

# I-16 マルチプロジェクト計画問題に対応したアルゴリズムの開発 Development of Algorithm for Solving the Multi Project Planning Problem

春名 攻\* 竹林 幹雄\*\* 滑川 達\*\*\*  
Mamoru Haruna Mikio Takebayashi Susumu Namerikawa

【抄録】本研究では、地域総合開発計画策定の際、マスタープランに示された複数の事業の最も効果的な実施計画を求めるためのアルゴリズムの開発について検討を加えている。ここでは、事業間に実施に関する順序制約、予算制約など非線形制約をも含めた各種制約条件下での最適化問題として定式化、および解法アルゴリズムの提案を行っている。本研究では特に、地域経済をシミュレートする経済モデルを内蔵した場合について検討を加えた。数値計算では60のプロジェクトを投入した場合について検討を加え、その結果、本研究で提案したアルゴリズムを用いることで最適スケジュールを短時間で求めることが可能であることを示した。

【Abstract】 This study discussed the development of the algorithm for planning the optimal project carry schedule. In this study, this kind of problem is regarded as the multi project planning problem. In the problem, there are many kinds of constraints/ restrictions, such as project sequential restriction and annual budget constraints. We formulated this problem and developed the solution method and the algorithm for solving the problem. Especially, the case where the regional economic system is included in the problem is discussed. At the numerical computation, we dealt with the case where 60 projects are included in the master plan. Then, using our algorithm, the optimal schedule can be taken in the small computation time.

【キーワード】マルチプロジェクト計画問題, 資源配分問題, カットネットワーク, 動的計画法

【Keywords】Multi Project Planning Problem, Resource Allocation Problem, Cut Network, Dynamic Programming

## 1. はじめに

複数の事業・作業から構成される事業・作業群をマルチプロジェクト(multi project)と呼ぶ。このマルチプロジェクトは通常、

- a) どのような事業(作業)を投入するかという事業選択問題
- b) どのような順序・タイミングで事業(プロジェクト)を実行するかというスケジュール問題

によって構成されると考えてよい。このような問題によって構成されるものをマルチプロジェクト計画問題(multi project planning problem)と呼ぶ。

マルチプロジェクト計画問題は、例えばマスタープランに示された各種事業を、事業の単独効果だけではなく事業相互の相乗効果をも視野に入れながら、最大の事業効果を実現するために、「どのような事業の組み合わせで、いつ、どれくらいの資金を投入して事業を行うか」、といった問題として現出する。

このように、マルチプロジェクト計画問題は従来単独の事業実施・効果計測を前提として最適化されてきた計画問題を、総合的な枠組みで再構築したものであり、土木計画の分野では今後非常に重要な問題として取り扱わなければならないと考えられる。

マルチプロジェクト計画問題は、投入事業の選択とそのスケジュール構成を制御変数とするため、通常膨大な組み合わせ問題を解かなければならない。しかし、近年春名ら<sup>1)2)3)</sup>によって、マルチプロジェクト計画問題における効果的な解法アルゴリズムに関する理論研究が進められており、極めて膨大な組み合わせ問題となる PERT/ MANPOWER 系のスケジューリング問題やネットワーク型の資源配分問題に対し、解析的な解の探求方法が開発されている<sup>3)4)</sup>。通常の大規模スケジューリング問題では数値計算を行う上で branch and bound method のようなほぼ全ルート探索を行うに近い解法アプローチでは、検討対象事業の数が増加すると、指数関数的に計算機に要

\* :立命館大学理工学部 草津市野路町 1-1-1 TEL 077-561-2736 E-mail haruna@se.ritsumei.ac.jp

\*\* :神戸大学工学部 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL:078-803-1016 E-mail takebaya@osa.att.ne.jp

\*\*\*:立命館大学大学院 草津市野路町 1-1-1 TEL 077-561-2736 E-mail mes40051@se.ritsumei.ac.jp

求されるメモリが増加し、また計算時間の長大化につながるという問題が生じる。このため、春名らは DP が厳密に適用できる形式にネットワークを再構成する方法を提案した。

本研究では、以上のような経緯を踏まえ、大規模マルチプロジェクト計画の定式化を行い、解法の提案、および実用性の検討を加えた。このとき、数値計算上メモリの消費を押さえ、なおかつローパワーのワークステーションでも演算が可能なアルゴリズムの開発を目指し、そのプログラム作成時の合理的な DP の情報管理を行うためのプログラム技術を提案した。

