

論文

## 林業における就労配分の最適化に関する研究

### —PERT手法の適用に関する基礎的検討—

黒川泰亨\*・矢島匡章\*\*

## A Study on the Optimization of the Labor Allocation in Forestry Works

### - A Basic Consideration in the Application of the PERT Technique to Forestry Projects -

Yasuaki KUROKAWA \* and Masaaki YAJIMA \*\*

#### Summary

The purpose of this study was to optimize the labor allocation in forestry work by using the PERT method (program evaluation and review technique) with groups of laborers in the middle scale local forestry cooperatives in Tottori Prefecture. Forestry projects, such as site preparation, reforestation, weeding, thinning, pruning and cutting involve many activities. Some of these activities may run in parallel; others depend on one another. Forest managers are responsible for scheduling activities in a manner that will avoid bottlenecks and meet project deadlines. Sometimes they must predict the most likely date for the completion of a project, taking into account all the things to be done and how they interact. The PERT technique is designed to help project managers do this. PERT was designed to evaluate the probability of meeting project deadlines, given probability estimates of activity durations. The probability element of PERT is emphasized in this paper and this is accomplished by using three estimates of duration for each activity: most-likely duration, an optimistic duration and a pessimistic duration. In this paper, the probabilistic PERT was recognized to be very effective for labor allocation in forestry work. A PERT analysis of a project provides a realistic way to examine this in light of deadlines and resource limitations. It can help avoid major project cost overruns and it offers a clear mechanism for communicating project plans to workers of a project.

#### I 緒言

外材に対抗できる国内林業の確立を図り、来るべき国産材時代を具体化するために、育林生産の低コスト化が焦眉の急務である。このため流域を単位とした森林整備、林業の生産・加工・流通体制の整備などを推進する中で、それを担いうる組織の確立と経営基盤の充実した森林組合の育成が目論まれ、広域合併による森林組合組織の大型化が進行している。森林組合活動における重要な問題の一つは森林組合作業班の育成強化であるが、これによって地域森林の適正な管理の遂行と林業生産活動の活発化を図ることが重要な林政上の課題となっている。

\*鳥取大学農学部 附属演習林  
University Forests, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\*静岡県北遠農林事務所春野支所  
Sizuoka prefecture Hokuen agriculture and forestry office, Hahuro support office

わが国の林業労働は主として林家等の雇用労働力と林業事業者が雇用する労働力によって担われているが、近年雇用労働への依存度が高まる一方で林家等の雇用労働力が減少している。育林生産活動において森林組合の果す役割がますます増加しつつあるが、育林作業の効率化と低コスト化の観点から森林組合労働の有効利用が重要な問題となってきている。また森林組合にも近年コンピュータが広く導入され、その有効活用が必要となっている。

このような事情を背景として、本稿は、森林組合作業班の就労配分の合理化を目的とした作業班の就労配分に対する PERT(Program Evaluation and Review Technique) 手法の具体的な適用方法について検討したものである。作業の時間的 management を合理的に行う能力は、すべての管理能力に先行すべきものであると言えるが、農林業ではこの種の問題があまり科学的に扱われずに、殆どがいわゆる勘と経験にもとづいて処理されてきた。新しい形の管理では、決められた目標を達成するのに都合の良いように仕事を分割し、全体に対する個々の単位作業の相互関係を的確に掌握して作業全体を効果的に遂行していく科学的方法が要求される。

PERT 手法そのものは決して新しくはないが、この手法を育林業における具体的な作業配分に適用した例は少ない (1,2,5,6)。本稿は、PERT 手法を育林業における就労配分に適用するための基本的な方法を検討したものであるが、未解決の部分も残されているものの実用化に向けて一応の目途をつけた点に本稿の意義を認めることができると考える。本稿の作成に当っては鳥取県中部森林組合の関係者の協力を得た。記して御礼申し上げる。

## II PERT に関する予備的考察

一定の目標を設定して関係者ないし関連部門がうまく連携をとりつつ目的を効果的に達成するといった仕事は、一般にプロジェクトと言われる。プロジェクト型の仕事では、目標に向かって多くの作業を調整しながら全体としてより安く・早く・確実に所期の目的を達成することが求められる。PERT は、大規模なプロジェクトを計画・管理するための技法で米国で開発されたが、現在では全世界に展開する軍官民各方面の広い分野で利用されている。本来この手法は米国海軍のポラリス計画の計画改善と管理の必要性から開発されたものであるが、仕事全体を効果的にまとめるプロジェクト型思考の優れた手法である。

わが国でもこの種の技法に対する関心が高まり、大規模建築工事や研究開発のスケジュール管理等において広く実用化されつつある。従来、工程管理のための主要な手法はガント・チャートを中心とした管理手法であって日程計画に不可欠の手法として応用されていたが、生産活動が大規模化しそのテンポが加速されると、従来型の手法を根本から改める必要が出てきた。PERT 手法は生産スケジュールの大規模化とそのテンポの加速によって要求された新しい管理手法であるが、OR とコンピュータの普及によって一層加速された。

PERT/TIME はその当初から時間を主体としたプロジェクトを管理する目的で開発された。しかし、実際にプロジェクトを管理するに際してそれに要する資金と費用を考慮する必要がある、プロジェクトの進行を管理すると同時にプロジェクトの進行による費用の発生の時間的経過を把握して資金の有効活用を考慮しつつ全体を管理する手法が考案された。この手法を PERT/COST と名付け、従来からの時間を主体とした PERT のことを PERT/TIME と呼んで両者を区別している。なお、本稿で PERT という場合には PERT/TIME のことを指している。

PERT の目的は、仕事の順序関係を矢線 (arrow) と結節点 (node) で表現し、その上で日程計算を行い、作業全体の完遂に対する隘路を発見して合理化の方策を検討するものである。この

手法によって仕事と時間の関係が調整され仕事の手順の最適化が可能となるうえに、資源と資材の割り当てや時間と費用の見積などに関する的確な情報も提供できるところにある。なお、米国海軍による PERT、米国空軍の PEP(Program Evaluation Procedure)、米国陸軍の ZPA(Zeus Program Analysis) も本来同じ目的で開発された手法であるが、これらの手法は目的に応じて各種に変形されたものの広義の PERT の名の下で統一されていると言えよう。

