盤整備が進んでいるため, 森林作業の生産性は高く機動性に富んだ施業が可能である。このようにこの山林の経営環境は人員の合理的な配分により適切な施業を行いより合理的な経営が可能である。そのためには柔軟な作業日程計画が必要と考える。

3) 長期的な作業計画

森林簿を基に作成した森林資源データベースと施業モデルにより, その概略を図 5 に示すような手法で, I 林材の長期的な労務配分からみた施業計画を策定してみた。現在の森林資源データベースは林小班・樹種・面積・階層(上層木下層木の区別)・林道までの到達距離等からなり, 将来は後述するように作業歴等を追加する。施業モデル³⁾は表 1 に一部分例示するように, 樹種・林齢・作業人工数・予想収益・階層からなり, 何時どのような林分に対し, どれだけの作業量を投入し, どれほどの収益を得られるかといった施業予定である。用いた森林データベースは 1988 年度調整のもので総データ数 2246 筆, 作業種はスギ・ヒノキ林分を対象に植栽・下刈・枝打・磨き丸太生産・主間伐作業等 54 種である。この手法の制約条件は計画期間毎に与えられた作業人工数で, その範囲内で作業可能な林分を探索し当該期間の作業量とするものである。この

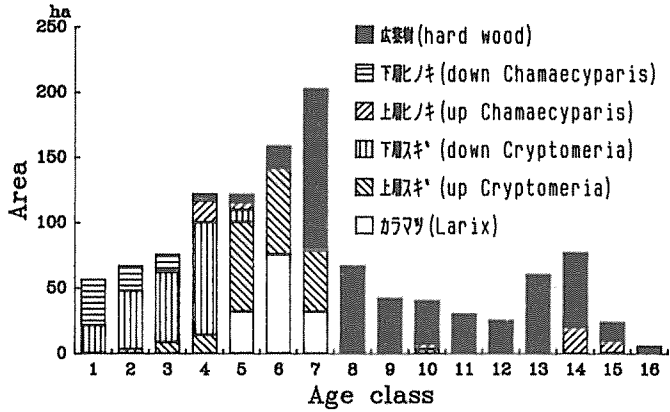


図 3 令級・樹種別面積
Fig. 3 Area of age class and forest stand species.

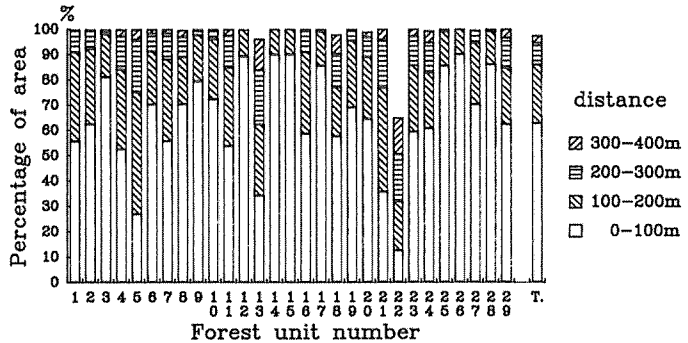


図 4 林班別の到達距離階別面積比率
Fig. 4 Percentage of area each skidding distance at forest unit.

手法を1年単位で20年間計画する場合について順を追って説明する。まず最初に森林資源データベースや施業モデルから必要なデータを読み込む。森林資源データや施業モデルデータはその作業の優先順に予め並び替えられている。また年間の拡大造林や再造林面積・予定作業人工数を各年毎に指定するとともに、作業の追加削除の際の林分の延期や前倒しの順序を入力し、初期値の設定を行う。次いで当該年度に作業されるべき全ての林分を検索し、その作業量などの総計を求める。さらに総作業人工数が予定された作業人数と比べ、過大であれば作業量の縮小を、不足であれば作業量の増大を計る。作業量の縮小は各林分に与えられた作業優先順に従い、優先順位の高い林分から作業を延期する手続きをとり当該年度の作業対象から外す。逆に作業量の増大は、条件入力時に指定した探索順で該当する作業可能な林分を追加する。今回の場合その順序は1, 2年目の延期1, 2年目の前倒しで指定したもので次の順で作業量の増大を計る。作業が延期されている林分のうち延期期間が1, 2年の順で作業優先の高い順に当該年度に作業を実行する手続きをとる。該当する延期された林分がなくなれば、前倒し期間が1, 2年の順で作業の優先順に従い前倒し作業が可能な林分を探索し当該年度に作業を実行する手続きをとる。なおこの際延期期間及び前倒し期間は2年を最大とし、10年生未満の若齢林分を対象とした作業は延期を認めなかった。このようにして計画期間毎に与えられた作業人工数を満足する作業量を決定する。なお作業量が不足している時、追加すべき作業がなく予定作業人工数を下回る場合もある。ついては次年度のためのデータの更新を行う。データの更新では作業量が過大のため延期された林分のうち、延期期限の切れた林分を計画対象から除外すると共に、各林分の林齢を加算し林分を成長させる。