## 2. 地域総合開発計画を例としたマルチプロジェクト計画問題の定式化

マルチプロジェクト計画問題の構造特性を具体的に把握するために、マルチプロジェクト計画問題の典型的な例と考えられる地域総合開発計画を取り上げることとする。

### (1) 概要

地域開発においては、実現目標が「人口集積」や「産業活動の活性化」など多岐にわたる。しかし、通常開発主体となる自治体は、開発に投じる投資的財源に非常に厳しい制約、すなわち予算制約が存在すると考えられる。地域開発における全ての実現項目の実現を保証しながら、なおかつ全体の費用を低減・縮小する、計画期間内の事業実施効果が極大化される、事業の早期完了を行うといった最適化を行わなければならない。一般的に、多目的計画法における最適解を求める、すなわち非劣性解をもとめることは容易でないため、ある単目的のみを最適化し、残りの目的関数値をある満足する状態を設定する「複数目的関数の制約条件化」を行い、問題を縮小化することが多い。本研究においても、この問題の縮小化の方法を採用し、問題構造をとらえることとする。

今、 $N$  個の独立したプロジェクトによって構成されるマルチプロジェクト計画問題  $A$  を考える。各プロジェクトはそれぞれ必要とされる事業費、成立条件、事業期間が与えられるものとする。また、各プロジェクトの与える事業効果は計測可能であるものとする。さらに、計画主体(事業主体も兼ねる)は投資的財源をもとに、

各プロジェクトに投資を行うものとする。

### (2) 定式化

ここでは、前節で述べたように、多目的計画問題を縮小化することを行う。

ここでは計画主体が、機能集積をできる限り早期に実現したいと考える「早期実現型」の計画問題について検討を行う。機能集積が財政規模内で早期に実現されるということは、当該地域における財政の許容範囲内で地域の活性化を最短時間で実現できるということになり、積極的な開発投資のスケジュールを考える上で重要な情報となる。

プロジェクトに対する投資を実施する上で、地域計画的には複数の拘束条件が存在する。

- 1) 各年次で目標とされている項目(人口規模、産業活動、生活水準など)が計画目標値を達成すること。
- 2) 各年次において投資額が予算を越えないこと。また投資額は、実質的には借入金からまかなわれることを考慮すると、借入金の返済額(あるいは起債額)が予算を超えないこと。
- 3) 計画期間内で必ず目標値が達成できること。  
以上のような拘束条件に加えて、プロジェクトには固有の拘束条件が考えられる。
- 4) 各プロジェクトは「先行・後続関係」という実施順序制約を持つ。
- 5) 各プロジェクトが実行可能になる条件(人口規模、整備水準など)が存在する。
- 6) 各プロジェクトの実施期間長、および費用は与件である。

さらに、地域の社会経済構造を表現したサブシステムを考慮することにより、プロジェクトの実施による地域内の社会経済効果を測定することが可能となる。本研究では、そういったサブシステムを「地域経済シミュレーションモデル」と呼称することとする。本研究で取り入れたモデルは計量経済学に準拠したモデル<sup>25)</sup>である。

マルチプロジェクトプランニング問題においては、以下のような条件の下に問題の構成が行われる。

以上のような条件の下に、計画の早期実現を目的とした問題の定式化を試みる。このとき、物価の上昇を

考慮すると、実施期間を最短化することにより、事業開始の遅延による費用増加が抑制されるため、結果的に費用最小と見なしてよい。

**【問題 A】**

<プロジェクト実施期間最短問題>

$$Y(\delta_s^i) \rightarrow \text{Minimum} \quad (1)$$

Sub. to

$$Z_i = \sum_l \delta_l^i X_l \quad \text{for all } i \quad (2)$$

$$z_i = \sum_{l'} \delta_{l'}^i x_{l'} \quad \text{for all } i \quad (3)$$

$$\text{if } \delta_{t1}^i = 0 \cap \delta_{t1'}^i = 1 \quad \text{and} \quad \delta_{t2'}^i = 1 \\ \cap \delta_{t2+1}^i = 0 \quad \text{then} \quad z_i = \sum_{l'=t1}^{t2'} \delta_{l'}^i x_{l'}$$

