

工期短縮と資源の有効利用を考慮したGAによるプロジェクトスケジューリング*

A Study on Project Scheduling Technique Using Cut Theory and GA*

滑川達**・山中英生***・吉田健****

By Susumu NAMERIKAWA**・Hideo YAMANAKA***・Ken YOSHIDA****

1. はじめに

近年、国民の間に根深く存在している不信任感を背景として、公共工事のあり方について、多くの疑問が顕在化し改革のための議論が進められている。なかでも、公共事業の執行方法に関連する問題の一つである事業期間の長期化による社会・経済的な便益損失の発生に対して、時間的効率性を向上させる「時間管理概念」¹⁾を積極的に導入して事業、工事の円滑化を図り効率性を向上させることが重要との認識が高まっている。またこのような「時間管理概念」導入への要請を本研究が対象としている工事着手段階で応えていくためには、現場マネジメントにもプロジェクトマネジメント(PM)手法を導入し、マネジメント技術の高度化、標準化、共有化を図っていくことが重要な課題となってくる。今後建設プロジェクトにおいて以上のようなPMという概念を効果的に推進するために本研究では、工程表の作成プロセスに焦点を当て研究を進めた。

工程表の作成、特にリソース配分の最適化プロセスにおいては、従来山崩し法²⁾と呼ばれるヒューリスティック法が採用されている。しかしこの手法では、PERT計算に基づくトータルフロート等のスケジュール指標による非常に限定的な資源配分ルールを採用しており、多様な代替案検討ができず、求められた近似解は最適解と比べ差が大きいケースがしばしば見出される。このため実用性にかげ、実際の場面では担当技術者が試行錯誤的に決定しているなど、ツール・技法的な課題が多く残されているプロセスである。

そこで本研究では、二つの目的を設定する。第一の目的は、以上のように従来法の固定的な資源配分ルールを変数化するためにカット理論を用いるとともに、計算量の問題については遺伝的アルゴリズムを適用したメタヒューリスティックなアプローチを通して、従来法以上に計画目標を追求したスケジュールを求めるための手法を

構築することである。そこでは、春名・滑川が参考文献5)において提案した「カットネットワーク手法」によるリソース配分を伴うスケジューリング問題の定式化をベースに、その近似解法としてGAを適用するための構成方法を示す。また、春名・滑川では、対象ネットワークの形式としてAOAのネットワークを採用しているのに対して、本研究では、現在、多くのPMソフトウェアで用いられているAONネットワークへの対応が図られる。そして、開発されたスケジューリング手法を、工期最小化問題、資源の有効利用を目的とした問題に適用し性能評価を行う。

また各計画目標の最小化を突き詰めた場合、各目的別に最適解が求められる。これらの解は非劣解と呼ばれトレードオフ関係を持っている。ここでいうトレードオフ関係とは、工期を短縮しようとするれば、必要資源が有効に利用できなくなることまたは、その逆の状況が生まれることを指す。この場合、計画設計者が非劣解集合として求められる効率的フロンティアに位置した代替案の中から対象プロジェクトにおける目標間の重要度やその他の管理基準を考慮し選択することが望ましい。しかし、現状では、精度の高くない山崩し法計算結果から得られた劣解の中から代替案検討が行われている可能性が高いと考えられる。そこで第二の目的として、開発したスケジューリング手法を活用することにより、複数計画目標を考慮した場合の非劣解集合を求めるためのパラメトリック分析を行う。そして、従来法である山崩し法から求められるスケジュールとの比較により、その有効性を確認する。

2. 対象とする問題

プロジェクトスケジューリング問題は、プロジェクトの遂行に必要な各アクティビティの所要時間や必要資源、及びアクティビティ間の順序関係が与えられたとき、工期制約・資源制約下で、工期短縮化や資源平滑化などの複数の計画目標を最適にするように、各アクティビティの開始時刻を求める問題と定義されている。一般的にスケジューリング問題を構成する重要な要素は時間と資源であり、これらの最適化問題は、次の2つに類型化できる。