現在これらの技法はさらに発展し、ネットワーク型のプロジェクトの問題として各方面に拡張されている。例えば、各種資源の制約条件の下での実行可能なスケジュールを作成する RAMPS(Resources Allocation and Multi-Project Scheduling)、LESS(Least Cost Estimation and Scheduling)、SCANS(Scheduling and Control by Automated Network System) などはその例である。計画と管理のための業務を合理化するための各種のシステムも開発され、OR 手法の発展とコンピュータの普及とともに実用化が進み効果を発揮しつつある (8)。

### Ⅲ PERT による就労配分の方法

#### 1. 就労配分の基本的考え方

本稿は、上記の PERT 手法を適用して森林組合作業班の就労配分の合理化を目的とした作業班の就労配分の合理化を検討しようとするものである。育林業における作業は、地拵え、植え付け、補植、下刈り、除間伐、伐採、搬出などの単位作業の組み合わせで構成されているが、このように多数の単位作業の組み合わせで構成される事業は典型的なプロジェクトと言える。本稿で検討の対象とする森林組合作業班が行う作業は、典型的なプロジェクトの形態をとっていると考えられる。組合作業班の就労配分の最適化とは、単位作業に関する作業種、必要作業量、作業場所が与えられた場合に、作業班の作業能率、作業コスト、先行(または後続)作業予定、作業開始日などの各種データをもとに作業班員を適切に作業現場に配置するとともに、作業を予定期間内に達成させかつ作業コストの最小化を図るような就労配分を達成することであると言えよう。

PERT では、各単位作業について作業日数と先行作業をもとに、最早開始日、最早終了日、最遅開始日、最遅終了日の4種類の日程を決めることになる。さらに、これをもとにして全余裕、自由余裕などに関する計算を行い、これらの検討から作業日程のバランスや作業日程全体を左右する事象の検討を行い日程全体を調整するが、とくにクリティカル・パス(最長経路)を構成する単位作業の分析が計画全体の隘路を発見するうえで極めて重要となる。

PERT による就労配分の調整においては、日程が長期に及びかつ調整の対象となる単位作業が多くなるほどより効果的である。大型プロジェクトにおいては長期日程計画として数年に及ぶ日程を PERT で管理する場合もあるが、通常は中期日程計画として1年未満の日程を PERT で管理するケースが多い。育林業に関する実務上の就労配分においては予期せぬ天候の変化、作業員の出勤状況の急変、作業場所の急な変更などによって数日単位で就労計画を変更せざるを得ない場合もあり、1~2か月単位での短期日程計画として PERT を適用するのが望ましいと考えられる。本稿でもこのような比較的短い期間を前提とした短期日程計画に対する PERT 手法の適用を考えた。

#### 2. 確率付き PERT 手法の導入

PERT 手法は、所要日数が確定値をとることを前提とした確定的 PERT と所要日数が一定の

分布をとることを前提とした確率的 PERT に区別できるが、森林組合作業班が行う作業のように野外で行う作業は天候などに左右されやすく各単位作業の所要日数の推定にバラツキがあるので、確率的 PERT の適用が望まれる。

この場合、各単位作業の所要日数に関する確率分布の推定が困難なため、実務上は以下に示す所要日数  $D_{ij}$  について 3 点見積法を採用することが多い。所要時間に分布を入れて行う PERT 計算の大きな特徴は、結合点に対する予定時刻を実現できる確率が示されることであり、この手法を確率付き PERT (3 点見積り) と称して確定的 PERT (1 点見積り) と区別している。3 点見積りを採用するか 1 点見積りを採用するかは、PERT を確率論的な体系として取り扱うか否かといった基本問題に関係するが、3 点見積りを採用すれば作業が予定日迄に完成する確率を計算できる点に特徴がある。3 点見積りには、見積者に抵抗感を与えることなく技術上の見積値を引き出しうる点など、1 点見積りでは期待できない幾つの特徴がある。

3 点見積法では所要日数の見積りに関して、(1) 平均的な日数 (可能値: 同一条件下でその単位作業が何回も繰り返された場合に最も頻繁に起こると推定される所要日数、つまり従来の経験に照らしてその単位作業の遂行に実際に予想される所要日数)、(2) 楽観的な日数 (楽観値: ものごとを円滑に運ばせる条件がすべて揃い、実際にもすべて円滑に運んだ場合にその単位作業の遂行に要すると推定される所要日数)、(3) 悲観的な日数 (悲観値: 楽観値とは反対に悪条件が重なってすべてうまく行かなかった場合にその単位作業の遂行に要すると推定される日数) の 3 点を定める。

この場合の 3 点は、約束ではなく技術上の日程見積りである点に注意する必要がある。また見積りの順序も作業の先行関係やネットワークの流れとは無関係にランダムに行う必要がある。3 点見積法では楽観値を下限値、悲観値を上限値、可能値をモードとするベーター分布を考え、これをもとに所要日数の期待値と分散を求めたうえで PERT による日程計算を行い作業の実行可能度 (確度) を計数的に把握するものであるが、本稿では先に述べた理由によりこの方法を採用した。つまり、

平均的な日数 (可能値) :  $m_{ij}$

楽観的な日数 (楽観値) :  $a_{ij}$

悲観的な日数 (悲観値) :  $b_{ij}$

を決め、 $D_{ij}$  の期待値として

$$D_{ij}^* = (4m_{ij} + a_{ij} + b_{ij}) / 6 \quad (1)$$

を採用し、その分散は

$$\sigma_{ij}^2 = [(b_{ij} - a_{ij}) / 6]^2 \quad (2)$$

にする。

各単位作業の所要日数の分布は図 1 に示すとおり、上限  $b_{ij}$ 、下限  $a_{ij}$  の有限分布となり、 $m_{ij}$  がその分布の頂点 (モード) になっていると考える。この式ではモードと上下限に 4 : 1 : 1 のウエイトを付けて平均した値を期待値とし、上限と下限の間隔が  $6\sigma$  とみて分散を求める。なおこのウエイトを使用するという理論的根拠は乏しく、対象とする事業体の実状に合わせて最も良いと考えられるウエイトに適宜変更することが望ましいが、従来から 4 : 1 : 1 のウエイトが採用される場合が多い (4)。

このウエイトを使用して各単位作業に関する所要日数の期待値ならびに分散を求めたうえで、PERT による日程計算を行い、作業の実行可能度 (確度) を計数的に把握する。この場合におけ

