

GA による資源制約付き最小工期スケジューリング

徳島大学 ○滑川 達*¹

by Susumu NAMERIKAWA

本研究では、資源制約についての実行可能性に関わる冗長性を低減化することを目的とした資源制約付き最小工期スケジューリング問題への新たな GA の適用方法を検討した。そこでは、まず、スケジュール計算のベース理論として PERT とは異なる春名らのカットネットワーク手法を採用するとともに、GA の導入を円滑に行い得る接続行列を用いたコード化・デコード化の方法を提案した。そして、実際の構築例として GA による近似解法を示すとともに、今回の適用計算の範囲内においては、山崩し法に対し平均で 8 % 程度の改善が確認され、また計算時間についても概ね 15 分程度内で到達可能であることがわかった。

【キーワード】 スケジューリング, GA, カットネットワーク手法

1. はじめに

建設工事施工の良否は、一般に工事用資源の投入可能量に量的な制約が存在することから、その運用方法を表す管理的な順序関係の設定によって大きく変化する。このため、ある程度一意的に定まる技術的な順序関係を与えるだけでは工事を遂行することができず、建設工事における工程計画の中心的課題は、この管理的順序関係の検討にあるといえる。田坂¹⁾によれば、工程計画の主要な評価要素は工期であることから、工程計画代替案に対して求められる工事所要期間は、次のようなモデル的表現ができるものとしている。

$$\lambda = \lambda(S, P) = \lambda(P^{(R)})$$

ここで、 λ : 工事所要期間、 S : 工事全体の作業特性値の集合で工法等が決定されていれば定数、 P : 工事全体の順序関係の集合、 $P^{(R)}$: 各工程計画案に対して求められるべき資源制約を満たす実行可能な管理的順序関係の集合。

このように、資源制約付きの最小工期スケジューリング問題では、管理的順序関係が最も主要な計画変数として構成されている必要がある。しかし、従来の山崩し計算法では、作業着手優先順位規則の設定案の中での非常に限られた代替案しか検討できず、管理的順序関係を十分な形で計画変数として取り扱える手法にはなっていない。その意味では、近年、GA (遺伝的アルゴリズム)、アニーリング法、タブ

ー探索法等に代表されるメタヒューリスティクスと呼ばれる近似解法の新しいパラダイムが注目され、これをプロジェクトスケジューリング問題に適用する研究も盛んになっている²⁾。それらの適用事例の多くは、新たな順序関係を明示的に付加した (管理的順序関係を付加した) スケジュールパターンをビット列などで表現した個体として対応させるとともに、多数の個体の生成と改良過程の中から、設定した計画目的を高度に追求した個体を探索していくという方法がとられている。これにより、山崩し法等の優先順位法では検討できない多くの代替案を評価することを可能としている。しかし、新たな順序関係を付加した後のスケジュール計算には、時間だけを考慮した PERT 計算が採用されている場合が多く、資源制約を満たさない実行不可能な代替案も探索過程に数多く含まれることになる。このような実行不可能解の生成は解探索に悪影響を及ぼす可能性が高いが、現状ではその解決のための決定的な方法は提案されていない。

このため、本研究においては、資源制約付き最小工期スケジューリング問題を対象として、数多くの管理的順序関係に関する代替案を効率的に検討できるとともに、技術的な順序関係に対しても資源制約に対しても実行可能な代替案群の中での解探索を可能とする GA の新たな構成方法を提案することを目的とする。

2. 本研究の基本方針

ここでは、まず春名らが研究を進めてきたカットネットワーク手法³⁾を考察する。このカットネットワーク手法では、工程ネットワークで規定されている作業間の技術的な順序関係を、同時着手可能な作業群間の順序関係に変換することを考える。すなわち、まずこの内容にグラフ・ネットワーク理論的な表現を与えることによって、同時着手可能な作業群をカットとして捉える。次にアクティビティ間順序関係を満足するカット間順序関係を与える規則を定義し、建設工事においては、技術的な順序関係が与えられた工程ネットワークであるアクティビティネットワークを上述のカットを要素とするカットネットワークへ等価変換する方法を明らかにするとともに、このカットネットワークを対象としたスケジューリング計算方法を列生成法や DP と適用した形で構築している。このときカットネットワークの1本の経路（以下、カットパス）は、技術的順序関係を満たす一つ実行可能な結合点順序列（以下、ノードパス）を表すことに加え（図-1）、上記のスケジューリング計算を行うことにより、間接的ではあるが、もとの技術的順序関係に対しても資源制約に対しても実行可能な管理的順序関係の代替案を表していることと等価となる。このため、カットネットワーク全体は、検討に値するすべての管理的順序関係に関する実行可能な代替案集合として解釈することができる。すなわち、「最も合目的的な管理的順序関係とそのときのスケジュールを求める」という計画問題に帰する建設工事の工程計画問題は、理論的には最適カットパス探索の問題と同義となることを示している。しかし、アクティビティの増加につれ、このカットネットワークは指数的に大規模になるため、その作成には多大な時間が必要となる。