*キーワード：計画基礎論 計画手法論、施工計画・管理

**正員，工博，徳島大学工学部建設工学科

〒770-8506 徳島市南常三島2-1

TEL (088) 656-9877 FAX (088) 656-7579

***正員，工博，徳島大学工学部建設工学科

****正員，工修，(株)建設技術研究所

(a) 資源に関する制約の下で、一連のアクティビティが完了する時間を最適化する。通例、工期短縮が目標となる。

(b) 時間に関する制約の下で、一連のアクティビティに関する資源を最適化する。通例、資源平滑化が目標となる。

本研究では、(1)・(2)の最適化問題それぞれに対してアプローチを試みる。

本研究では、対象とするプロジェクトネットワークの形式として、AON (ACTIVITY ON NODE) のネットワークを用いる (図-1)。AON は、作業の相互関係を表すために、アクティビティをノード、アクティビティ間の順序関係についてはアークを用いプロジェクトネットワークを作成するもので、様々な順序関係の設定による拡張機能を有することより、現在では最もポピュラーなネットワークモデルとなっており、市販のPMソフトウェアでも利用されている³⁾。今後、工事現場へのこれらPMソフトウェアの導入も考えられるため、今回用いるネットワークモデルは一般性の高いAONを採用した。また問題の入力データとして、アクティビティ i 、アクティビティの所要日数 d_i 、アクティビティの必要資源数 w_i 、資源制約 W を与える。

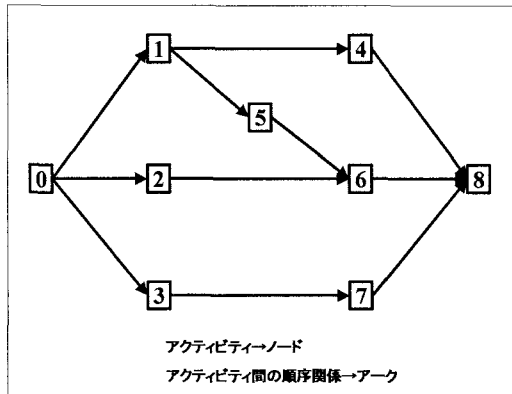


図-1 AON ネットワーク

3. 問題の定式化

アクティビティ数 m をもつプロジェクトスケジューリングは、作業間の順序関係からみても資源の投入量制約からみても「開始可能」となった時刻にすぐさまアクティビティを開始すると仮定することにより、 $m \times m$ のマトリックス (以下スケジュールマトリックス) として表すことができる。ここで、実行可能なバーチャート工程表は、以下のような制約条件を満たしていなければならない。

$$\sum_{k=1}^m a_{ik} x_k = d_i \quad \text{for all } i \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ik} w_i \leq W \quad \text{for all } k \quad (3.2)$$

$$\text{if } a_{ik} = 1 \quad \text{I} \quad a_{rk} = 1$$

$$\text{then } R_{ir} = 0 \quad \text{for all } k \quad (3.3)$$

$$x_k \geq 0 \quad \text{for all } k \quad (3.4)$$

ここで、 a_{ik} ; スケジュールマトリックスの k 列におけるアクティビティの実施状況 (1 or 0), x_k ; k 列の区間長で式 (3.1) の連立方程式を解くことによって求められる、 R_{ir} ; 工程ネットワークの可達行列の要素である。

また、工期短縮に関する目的関数を「工期最小化」とし、対象工程ネットワーク内のアクティビティに所要日数、必要資源数を与えられた中で、設定された資源制約を満足するスケジュールの工期を最小にする。資源の有効利用に関する目的関数を、「必要資源の分散最小化」とする。指標については、

(a) ピーク値だけでなく山積みのパターンを考慮できたほうが良い

(b) ピーク値が平均値に近いだけでなく、凹凸の少ない平滑なパターンが良い

以上のことから、評価指標は必要資源の分散を採用し、最小化することにした⁴⁾。さらに、本研究では工期短縮と資源の有効利用といった二つの評価項目におけるバランスを重視した解を求めることを目的としている。よって今回この二つの評価指標を標準化した適合度関数を設定することで多目的問題への拡張を行っている。

今回取り扱う計画目標となる目的関数は以下のである。

(1) 全体工期 λ の最小化：プロジェクトの早期完了を目的とする。

$$\min \quad \lambda = \sum_{k=1}^m x_k \quad (3.5)$$

(2) 必要資源の分散 V の最小化：プロジェクトコストへの負担を軽減することを目的として、最小化を図る。

$$\min \quad V = \frac{1}{\sum_{k=1}^m x_k} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=1}^m a_{ik} \cdot w_i - \bar{w} \right)^2 \times x_k \quad (3.6)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{\sum_{k=1}^m x_k} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=1}^m a_{ik} w_i \right) \times x_k \quad (3.7)$$