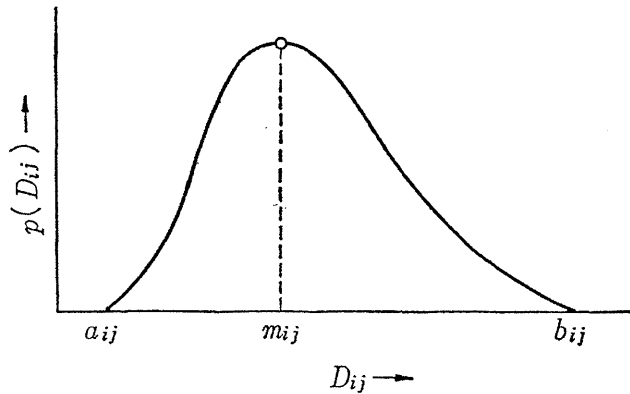


図1  $D_{ij}$  の確率分布

各結合点の日程は、その所要日数の期待値  $D_{ij}^*$  を所要日数としてそのまま PERT の計算を行うが、ここで求めた結合点日程は当然一定のバラツキを持った値であるから、結合点日程の分散を求める必要が出てくる。単位作業が直列に2つ並んだ場合、後の作業の完了を示す結合点での分散は、分散の加法性の性質から、この2つの単位作業の分散の和と考えられる。2本以上のパスが終了する結合点での分散は最も長いパスについて分散を求める。これは次式によって計算できる。

$$V_1 = 0$$

$$V_i = V_k + \sigma k i^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

ここで、 $k$  は  $i$  について

$$t_i^E = \max [ t_k + D_{ki}^* ] \quad (4)$$

$(k, i) \in p$

を実際に実現させる  $k$  をとる。ただし、 $\max$  をとる  $k$  が2つ以上ある場合は  $V_i$  の大きいものを採用する。

### 3. 作業リストの作成

PERT による日程の計画では、まず最初にプロジェクトを構成する単位作業について表1に示すような作業リストを作成する必要がある。作業リストを作成する仕事は PERT 技法の出発点となる最も重要な仕事であって、管理対象となるプロジェクトに関する技術的な全情報がこの中に盛り込まれている。これから後の作業は単純なデータ処理と考えても差し支えない。従って、作業リストの作成に当たっては、班長等の現場責任者や熟練者の過去の経験や知識を動員して、間違いのないように注意しなければならない。この過程で従来気が付かなかったことに気付くことも多い。

作業リストの作成においては、表1に示すように、作業コード名、作業班名、作業場所名、

作業種名、作業予定日数（楽観値、可能値、悲観値）、予定日数の分布、作業開始日、先行作業名を決定する必要がある。なお先行作業は3つに区別され、同一作業班の就労日時の前後関係を調整する基本先行、単位作業の開始日を調整する（始業調整のための）ダミー作業、さらに別の作業班と作業の前後関係等を調整するための関連先行に区別できる。

通常のPERTでは、先行作業が完了すれば直ちに後続作業を開始するという前提で日程計画が組まれるが、森林組合作業班の場合は作業依頼主の要望や作業班員が自家の農作業等との競合を調整するために作業開始日を予め指定することがあり、このことを処理する目的で始業日を指定するためのダミー作業を先行作業として導入することが必要になる。

PERTの場合、単位作業の数が増加し作業期間が長くなればなるほどその効果が発揮される。しかし、森林組合が依頼を受けている作業は概ね2か月程度であり、それより先の作業を確保していないこと、また天候不順による日程のズレ等もあり、仕事の遅れの調整を余儀なくされること等により、森林組合作業班が行う作業の場合には、概ね1～2か月を計画期間としてPERTによる計画を作成するのが良いと考えられる。鳥取県中部森林組合における実態分析でも2か月程度が最適であった。

表1は、本稿で事例として取りあげた鳥取県中部森林組合の平成6年3月期1か月分の作業リストである。この期の作業は47の単位作業に区分され、これらを18の作業班が担当している。作業班は班長を中心として構成されており、班長名がそのまま班名となっている場合が多い。作業場所や作業種によって班を構成する人数に変化が見られ、作業班員が常時固定しているわけではない。また、予定日数についてみても楽観値と悲観値との幅が極めて小さく安定的に作業こなす作業班があるのとは反対にこの幅が大きく作業の達成にバラツキが見られる作業班もあり、この点が3点見積りを導入する根拠ともなっている。

なお、予定日数の期待値と分散は、楽観値 $a$ 、可能値 $m$ 、悲観値 $b$ にもとづき上記(1)、(2)式に従って計算するが、この確率を求める基礎となっている個別作業の所要時間分布は粗い近似を使用しているため、細かい数字にこだわる必要はない。期待値が整数値とならず小数値を示す場合があるが、小数値をそのまま使用すると開始日や終了日の日程にズレが出て、後で示すガント・チャートの形が不自然になると端数のある日程は森林組合作業班の就労の現場に馴染まないもので、本稿では期待値について小数点以下を四捨五入した。PERTの計算もこの数値を使用して行ったが何ら支障は認められなかった。実際問題として、農林業に関する作業の日程計画で小数点以下の日程が問題になるほどの厳密さは要求されない。

特定の作業に関しては依頼者や作業班員の都合で予め作業開始日を指定することがあるので、作業開始日を記入する欄が設定してある。これは後で述べる日程調整のための先行作業と関連している。また、先行作業を基本先行、日程調整、関連先行の3つに区分する。基本先行は、同一作業班の担当する単位作業の日程が重複するのを回避するためのものである。日程調整は開始日を指定するためのダミー作業を先行作業として、指定された開始日まで最早開始日を遅らせるための架空の作業である。関連先行は、別の作業班が担当する同一場所での作業との重複を回避すると、同一場所での作業の時期的な前後関係を処理するために設けるものである。例えば、同一場所における新植作業は地拵え作業が完了しなければ開始できないために、新植作業の先行作業として地拵え作業を指定するような場合がこれに該当する。