上記の方法により1林材の20年間の作業計画を求めてみた。なお、毎年の拡大造林は3ha、再造林は5haとし、予定作業人工数を各年一律に2000, 2500, 3000, 4000, 無制限の5とおりにして計画した。図6は各計画年度の作業面積を、図7は作業人工数不足による施業除外となった面積の推移を、図8は全ての該当作業を行う場合に当年度必要となる作業人工数を示している。また図9—11は各作業種毎の作業面積の推移を、図12は各年の予定作業人工数3000人の場合の作業種別の計画人工数を示している。これらの図から明らかなように、現在の資源状態が偏

表1 施業モデル
Table 1 Model of forest management

| 作業種 | 樹種 | 林令 | 人工数 | 収益 | 階層 |
|------|-----|----|-------|-------|----|
| 枝打ち | ヒノキ | 31 | 12.3 | 0.0 | 1 |
| 間伐 | スギ | 30 | 8.2 | 34.0 | 1 |
| 間伐 | スギ | 30 | 8.2 | 34.0 | 2 |
| 枝打ち | スギ | 27 | 6.2 | 0.0 | 1 |
| 枝打ち | スギ | 27 | 6.2 | 0.0 | 2 |
| 枝打ち | ヒノキ | 26 | 14.6 | 0.0 | 1 |
| 間伐 | スギ | 26 | 2.9 | 12.2 | 1 |
| 間伐 | スギ | 26 | 2.9 | 12.2 | 2 |
| 磨き丸太 | スギ | 25 | 103.7 | 134.8 | 1 |

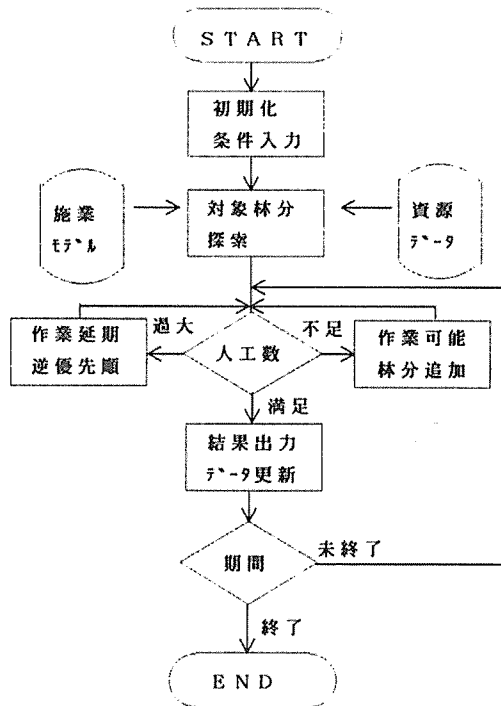


図5 計画の流れ図
Fig. 5 Flow of planning.