以上のことを考え合わせれば、資源制約付き最小工期スケジューリングのためのアルゴリズム開発の基本方針として次のようなアプローチが考えられよう。すなわち、まず①近似解法のベースとして効率的な数多くの代替案の検討を可能とする GA の導入を考える。続いて、②GA 解探索の単位となる個体としては上述のカットパスを採用する。そして③一個体に対するスケジューリング計算には、一つのカットパスを対象にカットネットワーク手法を適用するこ

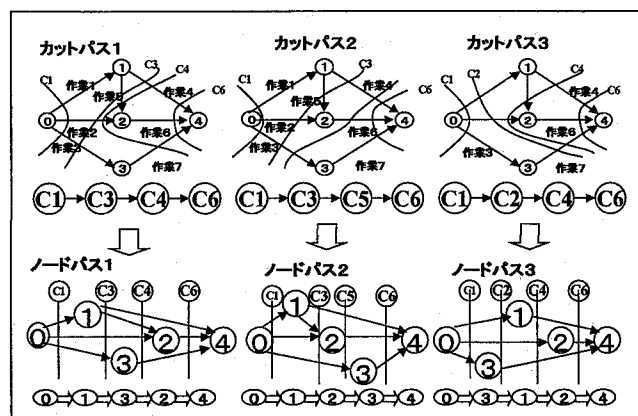


図-1 カットネットワーク手法

とにより、常に実行可能な管理的順序関係の代替案の中での解探索を実現する。以上のような基本方針のもと、次節以降では、新たな試みとしてカットネットワーク手法と GA の組合せによるスケジューリングモデルの開発をめざすこととする。

3. GA 適用のためのコード化・デコード化

ここでは、カットネットワーク手法に GA を円滑に導入するためのアクティビティネットワークの接続行列を用いたコード化・デコード化について考察する。さて、ここでの接続行列とは、アクティビティネットワークの作業を行に、結合点を列にとり、各要素に対応する結合点とその作業の始点であれば“1”、終点であれば“-1”、それ以外であれば“0”と定義して作成する行列である。図-2の接続行列は、その構成上、既に前述したノードパスを表しており、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ というノードパスを表現していると考えることができる。ただし、実行可能なノードパスは各作業に対応する行ベクトルの“1”要素を始点として、“-1”要素を終点として矢印をひいたとすれば、その向きがすべて右方向を向いていなければならない。これは、前述の図-1の内容を行列表現で示したものであり、接続行列の列ベクトル配置を変更することにより、すべてのノードパスを表現することができる。具体的には、開始結合点から最終結合点に向かって順々に接続行列の列ベクトルを加算していき、すべての段階における加算結果に“-1”要素が現れないような各結合点を配列生成すれば、これが実行可能なノードパスとして求められる。また、図-2に示すように、各段階の加算結果をそれぞれ調べ、“1”要素となっている作