表1 作業リスト

作業コード	作業班 班名	人数	作業場所	作業種	予定日数			予定日数の分布		作業始 日	先行作業名		
					a	m	b	Dij	$\sigma_{ij}^2$		基本先行	日程調整	関連先行
1. A1	小河内	5	小鴨解体	新植	2	3	6	3.0	0.44	3/6	A1 A2	X1	B1, D1, J1
2. A2		8	公団忽賀	新植	5	8	9	8.0	0.44				
3. A3		8	福田・坂西	新植	2	2	2	2.0	0.00				
4. B1	広田	4	小鴨解体	新植	1	1	1	1.0	0.00	3/6	B1 B2	X1	A1, D1, J1
5. B2		5	公団忽賀	新植	4	8	12	8.0	1.78				
6. B3		6	赤崎・田中	新植	5	6	9	6.0	0.44				
7. C1	山口	6	小鴨解体	新植	2	4	5	4.0	0.25	3/6	C1 C2	X1	
8. C2		7	芳土・万治	除伐・枝打ち	3	4	7	4.0	0.44				
9. C3		7	間伐・山上	新植	5	6	9	6.0	0.44				
10. D1	矢送	5	小鴨解体	新植	1	1	1	1.0	0.00	3/6	D1 D2	X1	A1, B1, J1
11. D2		4	公団忽賀	新植	4	4	5	4.0	0.03				
12. D3		6	関金・小川	間伐	8	15	27	16.0	10.03				
13. F1	中本	3	大栄・松井	新植	2	2	2	2.0	0.00		F1 F2 F3		
14. F2		7	川上・上福	新植	4	6	7	6.0	0.25				
15. F3		7	北条・平林	新植	7	8	17	9.0	2.78				
16. F4		7	和田・高間	伐採	2	3	6	3.0	0.44				
17. G1	西子鹿	5	泊・長寿	除間伐・枝打ち	3	3	3	3.0	0.00		G1		
18. G2			泊・長寿	除間伐・枝打ち	5	7	10	7.0	0.69				
19. H1	湯町	1	和田	伐採	2	2	2	2.0	0.00		H1 H2 H3 H4	F3	
20. H2		5	中国電力	伐採	5	10	12	10.0	1.36				
21. H3		5	若宮・河金組	伐採整地	2	2	2	2.0	0.00				
22. H4		5	向上ア	伐採整地	3	4	5	4.0	0.11				
23. H5		5	向上イ	玉切り・搬出	2	2	3	2.0	0.03				
24. I1	野田	2	東郷・前田	枝打ち・伐採	10	18	30	19.0	11.11	3/8		X2	
25. J1	田子	4	小鴨解体	新植	2	3	5	3.0	0.25	3/6	J1 J2	X1	A1, B1, D1
26. J2		5	公団忽賀	新植	2	4	5	4.0	0.25				
27. J3		5	倉吉・定光寺	新植	12	17	20	17.0	1.78				
28. K1	福原	3	倉吉・山根	新植	6	8	9	8.0	0.25		K1		L1
29. K2		3	倉吉・山根	新植	4	4	6	4.0	0.11				
30. L1	北条	4	倉吉・木村	新植・枝打ち	10	11	19	12.0	2.25		L1	X3	
31. L2		4	倉吉・福有	間伐	8	14	26	15.0	9.00				
32. M1	以西	4	筏津	新植・除伐	1	1	1	1.0	0.00		M1		
33. M2		6	公団・岸の下	新植	7	10	12	10.0	0.69				
34. N1	東伯	2	浦安部落	枝打ち・除間伐	26	28	40	30.0	5.44				
35. O1	赤崎	4	山下	新植	1	1	1	1.0	0.00		O1 O2 O3 O4 O5 O6	T2	
36. O2		2	平岡	伐開	1	1	1	1.0	0.00				
37. O3		3	北条・山林	伐採	1	1	1	1.0	0.00				
38. O4		2	笠見・山林	伐採・搬出	2	3	5	3.0	0.25				
39. O5		2	北条・松くい虫	伐採	2	2	2	2.0	0.00				
40. O6		1	宮坂	アンカー掘り	1	1	1	1.0	0.00				
41. O7		3	藤井	新植	4	4	4	4.0	0.00				
42. P1	大父	5	真山	新植	13	16	19	16.0	1.00	3/8		X2	
43. Q1	倉吉	7	横山	新植	8	10	12	10.0	0.44		Q1		F3
44. Q2		6	栄財産区	新植	4	5	14	6.0	2.78				
45. S1	山川	1	筏津・河内	新植	19	20	29	21.0	2.78				M1
46. T1	椋波	2	宮本	新植	3	3	3	3.0	0.00		T1		M2
47. T2		2	太田	新植	6	9	15	10.0	2.25				
X1					5								
X2					7								
X3					3							L1	

注) 平成6年3月期

## IV 結果と考察

### 1. PERT の計算結果

表1をもとにPERTの一連の処理を経て計算された各单位作業の所要日数、開始日程、終了日程、全余裕、自由余裕等を示したものが表2である。表の最左欄に作業コードを示し、2欄目には作業として2組の数字を対にして記載してある。これはアロー・ダイアグラムを作成する場合の結合点番号を示すものである。所要日数はその作業の終了迄に要する予定日数の期待値であり、先に示した $D_{ij}$  \*である。さらに表頭に4種類の日程と全余裕、自由余裕が示されている。個々の単位作業に関する各種日程の意義は以下のとおりである。

最早開始日程 (Earliest Starting Time : ES) は、その作業を最も早く開始できる日を示す。最早終了日程 (Earliest Finishing Time : EF) は、その作業を最も早く終了できる日を示し最早開始日程で作業を開始して所要日数でその作業を終了した日に相当する。最遅開始日程 (Latest Starting Time : LS) は、その作業を遅くとも開始しなければならない最終日を示す。最遅終了日程 (Latest Finishing Time : LF) は、その作業を遅くとも終わらなければならない最終日を示す。また、全余裕 (Total Float : TF) は、作業全体の終了日に何の影響も与えない各单位作業の持つ余裕の日数を意味する。さらに自由余裕 (Free Float : FF) は、この単位作業を遅らせても後続作業の最早開始日に何の影響も及ぼさない余裕の日数を示す。

表2の計算結果にもとづいて以下のような分析が可能となる。いまA1作業(班名:小河内, 作業種:新植)を例にとれば、当該作業の所要日数は3日間であり、最早日程では作業の開始日は6日の早朝始業時、終了日は8日夕刻終業時となる。最遅日程では当該作業の開始日は8日の早朝始業時であり、終了日は10日の夕刻終業時となる。また、当該作業の全余裕は2日間であり、当組合の3月期の作業全体の最終の終了日に何らの影響も与えないA1作業の持つ余裕の日数は2日間である。つまり、当該作業が2日間だけ後ろへズレても全体の作業の完了には全く影響も与えないことになる。一方、このA1作業が少し遅れても後続のA2作業の最早開始日に直接影響するので、このA1作業の自由余裕は無しとなっている。