$$\text{for all } i \quad (4)$$

$$M(t') \geq \sum_i \delta_i^i r_i^{t'} \quad (5)$$

$$F_k(t) \leq f(\delta_t^1, \dots, \delta_t^i, \dots) \quad \text{for all } t \quad (6)$$

$$W_j(t) \geq W_j(t-1) \quad \text{for all } j \quad (7)$$

$$\text{if } \delta_t^i = 1 \cap \delta_{t+1}^i = 0 \quad \text{then} \quad Q_k(t) \geq q_{ik} \\ (k = 1, 2, 3, 4) \quad (8)$$

$$\text{if } \delta_t^u = 1 \cap \delta_t^v = 1 \quad \text{then} \quad L_{uv} = 0 \\ \cap L_{vu} = 0 \quad (9)$$

$$\text{if } \delta_t^u = 1 \cap \delta_t^v = 1 \quad \text{then} \quad L_{uv} = 0 \\ \cap L_{vu} = 0 \quad (10)$$

ここで、 $\delta_t^i$  : プロジェクトが  $t$  年次に実施されていれば1、そうでなければ0を示すクロネッカーデルタ、 $s$  : プロジェクトの開始時期、 $Y$  : 総費用、 $L$  : プロジェクト実施断面番号、 $l'$  : 費用返済断面番号、 $X_l$  : プロジェクト実施区

間長、 $x_l$  : 費用返済区間長、 $g$  : 利子率、 $b$  : 物価上昇率、 $C_i$  : 現在の物価水準で見積もったプロジェクト  $i$  の総費用、 $i$  : プロジェクトを示すインデックス、 $Z_i$  : プロジェクト  $i$  のプロジェクト年数、 $z_i$  : プロジェクト  $i$  の返済年数、 $l'$  : 返済区間を示すインデックス、 $t'$  : 返済年次断面、 $F_k(t)$  :  $t$  年次における項目  $k$  の整備効果、 $f()$  : 整備効果がプロジェクトの実施によるものであることを示す。 $M(t')$  :  $t'$  年次の返済金準備高、 $r_i^{t'}$  :  $t'$  年にプロジェクトを開始した場合の単年度返済費用で  $r_i^{t'} = \{(1+g)^{x_i} (1+b)^{l'}\} / z_i$ 、 $W_j(t)$  :  $t$  年度における第  $j$  産業就業者の分配所得、 $k$  : 社会資本整備量の種類、 $Q_k(t)$  :  $t$  年度における社会資本  $k$  の整備量、 $q_{ik}$  : プロジェクト  $i$  の経営が成立するのに必要な社会資本  $k$  の整備量、 $L_{ll'}$  : 先行可達行列の構成要素である。

ここで  $M(t')$  および  $W_j(t)$  はサブシステムである地域経済システムで求められるものとする。これは、事業の複合効果を測定するために組み込むものであり、計量経済モデルなど様々なものを代替的に組み込むことが可能である。なお、本論文ではネットワーク上の資源配分問題に関するアルゴリズムに焦点を当てて議論を進めるため、この部分に関する説明は省略する。

**4. ネットワーク型資源配分問題としての解法の検討**

**(1) 解法**

まず、本研究で用いる「カット」と「パス」についての概念を簡単に整理する。「カット」とは、プロジェクト間の先行・後続関係を示した作業ネットワークについて、「始点から終点までの全てのルートをただ1度切断する」場合に生じる作業集合である。すなわち、カットとはプロジェクトネットワーク上で同時に実施できるプロジェクトを群として捉えたものである。カットの接続順序別にネットワーク化したものを「カットネットワーク」と呼ぶ。このカットネットワークでは、プロジェクトネットワークの実施順序を保持しながら、なおかつ同時に実行できるプロジェクト集合を時間軸上に表現し直したものである。すなわち、プロジェクトネットワークは位相的に等価なカットネットワークに変換できることになる。

また「パス」とは「カットネットワーク」から求められる、作業の始点から終点までに至るカットのつながりを示したものである。変換されたカットネットワーク上には、起点カットから終点カットまでに至る複数のパスが存在する。各パスは属する各カットの最短実施時間によって構成される。ゆえに、最適なプロジェクトの実施順序は、最適パスを求めることで可能となり、この最適性は最適性の原理により保証される<sup>1)2)3)4)</sup>。