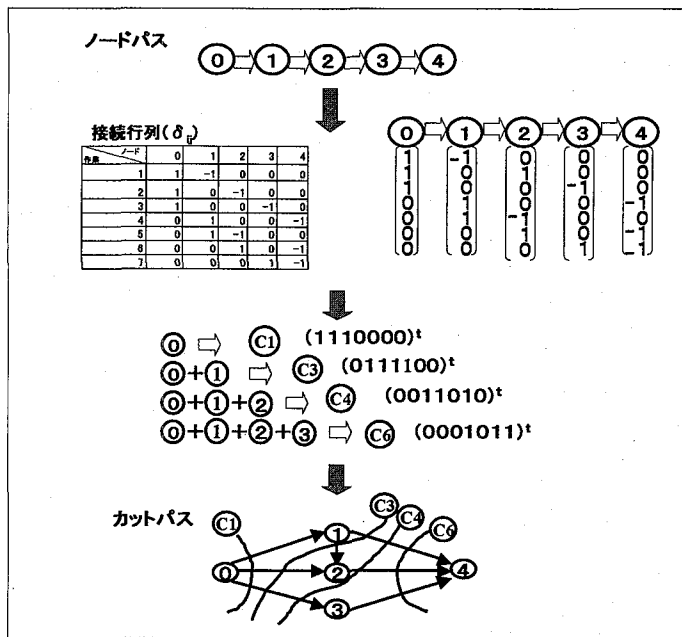


図-2 ノードパス・カットパスの変換

業群が各カットとなっており、これを加算段階順に配列していくとカットパスが求められる。すなわち、カットネットワーク手法を理論ベースとした資源制約付きの最小工期スケジューリング問題は、上述のような接続行列によるコード化・デコード化のもと、最適なノードパスとしての結合点順列を求めることと等価となる。以上のように新たに設定したコード化の方法は、これまでにGAの適用に関する研究が数多く蓄積されている巡回セールスマン問題等と比較的近い問題構造となっているため、これらの成果⁴⁾をある程度容易に導入することが可能となる。また、上述のように接続行列によりノードパスはカットパスに、容易にデコード化が可能であるため、カットネットワーク手法を単一カットパスのスケジューリング計算方法として容易に導入することができる。

4. GAを用いた近似解法

ここでは、前節において提案したカットネットワーク手法をベースとした場合の資源制約付き最小工期スケジューリング問題へのGAの導入例を示す。具体的には、図-3に示したような構成でカットネットワーク手法にGAの導入を図っている。すなわち、GAの基本動作である「再生」には適合度の高い個体から順に再生する個体数をあらかじめ決めておくランキング選択を、「交叉」には巡回セールスマン問題を対象としたGAの適用で提案されている辺組替え交叉を採用するとともに、その世代までの最

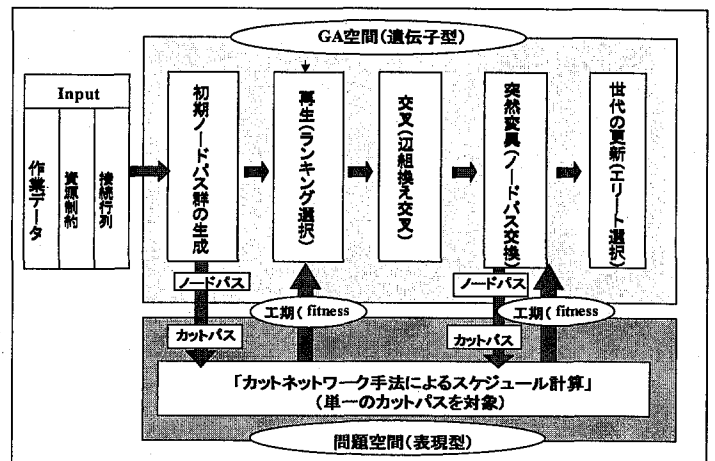


図-3 スケジューリングアルゴリズム

良の個体を保存しておき、交叉の結果、すべての個体の適合度がこの最良個体の適合度より劣っている場合に、最も適合度の悪い個体と交換するエリート選択も同時に組み入れている。なお、適合度となる工期の計算はGAの探索で生成されたノードパスをカットパスにデコード化することにより、カットネットワーク手法における列生成法とDP計算によって求められることとなる。

5. 数値計算

ここでは、構築したスケジューリングアルゴリズムより求められる解精度及び計算時間に関する検証を目的とした数値計算を行う。解精度については、従来の山崩し法の結果をベンチマークとして、これに対する工期の改善率を確認することにした。なお、今回使用した山崩し法の優先順位規則は、次のようである。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。