なお、\*印はクリティカル・パスを構成する単位作業を示す。全体の作業を構成する幾つかの単位作業は全余裕および自由余裕がゼロとなっている。全余裕と自由余裕が全くない作業の連続によって構成される一連の作業がクリティカル・パスであり、表2ではM1-M2-T2-O4-O5-O6-O7がこれに相当する。このクリティカル・パスを構成する各单位作業が計画全体の作業完了時期を完全に規定している。本例では合計47の単位作業中クリティカル・パスを構成する単位作業は7つあり全体の14.9%に相当する。一般に、クリティカル・パス上にある作業の割合はかなり低く10~30%程度であるとされている。この割合は、単位作業の数が少ない場合は大きくなり、多い場合は小さくなるが、このことは管理上非常に有意義である。

このクリティカル・パス上にある単位作業が遅れると、その遅れた日数分だけ全体の作業の完了が遅延することになる。逆にもし全体の計画を短縮したい場合は、この経路上にある単位作業の所要日数を短縮するよう努力しなければならない。これに対して、自由余裕のある単位作業では、この範囲内で作業が遅れても後続の作業に影響を及ぼさないため作業全体の完遂時期に全く影響しない。クリティカル・パスを構成する作業が事業全体の遂行上の隘路となっているので、このクリティカル・パス上の作業を担当する作業班の作業能率の向上や増強が求められる。各单位作業の自由度(融通性)は自由余裕として計算されるため、自由余裕が小さく



表2 PERTの計算結果

作業 コード	作業	所要日数	日 程				全余裕	自由余裕
			最早開始	最早終了	最遅開始	最遅終了		
1. A1	21:24	3.0	6.0	8.0	8.0	10.0	2.0	0.0
2. A2	24:28	8.0	9.0	16.0	22.0	29.0	13.0	0.0
3. A3	28:31	2.0	17.0	18.0	30.0	31.0	13.0	13.0
4. B1	21:24	1.0	6.0	6.0	10.0	10.0	4.0	2.0
5. B2	24:26	8.0	9.0	16.0	18.0	25.0	9.0	0.0
6. B3	26:31	6.0	17.0	22.0	26.0	31.0	9.0	9.0
7. C1	21:22	4.0	6.0	9.0	18.0	21.0	12.0	0.0
8. C2	22:23	4.0	10.0	13.0	22.0	25.0	12.0	0.0
9. C3	23:31	6.0	14.0	19.0	26.0	31.0	12.0	12.0
10. D1	21:24	1.0	6.0	6.0	10.0	10.0	4.0	2.0
11. D2	24:27	4.0	9.0	12.0	12.0	15.0	3.0	0.0
12. D3	27:31	16.0	13.0	28.0	16.0	31.0	3.0	3.0
13. F1	1: 2	2.0	1.0	2.0	7.0	8.0	6.0	0.0
14. F2	2: 3	6.0	3.0	8.0	9.0	14.0	6.0	0.0
15. F3	3: 4	9.0	9.0	17.0	15.0	23.0	6.0	0.0
16. F4	4:31	3.0	18.0	20.0	29.0	31.0	11.0	11.0
17. G1	1: 5	3.0	1.0	3.0	22.0	24.0	21.0	0.0
18. G2	5:31	7.0	4.0	10.0	25.0	31.0	21.0	21.0
19. H1	1: 6	2.0	1.0	2.0	12.0	13.0	11.0	0.0
20. H2	6: 7	10.0	3.0	12.0	14.0	23.0	11.0	5.0
21. H3	7: 8	2.0	18.0	19.0	24.0	25.0	6.0	0.0
22. H4	8: 9	4.0	20.0	23.0	26.0	29.0	6.0	0.0
23. H5	9:31	2.0	24.0	25.0	30.0	31.0	6.0	6.0
24. I1	29:31	19.0	8.0	26.0	13.0	31.0	5.0	5.0
25. J1	21:24	3.0	6.0	8.0	8.0	10.0	2.0	0.0
26. J2	24:25	4.0	9.0	12.0	11.0	14.0	2.0	0.0
27. J3	25:31	17.0	13.0	29.0	15.0	31.0	2.0	2.0
28. K1	1:11	8.0	1.0	8.0	20.0	27.0	19.0	4.0
29. K2	11:31	4.0	13.0	16.0	28.0	31.0	15.0	15.0
30. L1	1:10	12.0	1.0	12.0	2.0	13.0	1.0	0.0
31. L2	30:31	15.0	16.0	30.0	17.0	31.0	1.0	1.0
*32. M1	1:12	1.0	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0
*33. M2	12:16	10.0	2.0	11.0	2.0	11.0	0.0	0.0
34. N1	1:31	30.0	1.0	30.0	2.0	31.0	1.0	0.0
35. O1	1:13	1.0	1.0	1.0	19.0	19.0	18.0	0.0
36. O2	13:14	1.0	2.0	2.0	20.0	20.0	18.0	0.0
37. O3	14:17	1.0	3.0	3.0	21.0	21.0	18.0	8.0
*38. O4	17:18	3.0	22.0	24.0	22.0	24.0	0.0	0.0
*39. O5	18:19	2.0	25.0	26.0	25.0	26.0	0.0	0.0
*40. O6	19:20	1.0	26.0	27.0	26.0	27.0	0.0	0.0
*41. O7	20:31	4.0	28.0	31.0	28.0	31.0	0.0	0.0
42. P1	29:31	16.0	8.0	23.0	16.0	31.0	8.0	8.0
43. Q1	1:15	10.0	1.0	10.0	16.0	25.0	15.0	7.0
44. Q2	15:31	6.0	18.0	23.0	26.0	31.0	8.0	8.0
45. S1	12:31	21.0	2.0	22.0	11.0	31.0	9.0	9.0
46. T1	1:16	3.0	1.0	3.0	9.0	11.0	8.0	0.0
*47. T2	16:17	10.0	12.0	21.0	12.0	21.0	0.0	0.0
X1	1:21	5.0	1.0	5.0	3.0	7.0	2.0	0.0
X2	1:29	7.0	1.0	7.0	6.0	12.0	5.0	0.0
X3	10:30	3.0	13.0	15.0	14.0	16.0	1.0	0.0
d1	4: 7	0.0	18.0	18.0	24.0	24.0	6.0	0.0
d2	10:11	0.0	13.0	13.0	28.0	28.0	15.0	0.0
d3	4:15	0.0	18.0	18.0	26.0	26.2	8.0	0.0
d4	10:30	0.0	13.0	13.0	17.0	17.0	4.0	0.0