$\bar{w}$: 必要資源の平均値

またこれらの計画目的を次のように標準化し、多目的問題における適合度を計算することとした。

(3.5) 式、(3.6) 式に対応する適合度を次のように表す。

(1) f_1 : 工期に関する適合度

$$f_1 = (\lambda - \lambda_{\min}) / (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) \quad (3.8)$$

$\lambda_{\max}$: 最大工期

(同時実施を行わない場合の工期、すなわち全アクティビティ所要日数の総和)

$\lambda_{\min}$: 最小工期

(資源制約を考慮しない場合の PERT 計算による最短工期)

(2) f_2 : 必要資源の有効利用に関する適合度

$$f_2 = \sqrt{V} / \bar{w} \quad (\text{日々の資源使用量の変動係数}) \quad (3.9)$$

$\sqrt{V}$: 必要資源の標準偏差

さらに、次のようにして総合的な適合度関数を表す。

$$F = \alpha f_1 + \beta f_2 \quad (3.10)$$

F : 総合適合度

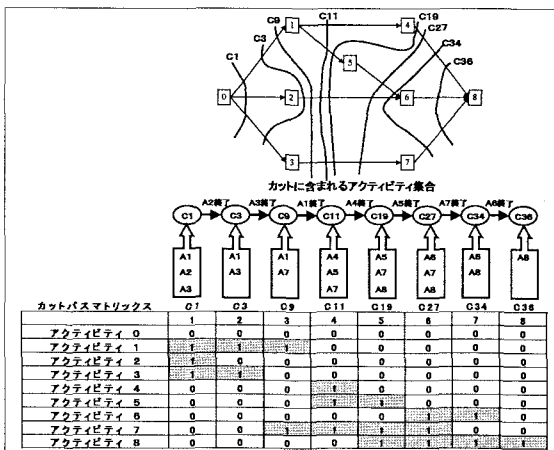


図-2 カットパスに対する
同時実施可能なアクティビティ集合

また、 α 、 β については施工計画者の当該工事の特性を考慮し設定するものとし、今回はこれら各計画目標のウェイトをパラメータとし $\alpha + \beta = 1$ の範囲内で0.01 づつ増減させるかたちでパラメトリック分析を行う。

4. カット理論の適用⁵⁾

前節で紹介したスケジュールマトリックス表現では、任意の列内の資源配分状態をアクティビティ間の順序関係を満足したかたちで決定していかなければならないことから、複雑な組合せ最適化問題となり計算が非常に困難となりうる。しかも、ネットワーク規模が大きくなり、各アクティビティ間順序関係の複雑性が増すと、現実的に最適解を求めることは不可能である。そこで本研究では、この問題における効率的解法としてカット理論を適用する。カットを、図-2にあるように AON 工程ネットワークの始点ノードを含むアクティビティ集合と終点ノードを含むアクティビティ集合とに二分するアーク集合のうち順方向アークのみから構成される並列関係にあるアーク集合として定義する。そして、このカットの終了ノード (アクティビティ) 集合のうち、集合内に先行アクティビティを持たない実施可能なアクティビティ群は、同時に実施可能なアクティビティ集合と考えることができる。ここでは、このアクティビティ群をカットに対応する同時実施可能なアクティビティ群と定義する。また、カットを交差させることなく遷移させることでアクティビティ間の順序関係の制約を満たしたカットの遷移過程を作成でき、この遷移過程をカットパスと呼ぶこととする。この関係を利用すると、スケジュールマトリックスにおける各列内の全アクティビティを対象とした組合せ最適化問題を、任意のカットパスに対応する同時実施可能なアクティビティ群とその連続過程のみを対象とした部分最適化問題に分解することが可能となる。

5. 遺伝的アルゴリズム (GA) の適用

前節にて紹介したカットパスの要素であるカットがアクティビティを越えていく違いに着目すると、「カットネットワーク」を作成することができる。このとき、図-3に示すカットネットワーク上の一本の経路 (カットパス) は、カットがアクティビティ間の順序関係を満たしながらアクティビティを越えていく連続過程のパターンの違いを示しており、カットネットワーク全体ではすべての実行可能な代替案が表現されることとなり、最適解を求めるスケジューリング問題は理論的にはこのカットネットワーク上の最適経路探索問題と等価となる。しかし、ここでも対象ネットワークの大規模化・複雑化に伴い、カットネットワークも巨大化し最適解の探索は困難