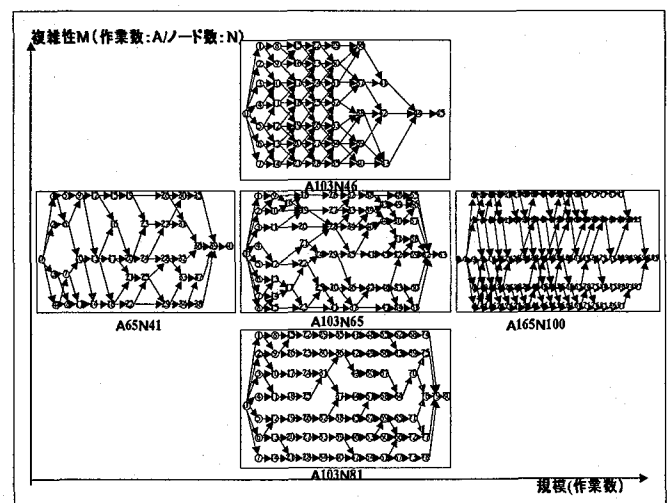


図-4 例題ネットワーク

以上のような数値計算を、図-4のような規模及び順序関係の複雑さの異なる5つの例題ネットワークに適用した。

ここで、図-5には山崩し法の結果に対する改善率を、図-6には最良解に達するまでの計算時間を示す。これより、今回の適用計算の範囲内においては、山崩し法に対し平均で8%程度の改善が図られているとともに、計算時間についても概ね15分程度内で到達可能であることがわかった。なお、今回

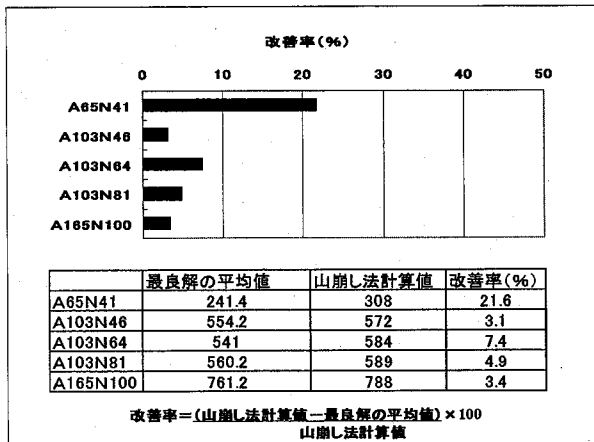


図-5 山崩し法計算結果に対する改善率

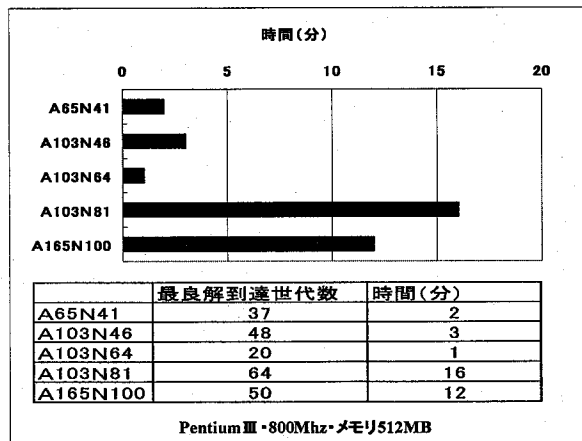


図-6 最良解に達するまでの計算時間

の適用計算結果においては、各例題ネットワークに対して5回の計算を行い、その平均値を用いている。

6. おわりに

今後残された課題としては次のようなことがあげられる。まず、提案したスケジューリングアルゴリズムの高度化をめざして、①免疫アルゴリズム等を導入することにより、より多くの代替案(個体)の効率的な検討を可能とする交叉方法の改良が必要である。また②今回の数値計算ではベンチマークとして山崩し法を用いたがメタヒューリスティクスを適用した他モデルとの解精度、計算コストに関する比較分析が必要である。一方、本アルゴリズムでは、今回設定した工期以外にも資源の平滑性などに関する他の評価指標の設定も可能であるため、今後しては③本モデルの多目的化を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 例えば、田坂隆一郎：土木施工の工事計画・管理のシステム化に関する実証的研究，京都大学学位論文，1983。
- 2) 例えば、奥谷巖ほか：マンスケジューリングにおけるタブー探索法の適用性，土木計画学・論文集 No.13, pp.323-330, 1996。
- 3) 春名攻，滑川達：PERT/MANPOWER 問題の最適解法の開発研究—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。
- 4) 例えば、坂和正敏，田中正博：遺伝的アルゴリズム，朝倉書店，2000。

A Study on Minimal Time Scheduling Problem Limited Resources by Utilizing GA

By Susumu NAMERIKAWA

In this paper, it is aimed to consider application of genetic algorithm for obtaining sub-optimal solution of project scheduling problem effectively. In this study new type model coding and decoding of the problem are proposed in accordance with cut-network concept which have been established from the different viewpoint of existing PERT based on the analysis of topological characteristics of project network by HARUNA and NAMERIKAWA. And a new type genetic algorithm utilizing these coding and decoding is applied to example network of project scheduling problem.

*1 工学部 088-656-9877