注) \*はクリティカル・パスを示す。d1～d4はダミー作業を示す。日程の単位は日。

なるほどその作業が事業全体に厳しい影響を与える危険性を持っている。

なお、表2の2欄目に作業として2組の数字が対をなして記載されているが、これはアロー・ダイアグラムを作成する場合の結合点番号を示すことは既述のとおりである。アロー・ダイアグラムを描くときには以下の3つの基本的な規則がある(7)。

- 1)各作業は一意的に結合点の対として表される。
- 2)矢印の方向に結合点番号が大きくなる。
- 3)同一の結合点に入る作業は、すべて共通な後続(または先行)作業を持つ。

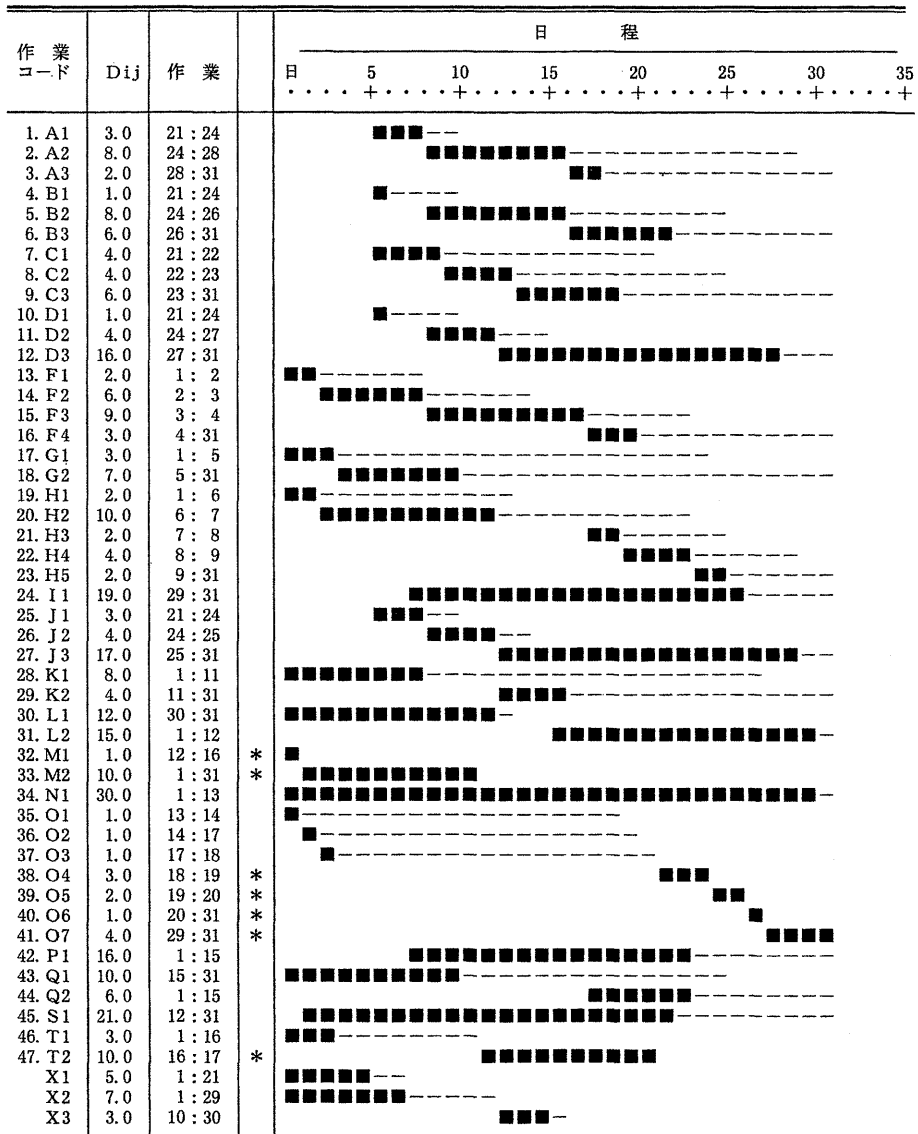
アロー・ダイアグラムは各单位作業の時間的な相互関係を視覚的に把握できるので、作業の手順を検討する場合に有効に利用できるが、作業数が増加すると相当複雑な図になる。作業リストには直前または直後の単位作業しか示されないため、作業全体における単位作業の位置関係は分らないが、作業全体の関係をネットワークとして図化することによって単位作用の位置関係が容易に把握できることになる。表2の2列目に結合点の番号が示されているので、結合点番号1を最左端に書き、番号が大きくなるに従って右側へ移動させつつ順次描いて行けば容易に作図できる。なお、図全体がかなり大きくなるので本稿ではアロー・ダイアグラムの掲載は省略した。

## 2. ガント・チャートの作成

表2をもとに作成した平成6年3月期の最早日程に関するガント・チャートが図2である。この図によって単位作業の進行状態と作業全体の関係が一覧できる。図2に注目すれば、各作業とも表1に示した基本要件を完全に満足させて日程が調整されている。■は最早開始日程と最遅終了日程による作業日程を示し、-は全余裕を示す。いま、A1作業(班名:小河内, 作業種:新植, 作業予定日数:3日)に注目すると、最早日程では開始日が3月6日であり終了日が3月8日となる。また最遅日程では開始日が3月8日となり終了日が3月10日となる。従って、遅くとも3月8日迄に作業に着手し3月10日迄に終了する必要がある。この作業の全余裕が2日間となっているので、作業全体の終了日に影響を与えない余裕の日数が2日間あり、また、自由余裕がゼロであるので当該作業の遅れがそのまま後続作業に直接影響を与えることになる。