今、カットネットワーク上に  $n = 0, 1, \dots, N$  のレベルをもったカットネットワークがあり、その各ルートの実施状況を、

$$R_n^{C_m} = \{r_n^{C_m}(l)\} \quad (11)$$

という状態変数で表すとする。

ここで、 $R_n^{C_m}$  : 第  $n$  レベルのカットで  $n+1$  レベルのカット  $C_m$  と順序関係を有するカットに属するルートの状態を示す状態変数、 $r_n^{C_m}(l)$  : 第  $n$  レベルのカットで  $n+1$  レベルのカット  $C_m$  と順序関係を有するカットに属するルート  $l$  の返済年数を表す。

次に決定変数を各レベルのカットへの配分年数とし、これを求める。任意のレベル  $n$  で  $n+1$  のレベルの  $C_m$  と順序関係を有するカット  $C_m$  における状態変数  $R_n^{C_m}$  のもとでこのカットに配分される年数を  $g_n^{C_m}(R_n^{C_m})$  とする。この値は  $C_m$  に含まれ、かつ  $C_m$  に含まれない作業により決定されることとなる。

さらに全てのレベルを通して各ルートの実施計画パターン  $TR(N)$  を以下のように表す。

$$TR(N) = (r^1, \dots, r^l, \dots, r^L) \quad (12)$$

ここで、 $N$  : カットネットワーク上に存在するレベルの総数、 $r^l$  : ルート  $l$  の実施年数である。

任意の時間におけるスケジュール計算において、この時間区間において実施できるプロジェクトは、現在位置しているカットネットワークのカットに含まれたプロジェクトのみである(なお、現在のスケジュール計算を行なっている実施の各カットネットワークにおけるカットは、プロジェクトの配分状態によって容易に確定す

ることができる)。すなわち、実施カットネットワークの現在カットを  $C_m$ 、このカット  $C_m$  と順序関係をも次のベクトルのカットを  $C_{m+1}$  とすれば、

$$i \in C_m \cap i \notin C_{m+1} \quad (13)$$

となるプロジェクトとそれ以外のプロジェクトに分ける。前者のプロジェクトは、現在のカット区間で確実に終了させなければならないプロジェクトであり、このことは、このようなプロジェクトの終了時間が現在カット区間の終了時間断面を決定することを意味する。すなわち全体の最適時間配分問題における任意のレベルにおける決定関数值(任意のカット区間長)は、この前者のプロジェクトの最小終了時間問題を解くことにより求められることとなる。ここではまず、式(13)を満足するようなプロジェクトを対象として、以下のような処理を加える。

始めにプロジェクトすべてが既に開始されているかをチェックする。さらに開始されているプロジェクトが既に終了しているかについても調べ、開始され終了されなければ、無条件に現在実施されていることとなる。すなわち、 $\delta_i^t = 1$  とし、既に終了していれば、

$\delta_i^t = 0$  としておく。以上の前処理が終わると、続いて前処理の段階で返済状態が確定されたプロジェクト以外の式(13)を満足するプロジェクトを対象として、以下のような 0-1 整数計画問題を解き、このようなプロジェクトの現時点における返済状態を決定する。

$$Obj : \text{Maximize} \quad \sum_i \delta_i^t \quad (14)$$

Sub. to

$$\sum_i \delta_i^t r_i^{t''} \leq M'(t') \quad (15)$$

ここで、 $M'(t')$  : 前処理により既に返済が決定しているプロジェクトの返済額を差し引いた返済金準備高を表す。

これは、ここでの問題が、プロジェクトの実施状態によって変化する税金などの都市状態の変化に依存した条件が非減少であることを仮定しているためである。したがって返済準備高を早期にできる限り増加させることが、実施スケジュールの最小化につながることに

なる。

このようにして、今期の実施パターンが決定したならば、続いてこの同一パターンが連続する区間長を求めることを考える。このとき、この区間の開始時点は既に決定しているため、実施されている任意のプロジェクトのうち、もっとも早く実施あるいは返済が終了するプロジェクトを求め、その終了時点と現在区間の区間長とすればよい。このため、

a) 実施ネットワークにおけるレベル  $m$  の現在カットを  $C_m$  として、このカットと順序関係をもつレベル  $m+1$  のカットを  $C_{m+1}$  とすれば、区間長を決定したプロジェクト  $i$  が  $i \in C_m \cap i \notin C_{m+1}$  を満たし、かつ実施終了時間のとき、実施カットネットワークのカットを  $C_{m+1}$  として、次のレベルの計算を前述同様進めていく。

b) 上記以外のとき、今期のカットを変化させず、同様のスケジュール計算を進める。

以上のプロセスを矛盾なく最終カットまで行う。

このようにして得られたカットネットワークに動的計画法を適用することで、最適なスケジュール構成が各カットでの作業の合成として表現することが可能となる。

## (2) DP 適用に際してのプログラム技術

前節で行った定式化から最適解を求める上で DP を適用することになる。しかし、大規模な DP を取り扱っていく場合、非常に複雑で膨大な情報管理が必要となってくる。