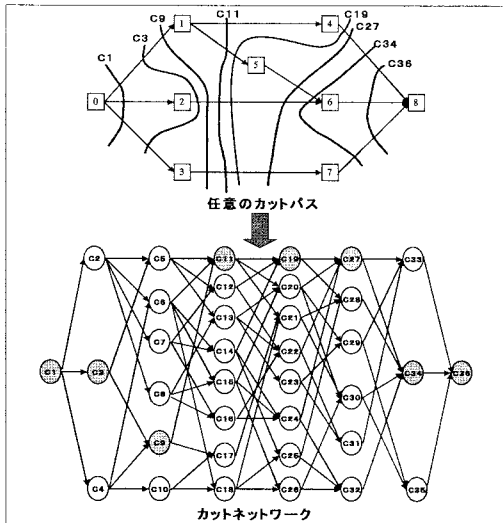


図-3 カットネットワーク

となる。そこで、この最適経路探索問題の近似解法として本研究ではGAの適用を図ることとする。また、GAを適用する場合に必要となることは生物集団の要素である個体に対応するものをどのように表現するかということが非常に重要である。そこで、今回はこのカットネットワーク上の一本の経路つまりカットパスを個体として採用する。

6. 表現型への変換方法

ここでの表現型への変換とは、個体としてのカットパスにもとづいて、代替案としてのスケジュールマトリックスを求めることを意味する。すなわち、まず生成されたカットパスの各カットに対応する同時実施可能なアク

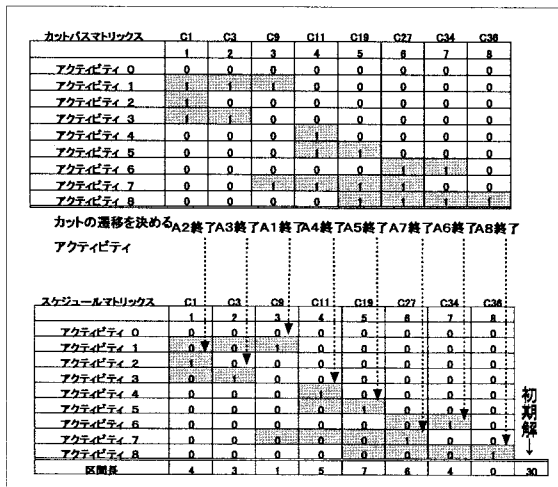


図-4 初期解の設定方法

ティビティ群を(0,1)で表現したカットパスマトリックスにおいて、現レベルから次レベルへのカットの遷移を決定しているアクティビティを順次各列へ配分することにより、図-4のような初期解とマトリックスの各列が対応するカットを設定する。なお、この初期解はカットパスごとに完全にユニークである。

上述したスケジュールマトリックスに対して図-5のような列生成法による改良収束計算を行う。この過程により、局所最適解集合のみの解探索が可能となる。

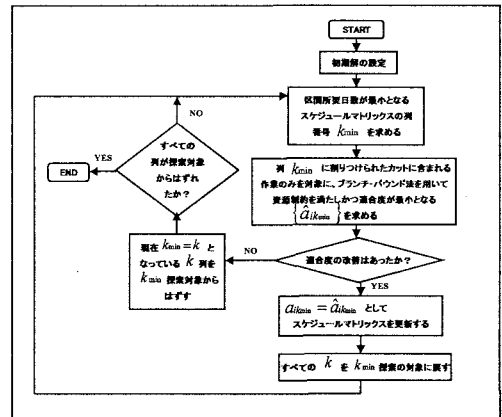


図-5 スケジュール計算フロー

7. スケジューリングアルゴリズムの構築

本研究では図-6に示す、カット理論をベースとしてGAを適用したスケジューリングアルゴリズムを構築した。そこでは、GA空間にてGAオペレータを通して最良な個体を探索し、問題空間で列生成による改良収束計算を行い、個体別に適合度を与える構造となっている。

ここでは、GAオペレータの基本動作である、再生、交叉、突然変異、世代の入れ替といったGA特有の処理プロセスについて順に説明する。

(1) 再生(ランキング選択)

再生とは適合度の高い個体が次世代に多くの子孫を残すという自然淘汰の考えである。GAでは、再生または選択といい、個体の中で問題への適合度が高い個体は増殖し、逆に低いものは淘汰される。問題に対する各個体の適合度にほとんど差が発生しない場合、いつまでもたっても良い個体が増殖しないという収束の問題が発生してしまう。ランキング選択は、適合度の高いものから順に再生する個体数をあらかじめ決めておくもので、バランスよく再生を行うことができる。よって今回は再生のバランスを重視して、ランキング選択⁶⁾を採用した。