ているため、1-4年目と7-9年目に全ての作業をこなすためには年間6千人以上の人工数を確保しなければならないピークが生じる(図8)。予定作業人工数が第1のピークに応じきれない場合、3-4年目に多くの施業除外地が発生する(図7)。16年以降はほぼ必要人工数が2000人規模に収束することが判る。また作業計画面積や人工数を各作業種毎にみると植栽や下刈は変動が小さく、磨き丸太生産や枝打の変動が大きく、主間伐は増加の傾向にある(図9-12)。

この方法は与えられた施業モデルと作業人工数の条件下で、どの程度の森林作業が可能なのか、その場合の森林資源の変化と予定収益はどうなるかをシミュレートし、計画の善し悪しの判断を支援することを目的としている。そのため、計画の妥当性を検討する手段として活用できる。しかしこの方法では最適な計画を求めることはできない。

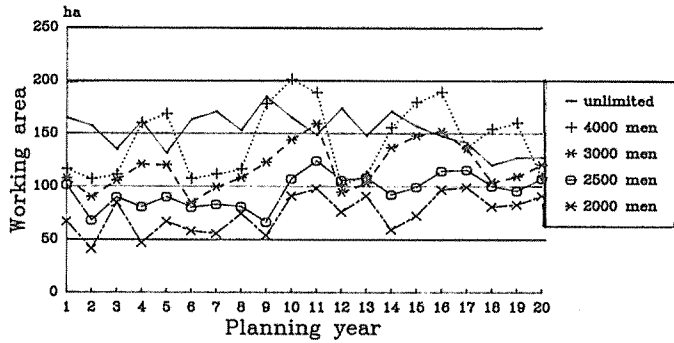


図6 作業対象面積

Fig. 6 Area of working for each planning.

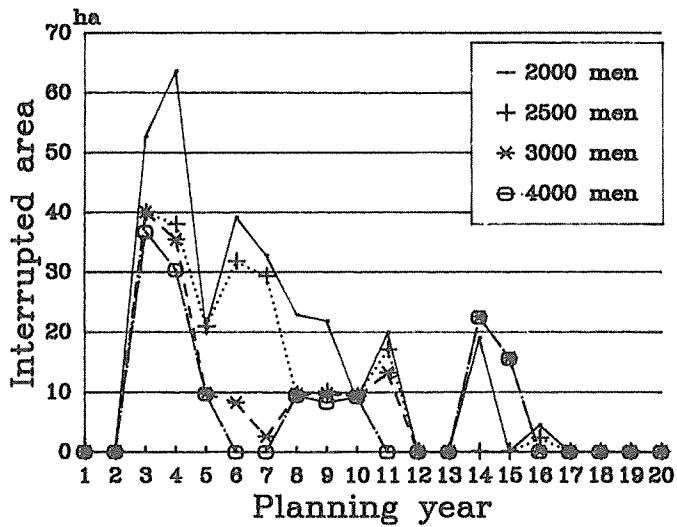


図7 施業が中断される林画面積

Fig. 7 Interrupted area of working for each planning.

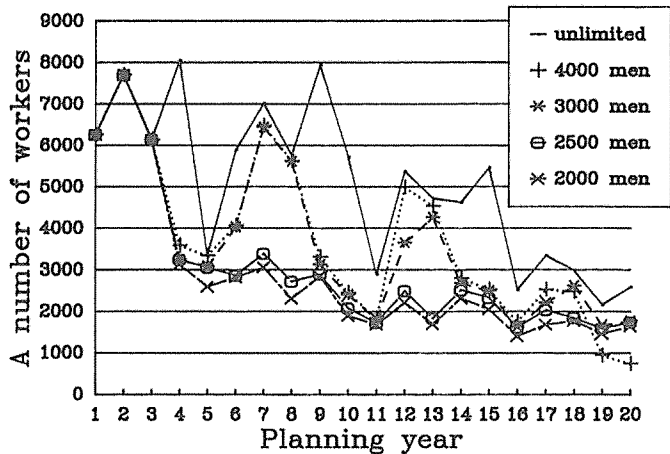


図8 当年度の該当作業に必要な人工数

Fig. 8 A number of necessary workers for each year's works.