DP を適用する場合、常に1レベル先のカットを拘束条件として最適化がなされるため、実際の計算では1レベル先の開始状態が最適化される形で、1レベル先にあるカットの情報として出力されればよいことになる。

すなわち、現在検討するレベルにあるカットを  $R_i$  として、その属するレベルを  $C_m$  とし、 $R_i(C_m)$  と表現することとする。レベル  $C_{m-1}$  において  $R_i$  と接続関係を有するカットの集合を  $R_j(C_{m-1})$  と表現することとする。このとき、レベル  $C_m$  において  $R_i$  の最短実行時間は

$$T_j^{strat} = \min\{T_i^{end} \mid g_i^j = 1\} \quad (16)$$

というように表される。ここで、 $T_j^{start}$  はカット  $j$  が開始される最短時間である。 $T_j^{end}$  はカット  $i$  が終了する最短

時間である。さらに  $g_i^j$  はカット  $i$  とカット  $j$  が接続関係にある(この場合、 $i$  が  $j$  の先行事業となっている)ことを示す。

ここで、カット  $j$  に達する時間は式(16)により、一意に決定されることから、レベル  $C_m$  に属するカット  $j$  の開始に至る実施状況はただ一つ決定されることになる。

カット  $j$  に達するプロジェクトの実施状態がただ一つ決定されるということは、そこに達するルートが1本しか存在し得ない、ということと同義である。すなわち、この時点で検討すべきルートはカット  $j$  に到達できた最短ルートのみ検討対象として残り、その他は全て検討対象から除外される。

カット  $j$  での事業実施状況はそのカットに至る前のレベルで選択されたカット  $i$  の終了時の実施状況と一致する。これを  $T\_table_j^{m,t}$  と表現することとする。ただし、 $m$  はここでは事業を表し、 $t$  は計画開始時からの年数を表す。この  $T\_table_j^{m,t}$  を順次後続のカットへ受け渡すことにより、各レベルでの事業の実施状況を保存しつつ最適な経路探索が可能となる。

例えば、レベル  $C_m$  のカット  $C_{j1}$  に関して、 $C_{i1} \sim C_{i3}$  まで3つのカットが先行しているとする。このとき、最短時間を与えるカットが  $C_{i1}$  であるとすれば、その他のカットの情報  $C_{j1}$  にとっては不要となる。ゆえに、 $C_{j1}$  に達するルートは  $C_{i1}$  を経たものだけになり、その作業状態(レベル  $C_m$  が開始された時点の状態)  $G\_table_{j1}^{m,t}$  も直前の  $G\_table_{i1}^{m,t}$  のみが保存されることになる。

$C_{j2}$  に関しても同様の処理を施すことで保存すべき情報を減少させることができる。すなわち、各レベルに対して、そのレベルに属するカットの数だけ作業状態  $G\_table$  を保存すればよいことになる。

また、各自間断面において既に作業が終了している場合は、検討対象から除外しなければならないため、この情報を  $G\_delta_{i1}^{m,t}$  として保存する。 $G\_delta_{i1}^{m,t}$  は①時間  $t$  においてプロジェクト  $m$  が終了していれば 1②それ以外は 0 である。

この流れを以下に示す。

**[STEP 0]** 現在検討しているカットの組み合わせから得られる作業状態を格納する配列  $G\_table$ 、および

その配列を一時的に格納する  $tmp\_G\_table_{j_i}^{m,t}$  を確保する。さらに、作業の終了情報である  $G\_delta_{j_i}^{m,t}$  を確保する。