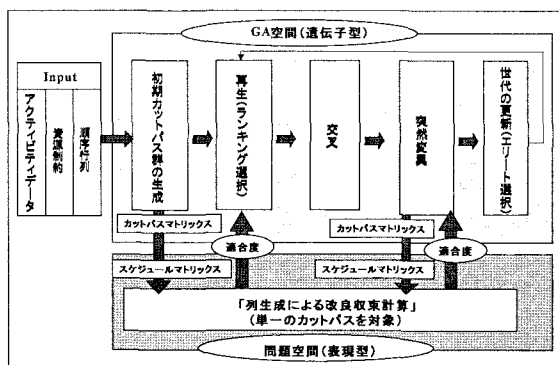


図-6 スケジューリングアルゴリズム

(2) 交叉

再生によって選択された個体の中で染色体の組替えによって新しい個体を生成することを交叉といい、個体群の中から任意の2つの個体(親)をランダムに選択し、さまざまな交叉方法を利用して個体の遺伝子を組換えることによって、新しい個体の生成を行うことをいう。今回のモデル開発にあたって適用した交叉は、個体であるカットパスと等価な情報を持ったアクティビティの終了順序を以下に示す方法で変化させて新しいアクティビティ終了順序列を生成した。

詳細な手順(図-7)を以下に示す。

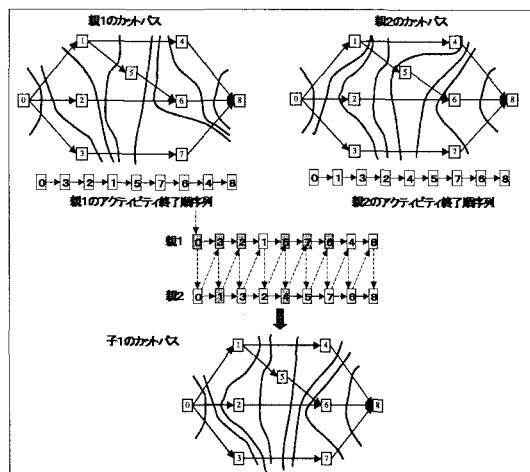


図-7 交叉方法

【交叉の手順】

- 手順1 交叉確率 P_c に従い2個の親を選択し、そのアクティビティ終了順序列を作成する。
- 手順2 親1のアクティビティ終了順序列の先頭のアクティビティを選択する。
- 手順3 1) 既に選択されたアクティビティである
2) 順序関係上まだ終了させることができない

3) 全てのアクティビティが選択された

→1) 2) の条件に該当しなければ、選択された親のアクティビティを越えるカットを生成後、手順4へ進む。

→1) 2) の条件に該当する場合は、カットを生成することなく手順4へ進む。

→3) の条件に該当すれば、終了となる。

手順4 前手順の対象が親1のとき →同じカットレベルにある親2のアクティビティを選択して手順3へ戻る。

前手順の対象が親2のとき →次のカットレベルにある親1のアクティビティを選択して手順3へ進む。

なお、子2の作成については、手順1で選択するアクティビティを親2のアクティビティからスタートすることで、子1とは異なるアクティビティ順序列を新しく作成することができる。

(3) 突然変異

再生された個体を交叉しているだけでは、個体の親に依存したような限られた範囲の子しか生成されずに解の探索範囲が非常に狭いものとなり局所的な解に陥りやすい。突然変異は、そのような状態に陥るのを防ぐ役割も含んでいる。