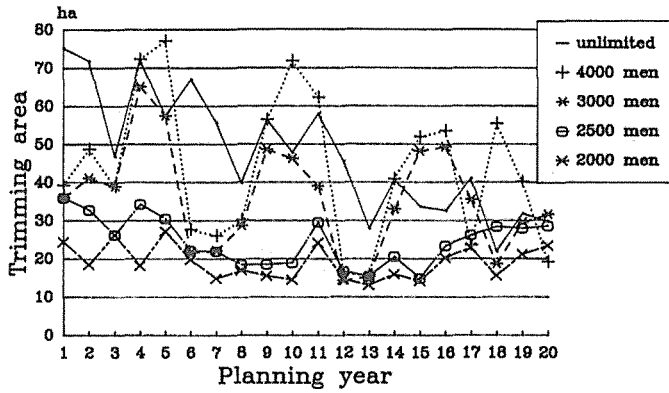


図9 枝打ち作業面積の推移

Fig.9 Change of trimming area for each planning.

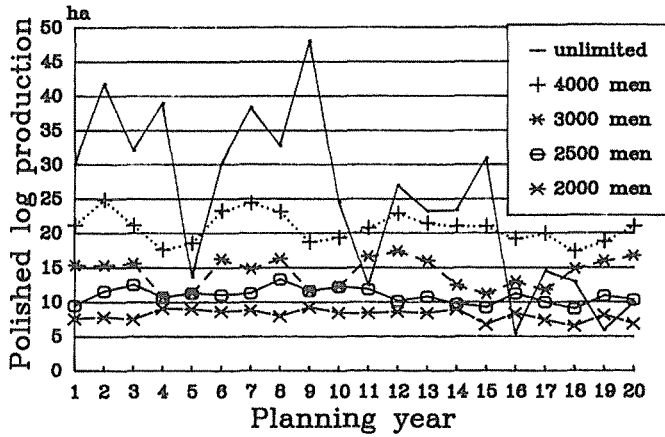


図10 磨き丸太生産面積の推移

Fig.10 Change of polished log production area for each planning.

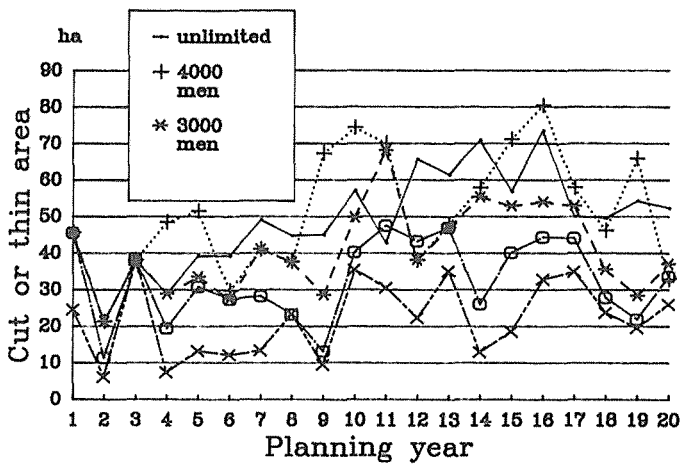


図11 主伐・間伐面積の推移

Fig.11 Change of cut or thinning area for each planning.

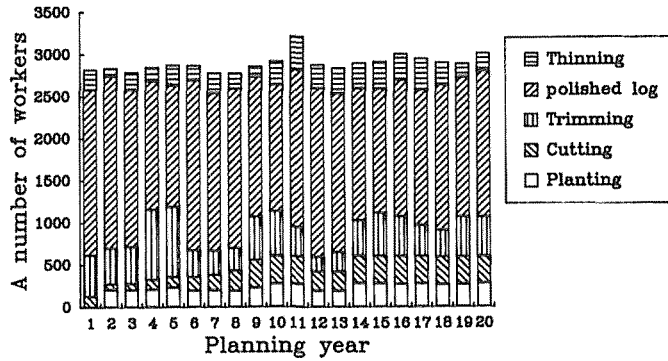


図12 作業種別人工数の推移 (予定人工数3000人)
 Fig. 12 Change for a number of each work (planning : 3000 men)

4) 短期的な作業日程計画

作業日程計画は比較的短期的な計画で計画単位期間を日・週・旬・月にとる。作業日程計画策定の手法として従来PERT・線形計画・整数計画などが報告²⁾されている。ここではPERTの結果を利用した逐次比較による計画手法と線形計画による計画手法について概観する。