**【STEP 1】**今、着目しているレベル  $m$  の1段階先のレベル  $m+1$  に属するカット  $j_i$  に着目する。

**【STEP 2】**レベル  $m$  に属するカット  $i_j$  に着目する。

**【STEP 3】**カット間の接続関係を表す  $g_{i_j}^{j_i}$  が1であればSTEP 4へ、そうでなければSTEP 2へ戻り次の  $i_j$  を探索する。

**【STEP 4】**カット  $C_{j_i}$  に対するカット  $C_{i_j}$  の最適実行パターンを  $nap\_sack$  問題として解く。この場合、各自間断面において  $G\_delta_{i_j}^{m,t}$  が0であり、なおかつそのカットに属するものに関して解く。そして、現在の最短時間を計算する。このとき、計算された作業状態はカット  $C_{j_i}$  が後続作業の場合に生起するため  $tmp\_G\_table_{j_i}^{m,t}$  に格納される。また、各時間断面ごとに  $G\_delta_{i_j}^{m,t}$  を更新する。

**【STEP 5】**カット  $C_{j_i}$  に達する最短時間が現段階で計算された値より大きい場合は、最短時間を更新し、最適ルートを更新する。このとき、一時的に保管してあった  $tmp\_G\_table_{j_i}^{m,t}$  をカット  $C_{j_i}$  に達する最適ルートの実行状態を表すものとして  $G\_table_{j_i}^{m,t}$  に保存する。最短時間の更新がない場合は、 $tmp\_G\_table$  および  $G\_delta_{i_j}^{m,t}$  を初期化する。

**【STEP 6】**レベル  $m$  のカットがカット  $C_{j_i}$  に関して全て検討されていればSTEP 7へ、そうでなければSTEP 2へ戻る。

**【STEP 7】**レベル  $m$  の全てのカットに対して検討が終了していればレベルを1段階進め、改めてSTEP 1から始める。そうでなければレベルはそのまま、STEP 1に戻る。

以上のような手順を踏むことにより、レベルによるルートの管理が可能となり、計算量および要求するメモリ量を大幅に減少させることができる。

## 5. 数値計算

さて、以上のアルゴリズムの実用性を確認するために、次に示す数値計算を行った。

表-1 はある自治体における総合開発計画で企画されているプロジェクトの一覧である。ここでは合計

60 のプロジェクトが挙げられている。それぞれのプロジェクトが地域に与える整備効果はモデルに内蔵されている計量経済モデルで計測可能であるが、計量経済モデルの内容については紙面の都合上省略する。事業費は毎年1%の割合で上昇すると仮定し、返済時は年利3%で元利償還を行う場合を想定している。表中、8~11,18~29,46~47,52~54 は道路整備、4,12~13,30~33,51,56~57 は居住地開発・再開発事業、1~3,5~7,16~18,38~43,58~59 は3次産業(サービス系)振興のための基盤整備、14~15,36~37, 50,55 は商業用地開発、60 は農業関連投資事業、その他は2次産業振興のための基盤整備事業である。ここで農業関連事業は整備効果の維持が長期にわたって行うことが難しいと考えられたため、継続的な開発・投資を行うこととした。また、同様に幹線道路に関する整備に関しては、その投資費用が莫大となるため、長期間の返済を行う状態を想定した。このような開発を確実に実施し、地域の成長をできる限り早い時期に達成できるスケジュールを求めることを数値計算で行っている。

さて、ここでは各期の投資的財源(計量経済モデルにより求められる)を制約条件として全プロジェクトの早期完了を最適化の目的として計算を行っている。

投資的財源は、地域経済の規模が維持される限り、常に非減少である。

数値計算において、使用したプロジェクトネットワークを図-1に示す。

数値計算を実行したところ、図-2に示すようなプロジェクトの実行パターンを得ることができた。ここでは全てのプロジェクトが終了するまでに45年間必要であるという結果を得た。

まず計算結果の解釈については次のようなことが挙げられる。まず、計画年次が10年目以内に事業が始まっている場合は、事業の波及効果が高く、開発予算の上昇速度が速いと考えられる。従って返済額にの制約よりもむしろプロジェクトの順序関係の制約が強く働いている結果であると考えられる。