詳細な手順(図-8)を以下に示す。

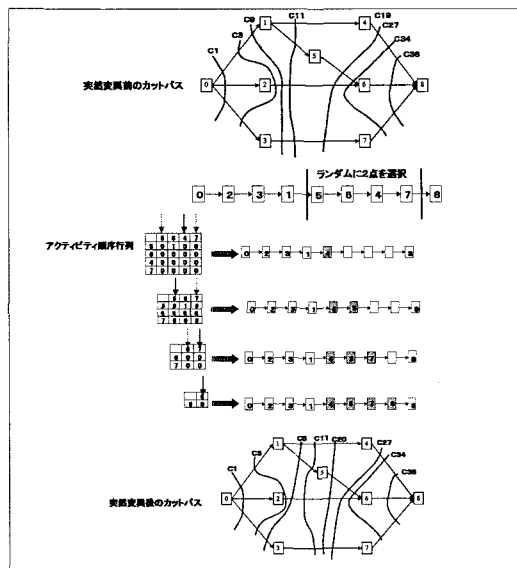


図-8 突然変異プロセス

【突然変異の手順】

- 手順1 突然変異確率 P_m に従い対象となる個体(カットパス)を選択し、アクティビティ順序列

に変換する。

- 手順2 アクティビティ順序列の2点をランダムに設定する。
- 手順3 設定された2点間のアクティビティ順序列の順序関係を表現した順序行列(δ_{ij})を作成する。
- 手順4 作成された順序行列(δ_{ij})の列がすべて、「0」になっているアクティビティ群からランダムに1つアクティビティjを選択する。
- 手順5 選択されたアクティビティjの、行・列を順序行列(δ_{ij})から削除する。
- 手順6 手順4に戻り順序行列(δ_{ij})行・列がすべて消去されるまで繰り返し、新しいアクティビティ順序列を作成する。
- 手順7 作成されたアクティビティ順序列を、個体(カトパス)に変換する。

(4) 世代の入れ替え

世代の入れ替えは、現世代での最良の適合度をもつ個体を保存し、次世代で再生された個体群の中で最悪の適合度をもつ個体と入れ替えることである。これを設定された終了世代数Xまで繰り返し行われ、もし次世代において前世代よりも最良の適合度をもつ個体が出現するとその時点でその個体をエリート保存することにする。また、前世代の最良の適合度をもつ個体を超える個体が出現しない場合は、それまで通りにいままでの世代の中で最良の適合度をもつ個体を保存し続けて入れ替え作業を行う。

これは、より良い適合度をもつ個体を探索する可能性を広げる重要な作業であり、再生時に最良の個体を組み込み最悪の個体を排除することによって、早い段階の世代で最良の適合度をもつ個体を見つけ出すことが可能となる。しかし、良い個体ばかりで交叉を行うことにもつながら、局所的な解に陥り易くなるがこれについては突

然変異を行うことにより回避できると考える。

8. 例題ネットワークへの適用

ここでは、構築したスケジューリングアルゴリズムを例題ネットワークに適用し、従来法である山崩し法計算との比較から性能評価を行う。なお、今回の山崩し法は、次の優先順位規則を設定したものを用いている。1) TFの小さい作業を優先する。2) 作業日数の小さい作業を優先する。例題ネットワークとしては、図-9に示す実アクティビティ数65のネットワークを用いている。ここで、終始ノードは所要日数、必要資源数ともに0のダミーアクティビティである。アクティビティデータは表-1のようである。なお、GAパラメータとして、初期カトパス群の生成数=70、ランキング選択 $\eta^+=1.6$ 、交叉確率 $P_c=0.9$ 、突然変異確率 $P_m=0.6$ 、各世代の個体数 $N_p=300$ に設定し計算を行った。

9. 適用結果

(1) 単一目的問題に対する適用結果

工期最小化問題、必要資源の分散最小化問題ともに資源制約を15に設定し5回の数値計算を行った。まず、工期最小化問題の計算結果を表-2に示す。今回構築したGA構成法では山崩し法計算結果に対して平均10%程度の工期の短縮化が実現できることがわかった。求められた最良解の標準偏差についても0.4程度となっており、非常に安定した精度で解探索が行われている。

次に必要資源の分散最小化問題の計算結果を表-3に、そこから得られる山崩し図を図-11に示す。今回構築したGA構成法では山崩し法計算結果に対して平均36%程度の分散の最小化が実現できることがわかった。求められた最良解の標準偏差についても0.16程度となってお

表-1 アクティビティデータ

アクティビティ	所要日数 (日)	必要資源数 (人)	アクティビティ	所要日数 (日)	必要資源数 (人)	アクティビティ	所要日数 (日)	必要資源数 (人)
0	0	0	23	5	6	48	8	11
1	3	5	24	3	4	47	6	8
2	5	7	25	5	6	48	9	13
3	4	5	26	6	8	49	5	6
4	6	8	27	2	2	50	3	3
5	1	3	28	8	10	51	1	2
6	2	4	29	3	5	52	5	7
7	4	5	30	4	6	53	4	6
8	3	5	31	5	8	54	7	9
9	3	6	32	3	4	55	3	5
10	4	7	33	7	9	56	5	6
11	6	8	34	5	7	57	6	8
12	3	4	35	4	5	58	4	4
13	4	5	36	7	10	59	8	9
14	5	6	37	5	6	60	7	7
15	5	6	38	6	8	61	8	9
16	7	9	39	2	4	62	4	5
17	6	7	40	1	2	63	5	7
18	4	5	41	4	6	64	7	8
19	3	4	42	8	11	65	6	9
20	9	11	43	5	7	66	0	0
21	4	5	44	6	8			
22	11	13	45	9	12			