PERTによる方法は各作業の作業時間・1単位期間当りの必要人工数・先行作業の条件が与えられたとき、各作業の最早・最遅開始(終了)時期を求め、全体としての作業の流れの中で各作業の作業時期を割り当てる。この場合、作業に利用可能な資源(森林作業計画では1単位期間当りの許容人工数)の範囲内で作業を割り当てる。この方法による作業日程計画については既に報告³⁾しているので、ここではその手法を用いた結果を図13に示すとどめる。これは先に求めた年間の予定作業人工数3000人で計画した第1年度の年間作業日程計画を10日(旬)を単位期間として策定したものである。各作業の適切な作業時期と各期間の労務配分予定に合致するよう180の各林分毎に何時作業を行うか計画したものである。単位期間を換えることで月間計画にも適用できる。

線形計画による作業日程計画は次のように定式化できる。

$$\text{目的関数: } \sum \sum HY(I, J) \cdot X(I, J) / TT(I) \text{ MAX}$$

$$\text{制約条件: } TT(I) = \sum X(I, J)$$

$$MN(I) \leq X(I, J)$$

$$MX(I) \geq X(I, J)$$

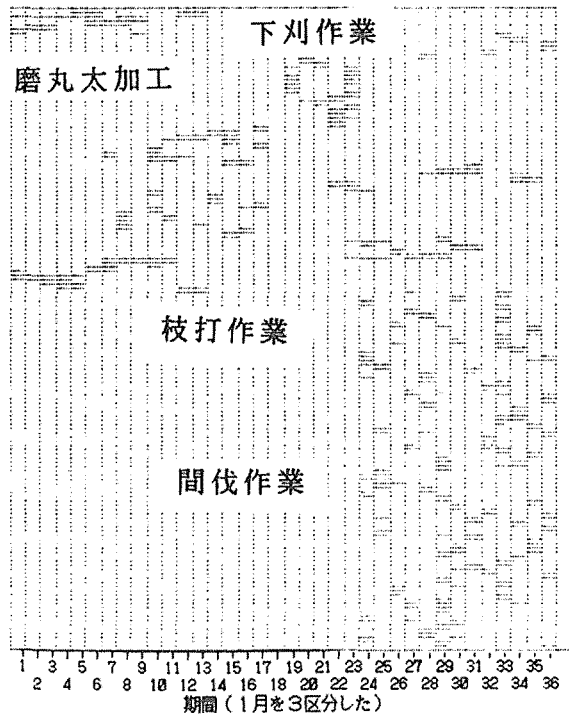


図13 林分別の作業時期
 Fig. 13 Time schedule of each work unit.

これは先に求めた年間の予定作業人工数3000人で計画した第1年度の年間作業日程計画を10日(旬)を単位期間として策定したものである。各作業の適切な作業時期と各期間の労務配分予定に合致するよう180の各林分毎に何時作業を行うか計画したものである。単位期間を換えることで月間計画にも適用できる。

$$TX(J, K) \geq \sum X(I, J) \times TM(I, K)$$

$$TN(J, K) \leq \sum X(I, J) \times TM(I, K)$$

ここで、HY(I, J) は作業Iを期間Jに実行する場合の評価値、X(I, J) は作業Iの期間Jの投入人工数、TT(I) は作業Iに必要な総人工数、MN(I), MX(I) は作業Iの1期間当りの最小及び最大投入可能人工数、TM(J, K), TX(J, K) は期間J資源Kの最小及び最大許容量である。この手法の問題点は林分単位で計画を考えると制約式の数が非常に多くなることと、個々の林分単位の作業連続性が必ずしも確保できないことである。そこで、作業の割当を「輸送型の問題」として考えてみると比較的簡単に計算できる。表2は図13と同様年間の予定作業人工数3000人で計画した第1年度を対象に、施業モデルの作業種毎に集計し作業日程計画を策定したものを集約した結果である。このように短期的な作業日程計画も比較的簡単に策定することができる。

表2 月別作業人工数割付(輸送問題)
Table 2 A number of workers at each month (model of transport)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | TOTAL |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 下刈 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | 63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 128 |
| 間伐 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 185 | 0 | 137 | 0 | 0 | 70 | 392 |
| 枝打ち | 0 | 0 | 0 | 0 | 248 | 0 | 0 | 245 | 0 | 0 | 0 | 0 | 493 |
| 磨き丸太 | 248 | 248 | 248 | 248 | 0 | 183 | 0 | 1 | 111 | 248 | 248 | 178 | 1961 |
| TOTAL | 248 | 248 | 248 | 248 | 248 | 248 | 248 | 246 | 248 | 248 | 248 | 248 | 2974 |