一方、19年目以降に空白期間が生じるが、これは開発の影響が小さくなり予算の上昇速度が鈍化した

結果、返済額の制約が強く働くようになったためであると考えられる。

表-1 数値計算に用いたプロジェクトの構成

	面積 (㎡)	期間 (年)	返済期間 (年)	費用 (百万円)
1	18000	1	20	800
2	15000	5	20	5500
3	42000	1	20	2500
4	373000	10	20	8080
5	24000	1	20	1500
6	42000	1	20	700
7	10000	1	10	1000
8	70000	3	20	2700
9	21000	2	20	550
10	7000	1	1	100
11	10500	1	1	150
12	447000	3	30	9300
13	170000	1	30	2800
14	300000	10	20	7500
15	125000	10	20	6250
16	86000	2	20	1000
17	60000	2	10	1000
18	98000	4	20	3800
19	7000	1	1	100
20	7000	1	1	100
21	7000	1	1	100
22	14000	1	2	200
23	14000	1	2	200
24	10500	1	1	150
25	28000	2	7	700
26	49000	2	20	1900
27	21000	2	3	300
28	91000	3	20	3550
29	42000	3	20	1100
30	461000	3	30	5600
31	354000	2	30	8000
32	273000	2	30	6000
33	180000	1	30	2800
34	290000	10	20	7400
35	140000	1	10	1300
36	40000	5	10	2000
37	20000	3	5	750
38	26000	2	20	14000
39	5000	1	1	25
40	20000	5	5	150
41	798000	3	5	150
42	175000	5	10	1750
43	46000	2	5	250
44	320000	3	50	30000
45	302000	2	30	4000
46	31500	2	4	450
47	14000	1	2	200
48	265000	1	20	3700
49	50000	3	20	1000
50	14000	1	2	200
51	17500	1	2	250
52	10500	1	1	150
53	30000	3	5	750
54	146000	1	30	3300
55	684000	4	30	15400
56	181000	5	10	1800
57	20000	5	5	150
58	10000	1	10	1000
59	5000	3	3	300
60	300000	25	25	5000

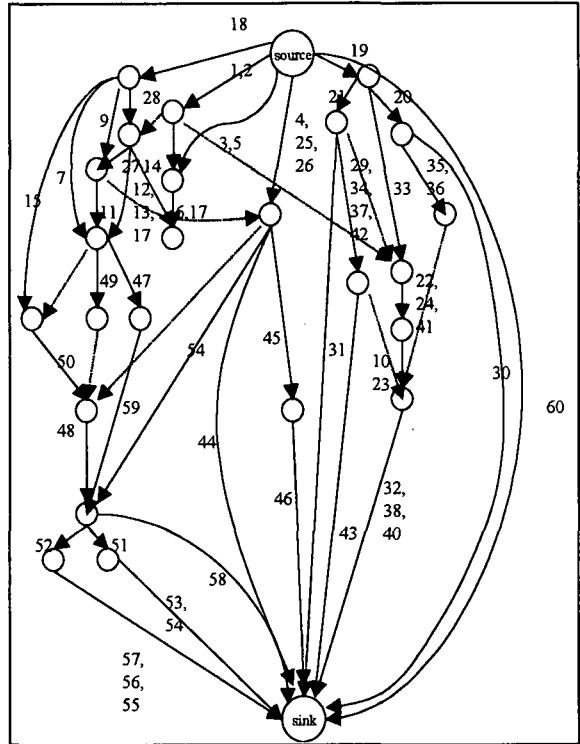


図-1 使用したプロジェクトネットワーク

このため、返済が終了し、新規プロジェクトの着工が可能になった時点で、次のカットが始まると考えられる。このような結果、いくつかの時点で集中的にプロジェクトが開始されたと考えられる。

さて、計算規模に関しては、プロジェクト・ネットワークからカットネットワークを形成すると、レベルが 26、総カット数が 1046 にも達する。

また、カット内に含まれるプロジェクト数は最大 22 に達する。これは極めて膨大なカットネットワークであり、そのパスの数はレベル 10 に達するまでに既に 100 万以上になる。このため、レベル 26 に達するまでにパスの数は計算不能な数に達することが容易に予想される。

さて、これを今回提案したアルゴリズムにより計算を行った。使用した機材は CPU に DEC ALPHA 21164A(500MHZ)、メモリを 128MB 搭載した機材、および CPU に Intel Pentium II(300MHZ)、メモリを 256MB 搭載した機材の2種類である。なお、使用した OS はいずれも Microsoft Windows NT 4.0 であり、

使用コンパイラは Microsoft VC++ 5.00 である。計算に要した時間は DEC 21164A で約 25 分, Pentium II 300 で約 40 分であり, 十分実用的な計算時間であるといえる。

なお, これらの実行時間, および要求されるメモリ量は内蔵する経済モデルのタイプによって多少変動することは考えられるが, 大幅な計算時間の増加はないものと考えられる。