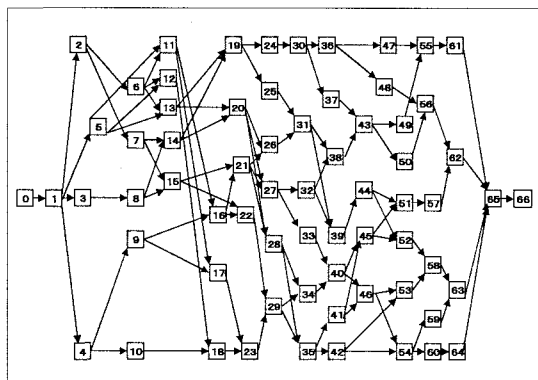


図-9 例題ネットワーク

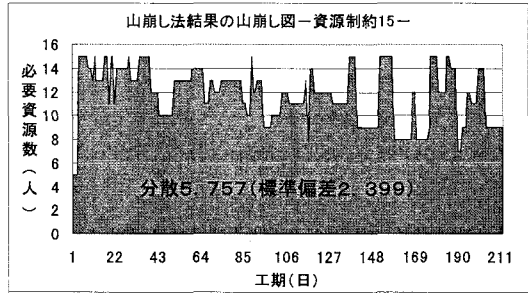
り、非常に安定した精度で解探索が行われている。また、図－１０と図－１１の比較から山崩し法よりも平滑化がなされて資源有効利用が図られていることがわかる。また、最良解に到達する計算時間も今回の例題ネットワークでは、約 30 秒程度で計算できることがわかった。(使用 PC:Pentium4, 2.4GHz, 512MB) 以上の性能評価結果から本研究で構築したスケジューリングアルゴリズムは、適用したプロジェクトスケジューリング問題における工期最小化問題、資源平滑化問題のそれぞれ単一目的に対して、従来法である山崩し法よりも高精度な解が求まる手であることがわかった。

表－２ 工期最小化問題数値計算結果

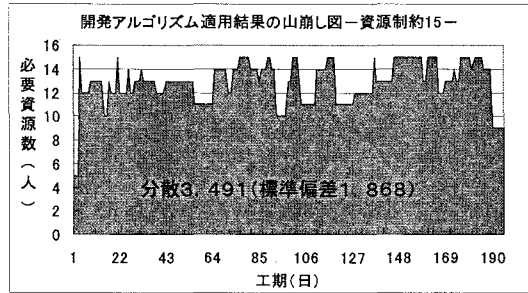
資源制約15										
開発アルゴリズム	1	2	3	4	5	平均値	標準偏差	山崩し法計算	改善率(%)	
工期	190	190	190	191	190	190.2	0.4	213	10.7	
到達世代数	47	105	127	39	160	95.6				

表－３ 資源平滑化問題数値計算結果

資源制約15 工期制約220日										
開発アルゴリズム	1	2	3	4	5	平均値	標準偏差	山崩し法計算	改善率(%)	
分散	3.839	3.729	3.491	3.909	3.849	3.763	0.166	5.757	34.6	
到達世代数	223	261	51	212	77	164.8				

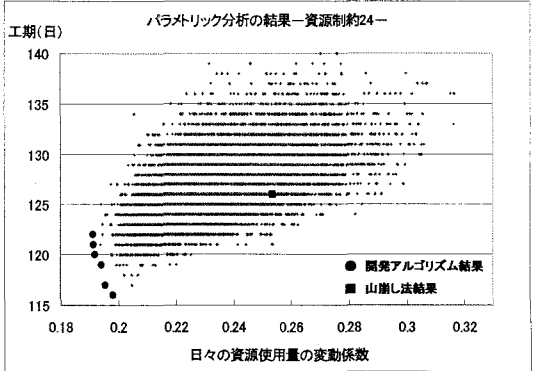


図－１０ 山崩し法の山崩し図



図－１１ 開発アルゴリズム結果の山崩し図

ゴリズムの計算方法は、 $\alpha + \beta = 1$ の範囲内で α 、 β を 0.01 ずつ増減させたパラメトリック計算を行っている。図中の適用結果である大円の点は、以上の計算を通して保存した非劣解をプロットした点である。また図中における小円の点の分布は、資源使用にコンフリクトが発生した場合におけるアクティビティの優先順位規則を変化させたランダムサーチの結果(10000回)であり、不完全ではあるが実行可能解空間と考えることができる。今回構築したスケジューリングアルゴリズムでは、山崩し法以上の解が得られることは勿論のこと、研究目的である非劣解集合の可能性の高い効率的フロンティアが求めら