ガント・チャート上でクリティカル・パスを構成するM1-M2-T2-O4-O5-O6-O7の単位作業を辿れば、完全に日程に余裕のない1本の経路が構成される。このことにより、クリティカル・パスを構成する各单位作業が計画全体の作業完了時期を完全に規定していることが容易に確認できる。これらの単位作業を担当する作業班が事業遂行上の隘路となっているので、これらの作業班の作業状態の再検討による作業能率の向上や増強が求められる。各单位作業の自由度(融通性)は自由余裕として計算されるため、自由余裕が小さくなるほどその単位作業が事業全体に厳しい影響を与える危険性を持っているとも言える。

各单位作業がどの程度の余裕があるかについては、個々の単位作業の所要日数を全余裕の日数で除した値で検討することができる。例えば、A1作業に関しては、所要日数の予定が3日間であるがこの作業の全余裕は2日間であるので余裕度は $3/2=150\%$ と考えられる。余裕度の小さい作業は、作業が遅れると後続の作業に影響する度合いが大きいので、作業を担当する作業班の指導を強化して能率の向上を図るとともに班員を増強して何からの対策を講じる目安とできる。当該3月期の各单位作業の余裕度は図3のようになる。この図の上にある作業ほど余裕が小さく下に行くほど大きくなる。当然ながら、クリティカル・パスを構成する単位作業



注) ■ : 最早開始日程と最早終了日程による作業日程を示す。 — : 全余裕を示す。  
 \* : クリティカル・パス上にある作業を示す。

図2 就労配分のガント・チャート

の余裕度はゼロになり、図の最上部に位置付けされる。当該作業は全く余裕のない厳しい状況にあることが容易に把握できる。

3. 実行可能性の検討

3点見積りで所要日程に分布を与えることにより、各結合点日程も一致の分布を持つことになる。各単位作業の所要日数の分布はベータ分布で近似することは既述のとおりであるが、期

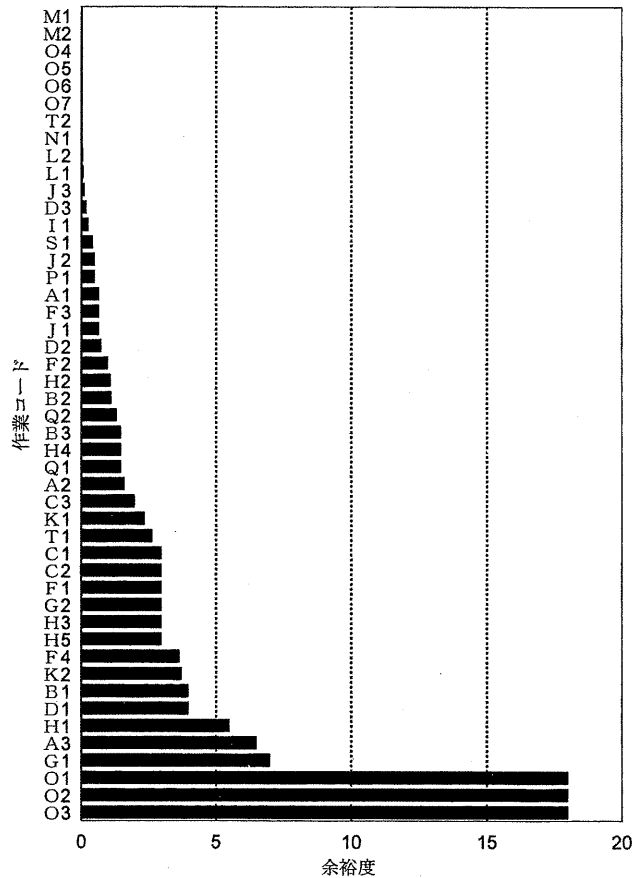


図3 作業の余裕度

待値は各单位作業の実行上消費されると予想される平均的日数，分散は単位作業の所要日数見積りにおける不確かさの尺度と考えられる。中心極限定理より，このベータ分布を累積していくと，全体はベータ分布の分散を加算した値を分散とし，平均を加算した値を平均とする正規分布で近似できる。これによって計画した作業全体が一定期日迄に完了できる確率が計算できることになる。なお，作業全体が完了する期日はクリティカル・パスを構成する作業によって規定されるから，クリティカル・パスを構成する単位作業の期待値と分散を合計し，正規分布によって確率が容易に計算できる(3)。

図4は，こうして計算した作業全体の実行可能度である。表1の作業リストによって与えられた条件で平成6年3月期1か月間の作業を実行すれば，当月当初に予定した作業全体が達成できる可能性は3月28日迄が4.6%，同29日迄が13.1%，同30日迄が28.8%，31日迄が50%，4月1日迄が71.2%，2日迄が86.8%，3日迄が95.3%，4日迄が98.7%，さらに5日迄で99.7%と計算できる。3月31日迄に作業全体が完遂できる確率は50%であるが，好条件が重なり楽観的な日程に近い条件で作業が行われても3月29日迄に全体の作業が完了する確率は僅かに13%にしかすぎない。一方，悪条件が重なり悲観的な日程で作業を行わざるを得ない最悪

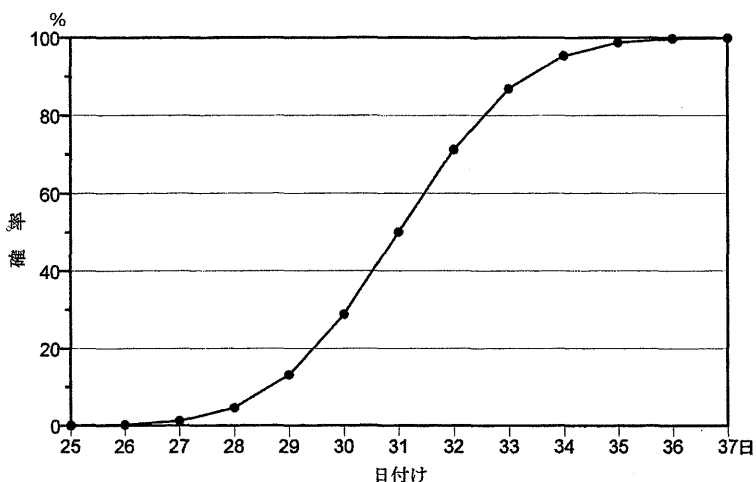


図4 作業が完了する確率 (実行可能度)