以上のように, 本論文で提案した方法論により, 膨大な計算量を縮小し, 十分に実用可能な実行時間で最適解を求めることが可能であることが認められた。

## 6. おわりに

本研究では, 大規模なマルチプロジェクト計画問題における定式化と, その数値計算を容易にするための計算方法の改良を提案し, 資源制約が非減少の状態である場合において, Global な最適性を保証した解法アルゴリズムの提案を行った。そして実際の数値計算に際してのプログラム上の技術を考案し, 数値計算を通してその実用性の検討を行った。その結果, 実用計算として十分に耐えうる実行時間であることが確認された。

なお, 本研究における成果はマルチプロジェクト計画問題にとどまらず, 施工計画における MANPOWER 問題の実行速度の向上にも援用する

ことが可能であると考えられる。

また, 今後の課題としては, 内蔵する経済モデルによる実行時間への影響や, レベルおよびカット数の実行時間に与える影響などを分析する必要がある。

## 参考文献

- 1) 春名 攻・竹林 幹雄: 地域開発プロジェクトにおけるスケジューリングに関する研究, 土木情報シンポジウム, 1997
- 2) 春名 攻・竹林 幹雄・滑川 達ほか: 総合的都市整備計画に関する効果的検討ツール開発をめざしたマルチプロジェクトスケジューリングモデル開発に関する研究, 土木学会関西支部, IV-22-1-IV-22-4, 1998.
- 3) 春名 攻・滑川 達: ネットワーク工程表の構造特性分析と最適工程計画モデル構築に関する理論研究, 建設マネジメント研究論文集, Vol. 14, pp.99-pp.112, 1996.
- 4) 春名 攻・滑川 達ほか: グラフ理論を利用した PERT/MANPOWER 手法の最適解法に関する開発研究, 土木学会関西支部年次学術講演会概要集, IV-8-1-IV-8-2, 1997.
- 5) 奥村 誠・小林 潔司・吉川 和広: 財政効果を考慮した地方開発投資の計量経済分析, 土木計画学研究・講演集 No.5, pp.171-pp.178, 1987.

(プロジェクト番号)

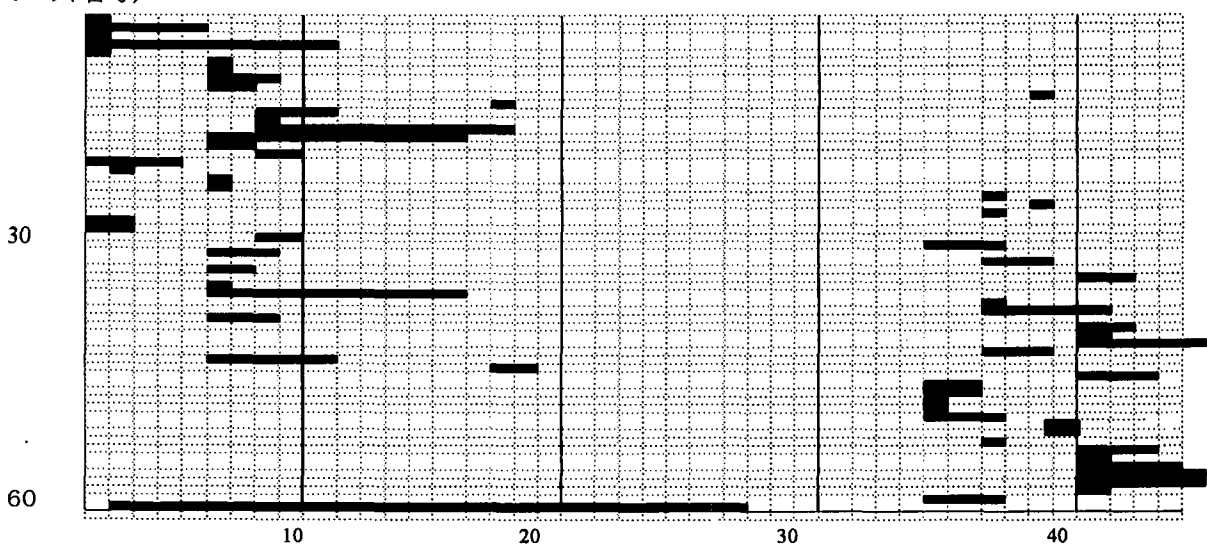


図-2 実行スケジュール