図－１２ パラメトリック分析の結果の散布図

れていることがわかる。
そして、この効率的フロンティアを構成するスケジュール案が、本来検討に値する代替案群ではあるが、山崩し法結果からの試行錯誤的なスケジュール作成では、本手法で求められるような本来検討すべきスケジュール代替案を作成すること自体難しいものと考えられる。加えて、近年の公共事業の発注量の減少及びコストダウンへの要請の中で、工事現場では利益を確保していかなければならないことを考え合わせれば、今後、本研究が行ったようなリソース配分計画を含む高精度な工程解析の重要性は益々高まっていくものと考えられる。

10. おわりに

(2) 多目的問題に対する適用結果
ここでは、多目的問題に対する適用結果を図－１２に示す。グラフの縦軸及び横軸は、工期、日々の必要資源使用量の変動係数を表している。また今回構築したアル

本研究においては、カット理論やGAを用いたプロジェクトスケジューリング手法の開発を行うとともに、この手法を利用し、多目的問題検討のためのパラメトリック分析を行った。

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

①：数値実験の結果、山崩し法計算結果よりも設定された目的に対して改善された解が得られることがわかった。計算時間についても30秒程度の時間で最良解に到達できることがわかった。

② 多目的問題では、非劣解集合としての効率的フロンティアに位置する可能性の高いスケジュール代替案を計画者に提供できることがわかった。

また、今後の課題としては次が挙げられる。

①：本稿での数値実験は、1種類の例題ネットワークに対する評価であるため、今後はより多くの数値実験を行ったうえで、本アルゴリズムの有効性と適用上の限界を明らかにする必要がある。

②：投入資源の種類や投入量についてもパラメータとして設定し、その解空間及び効率的フロンティアの特性を考察していく必要がある。

③：各アクティビティの所要時間の不確実性を考慮した確率的スケジューリング問題への拡張を図る必要が

ある。

参考文献

- 1) 森地 茂：「社会資本整備過程における時間管理概念の導入方法に関する研究」，平成12年度～平成13年度化学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書，2002。
- 2) 滑川 達：建設プロジェクトのための施工計画理論開発に関するシステム論的研究，立命館大学学位論文，1998。
- 3) PMBOK 和訳化特別ワーキンググループ：プロジェクトマネジメントの知識体系 (Pmbok guide 和訳版)，エンジニアリング振興協会，1997。
- 4) 高元ほか：工程計画の資源山積みを平準化する 0-1 二次計画アルゴリズム，電子情報通信学会論文誌，Vol.77, D-II, 10, pp.2075-2082, 1994。
- 5) 春名攻，滑川達：PERT/MANPOWER 問題の最適解の開発研究—カットネットワークにおける最適資源配分問題への変換を用いた新しい解法—土木計画学・論文集 No. 15, pp. 41-48, 1998。
- 6) 坂和正敏，田中正博：遺伝的アルゴリズム，朝倉書店，2000。

工期短縮と資源の有効利用を考慮したプロジェクトスケジューリング*

滑川達**・山中英生***・吉田健****

本研究は、従来法以上に計画目的を追求したスケジュールを求めるための手法を開発することを目的に研究を行った。資源制約付きプロジェクトスケジューリング問題における複雑な組合せ問題に対してカット理論を用いて、限定的な最適化問題のセットに分解する方法と、そこで発生する複雑な離散型組合せ最適化問題の解決策として遺伝的アルゴリズム (GA) を応用するアプローチを行った。性能評価として工期最小化問題、資源の有効利用を目的とした問題、複数計画目標を総合的に検討した多目的問題それぞれに適用し、従来法である山崩し法から求められるスケジュールとの比較により有効性を確認することができた

A Study on Project Scheduling Technique Using Cut Theory and GA*

By Susumu NAMERIKAWA**・Hideo YAMANAKA***・Ken YOSHIDA****

In this study, It is developed as follows that new-type systematic scheduling procedure by use of GA: At the first stage, a optimal scheduling model with limited resource problem is formulated as problem of integer programming to obtain the execution state defined by using “number of activities”×” number of activities” matrix. At the second stage, topological characteristics of the project network are analyzed mathematically focusing on the cut set structure. Thus relationship between this cut set structure and execution state is discussed. At the final stage, coding, decoding and GA-operator are proposed in accordance with cut-network concept.