の場合でも4月5日迄かければ作業が概ね100%完遂可能になることが分かる。

なお、実行可能度の意味について若干の検討を加えておきたい。既述のとおり、この確率を求める基礎となった個々の単位作業の所要日数の分布の計算ならびにその組み合わせから成るネットワーク全体の日程分布の計算には、相当粗い計算法を使用している。従って、細かい数値に拘わる必要は全くない。また所要日数推定の精度によって実行可能度の値が大きく変化する。例えば、平均日程が同じでもその推定精度が小さくなると以下のようなことになる。

予定完了日程 > 最早結合点日程の場合：実行可能度が増加

予定完了日程 < 最早結合点日程の場合：実行可能度が減少

実行可能度が50%より大きい小さいかは区別できても、同じ側にある場合は数値の絶対値の大小を問題にするのは無意味となる。同じプロジェクトでの相対的な変化には一定の意味づけは可能である。要するに、実行可能度の持つ意味とその限界を正確に把握して、これを日程管理の道具として活用することが重要となる。

## V 摘要

PERT手法を森林組合作業班の就労配分の最適化に適用する場合、その手順はプランニングとスケジューリングの2つの段階に分かれる。前者は、アロー・ダイアグラムを作る段階つまりプロジェクトを定性的に解析する段階である。後者は、アロー・ダイアグラムの中の単位作業に関する所要時間等のデータの見積りを与えて日程計画上の諸元を計算し、実際の日程計画を作り上げる段階である。この2つの段階が明瞭に区別できるという点は、従来の日程計画に比較してPERT手法が持つ大きな特徴とも言える。

プランニングの段階では、各単位作業に関する技術上、管理上の知識が正確に把握されている必要がある。この過程で、いままで当然として進めていた作業の手順よりもさらに合理的な手順に気付いたり、単位作業の組み合わせが管理上不適切であること等が分かったりする場合もある。また、作業班長や班員に森林組合全体の仕事における自己の職責を明確に自覚させることも作業能率の向上にとって重要である。

次に、スケジューリングの段階では、各単位作業の所要日数やこれの悲観値・楽観値などを調べてプロジェクト全体の日程計算を行うが、クリティカル・パスや余裕時間が予め分かっているから、これにもとづいて適切な対策を講じることが可能となる。全体の日程を組んだ上で個々の単位作業の位置付けを検討すれば、どの作業班を強化すべきか等に関しても適切な情報が得られる。

PERTにおける3点見積りの導入に際しては、その意味を十分知ったうえで利用することが必要である。1点見積りPERTでも十分な成果をあげている例も結構多い。要するに道具として使いこなすか否かが問題である。3点見積りで所要日程にある程度の幅を持たせることによって、作業班が厳しいノルマを与えられているといった心理的圧迫から解放され、計画が円滑に運用できれば、3点見積りを導入した所期の目的が充分果されているとも考えられる。

本稿で使用したPERTのパソコン用プログラムはすべて自己開発したものであり、N 88-BASICを使用している。PERTの計算だけを考えれば、扱えるプロジェクトの大きさは、結合点・作業に関するリストを記憶できる記憶容量によって決まる。また、計算時間はパソコン自体の計算速度で決まるが、現在のパソコンの計算速度は極めて速く計算時間そのものが問題となることは滅多にない。PERTを実際の日程管理システムとして実用化するには、各種の報告書類の作成をパソコンに実行させる必要があり、いわゆるレポート機能が求められるが、個々の森林組合の実務に完全に直結した各種のレポート機能を付加するには相当の手数と経験が必要となる。

森林組合作業班員の就労配分のPERTシステムの開発においては、完了予定日の指定、暦年の指定、資材の配分、費用の管理等の機能を持たせる必要があると考える。完了予定日に関しては、最終結合点の完了予定日を指定し、それから逆に各単位作業の最遅開始日程や最遅終了日程が計算できる機能も求められる。これによって計算上の日程と実際の日程とのズレを比較検討することが可能となる。暦年の指定では、実際の日付けをスケジュール上の時刻に具体的に一致させることによって実用上の利便を向上させることが求められる。また、祭日や休日などを指定することができるような工夫も必要となる。

さらに、資材の配分に関しては、プロジェクト中の各単位作業を実行するには一定の資材を必要とする場合があるが、現実には利用可能な資材には制約があり、ある日時には幾つかの単位作業が資材を相互に奪い合うという状況が起こる。この場合、最も能率良く作業を完了するには限られた資材をどのように各単位作業に割り当てたら良いかという問題を処理する機能が求められる。費用の管理に関しては、一つの作業または数個の作業のグループについて費用に関するデータを指定しておき、費用の発生を時間的に管理できる機能が求められる。これによって、予算にもとづく費用の管理が可能となる。

育林経営のように自然条件に左右されやすく不確実性が大きい場合には、PERTに代表されるOR手法の適用は容易ではないが、種々の場合を想定して工夫を凝らせばOR手法の導入は可能であり、問題解決の有効な手段となりうる。この場合、OR手法が導入されやすい環境を醸成していくことが先決となろう。

本稿で取り上げたPERT手法は、パソコンを使用すれば入力データさえ準備できれば後は誰でも簡単に結果を得ることができるが、入力データの整備と結果の見方においては関連した周辺領域の知識と過去のデータの蓄積がものを言うことになる。従来からの勘と経験による育林生産から科学的管理法に支えられた育林生産へ転換することこそが、外材に優に對抗できる国

内林業の確立を図り、来るべき国産材時代を具体化する手だての一つになると考える。

#### 引用文献

- (1) Buongiorno J. Gilless J.K.(1987) *Foresy Management and Economics*. 285pp. Macmillan Publishing Company, New York, 146-158
- (2) Hasch,B.(1970) Network analysis in FAO international assistance forestry projects. UNASYLBA 24(4).99: 18-28
- (3) 加藤昭吉(1989)PERTの知識. 58-62, 日本経済新聞社, 東京
- (4) 加藤昭吉(1991)計画の科学. 130-136, 講談社, 東京
- (5) 黒川泰亨(1987)PERT手法による森林組合作業班の就労配分のシステム化. 第38回日林関支講: 33-36
- (6) 黒川泰亨(1988)森林組合作業班の就労配分に対する日程計画法の適用. 99回日林論: 9-11
- (7) 守谷栄一・小宮正好(1992)技術者のための経営科学の知識. 112-137, 日本理工出版会, 東京
- (8) 関根智明(1994)PERT・CPM. 8-11. 日科技連, 東京