作業日誌による実行管理

作業計画を森林経営管理システムのサブシステムとして位置づけるためには単に作業日程計画策定だけでは不十分である。作業日程計画に基づき作業を実行し、その実行結果を森林経営管理システムの各種データベースの更新データとして蓄積し、次の作業計画等にフィードバックする必要がある。そのため図14に示す概念に沿って、作業実行簿(作業日誌)の登録整理を行うシステムを開発した。このシステムは作業(労務)管理と言った従来の機能に加え、森林管理システムのデータベース更新と言った機能をもっている。それは各林分に対する作業の進捗状況に応じ森林資源データベースを更新することである。また個々の作業条件を顧慮した作業工程(作業能率)のデータベースを構築することである。森林資源データベースの更新は植伐による追加削除・年毎の林齢の更新だけでなく、作業歴や次の予定作業の追加等により、その内容を充実させる必要がある。これらのことにより的確な作業計画の基礎データが蓄積される。また個々の作業工程はその作業条件に影響されるが、現在算出基礎となるデータが不十分なため、全体としての標準工程しかない。適切な作業計画を立てるためにはより詳細な工程表が必要であり、

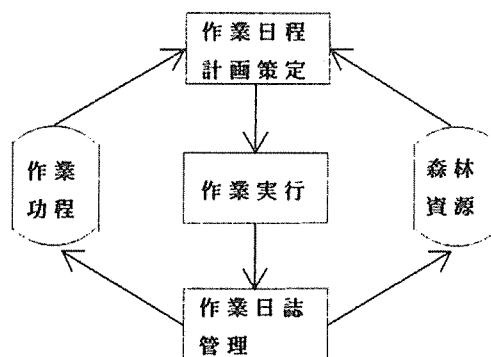


図14 作業実行管理の概念図

Fig. 14 Model of management for forest work.

その意味においても作業の実行管理は必要である。

作業日誌登録システムは作業者氏名・作業内容・作業場所（林小班）・作業時間・計画番号（予定案名）の各項目を日々の作業記録として登録するものである。また、整理登録は林分毎に作業種・人工数・費用などをまとめるものである。これらのプログラムは誰でも容易に入力できるように、メニュー形式で登録できるようにしてある。このシステムは現在試験運用中であるため、その適用性や問題点などについては今後報告したい。

おわりに

森林経営管理システムのサブシステムとしての作業日程計画を構築し、現在実作業への適用を試みている。今後は実用性の検証をおし修正と改良を行いたい。そのためには多くの人々に運用していただくのが最良の方法だと確信している。希望者があれば喜んで提供させていただく。また、作業日程計画策定の手法は数多くありできるだけ多くの有用な手法を計画ツールとしてシステムに取り込んでいきたい。さらに、森林経営管理システムは今後の森林経営にとって欠くことのできない意志決定支援システムであるとの観点でその構築も急ぎたい。

引用文献

- 1) 酒井徹朗・ヨナタン・ポントゥルーラン・楊篠琴：林業におけるエキスパートシステムの適用に関する研究（Ⅱ）。日林論 100, 771-772, 1989
- 2) 森林計画研究会：森林経営に関するユフロ国際研究集会発表論文抄訳。森林研究会報。290・291 1-76, 1985
- 3) ヨナタン・ポントゥルーラン：京大学位論文, 1989

Resume

We construct forest operation schedule system that is a part of forest management system which supports manager to decide how to do. Using this system, we can plan a long-term operation schedule for 5 or 10 years and a short-term plan as 1 year too. The former is planned by simulation method of a change of forest resource and volume of operations under conditions of the operation model and the prescribed number of workers. The latter is planned by PERT, LP and another OR methods. This system is used for not only a schedule planning but also an operation management. Therefore, the cycle of evaluation for plan and action is linked and database of forest resource and operation productivity will be improved.