

地域総合開発におけるマルチプロジェクトプランニングの理論モデルと解法に関する実証的研究 —滋賀県米原町におけるケーススタディー—

A Study on Theoretical Modeling and Solving for Multi Project Planning
of Regional Comprehensive Development – through Case at Maihara Cho -

立命館大学 正員 春名 攻*

神戸大学 正員 ○竹林 幹雄**

By Mamoru HARUNA and Mikio TAKEBAYASHI

本研究は、滋賀県米原町において企画されている地域総合開発計画を例に取り、地域総合開発におけるマルチプロジェクト化およびマルチプロジェクト化が行われた場合の実施計画の最適化を行うための理論モデルと、その解法について検討を行った。本研究においては、春名・滑川の提案したネットワーク型資源配分問題の解法を応用し、事業費の返済、および同時実施可能な事業の数への制約を与えた場合についての解法について検討した。その結果、本研究で取り扱った条件下においても、ネットワーク型資源配分問題に準拠した解法は有効であることがわかり、費用を仮想的に与えた場合の最適実施計画案を得た。

【キーワード】ネットワーク、資源配分問題、カット、最適化

1. はじめに

平成8年度において、地方都市拠点整備法に基づき、全国数カ所が地方拠点都市に指定された。こういった都市は、地方部における産業・生活活動の新たな拠点として発展が期待されるのと同時に、周囲の小都市群あるいは機能的に未整備な小自治体における発展の契機となることも望まれる。

こういった意味で、地方拠点都市に指定された都市、及びその周辺に位置する中小都市では、地域の発展のために複数の開発・整備事業を平行して行っていく必要がある。そして、機能的な充足を早期に実現することが必要であろう。

本研究は、このような認識のもとに、地方部において今後必要になると考えられる「マルチプロジェクト」における事業実施計画の最適化について理論的検討を行う。そして、その実証例として滋賀県米原町で計画されているマルチプロジェクトにおける事業実施計画の最適化を取り上げる。

* 理工学部環境システム工学科

TEL 0775-61-2736 FAX 0775-61-2667

** 工学部建設学科 TEL & FAX 078-803-1016

2. 米原町におけるプロジェクトの実際

米原町は滋賀県の琵琶湖東部に位置する。人口は1995年現在約13,000人であり、主たる産業は農業である。しかし、新幹線駅ならびに高速道路ランプを有し、米原町の周囲には人口5万人程度の彦根、長浜両市がある。近年、この彦根市に地方拠点都市整備法が適用され、中部・近畿・北陸の結節点となる中核都市として整備がなされようとしている。

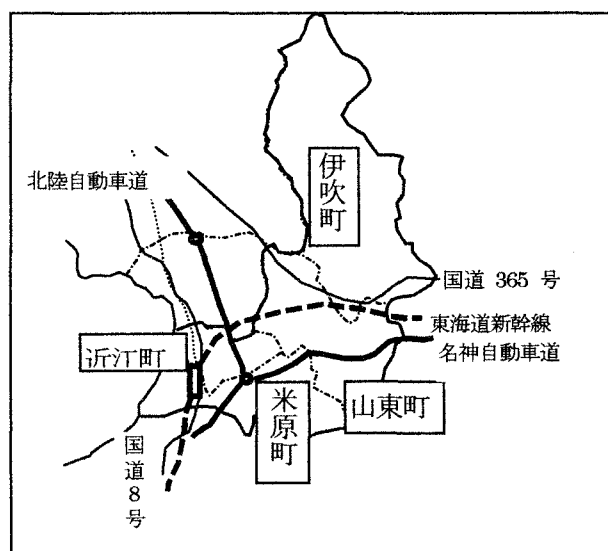
米原町の位置を図-1に示す。

このような状況に鑑み、米原町においても将来の発展を考え、開発を進めていく必要がある。

本研究では地元の協議会であるBHU(琵琶湖ハイブリッドアーバン協議会)で企画されている複数の事業からなる米原町総合開発計画を例に取り、その事業の最適な実施計画を求めることとする。

表-1は、BHUで企画されている米原町総合開発計画の一覧である。

ここで、先行事業と銘打っているものは、ある事業を行うにあたり、先行して完了していなければならない事業を意味する。また、本研究では面的な整備のみについて検討するものとする。



図－1 米原町とその周辺

表－1 想定事業一覧

事業名	事業期間 (年)	先行事業
番場地区	3	なし
パワーセンター	1	なし
磯地区インダストリアル	1	なし
ヤングギャザーフォレスト	1 (3ヶ月)	なし
シンボルパーク	2	なし
フィッシャーナ	1	なし
アートの森	1	なし
米原西地区宅地	2	なし
入江宅地	2-3	なし
米原北地区宅地	3	番場地区
醒ヶ井宅地	3-5	なし

米原町においては、現行の 13,000 人の人口から将来(20年後)における目標人口を5万人と想定している。この人口規模に応じた開発を表－1に示すように想定したのである。

表－1からわかるように、米原町において想定されている開発計画は、大部分が大規模開発を伴うものである。しかし、米原町の現行規模を考慮すると、全ての開発事業が大規模開発であり、同時期に多数の事業を行うことは、必ずしも好ましいとはいえない。まず多くの事業を同時に実施することは予算規模的に非常に大規模になり、同時にその返済額も一時

期に莫大な額を返済しなければならない。ゆえに、本研究では同時期に実施できる事業に関して、実施費用を定額返済する場合の返済額の上限を設定することで、制約化することとした。ここでは年率1%で物価が上昇するものと仮定している。また、返済に関しては、事業の開始時から支払いを開始するものとし(すなわち、事業期間中も支払いを行うことになる)、利子は3%とした。また、各事業に関する計画初年度での全事業費を表－2に示す。ただし、ここに示した値は開発諸データより設定した仮想的なものであることを断っておく。また、本研究では、返済に関しては、全ての事業において事業年数に比例した形の定額返済を行う場合を考察対象としている。

表－2 事業費(計画初年度換算)

事業名	事業費
番場地区	200
パワーセンター	20
磯地区インダストリアル	5
ヤングギャザーフォレスト	5
シンボルパーク	20
フィッシャーナ	3
アートの森	20
米原西地区宅地	40
入江宅地	25
米原北地区宅地	27
醒ヶ井宅地	30

また、前述の費用の設定により、工期が後送りになるほど、1回あたりの返済額が増大することとなり、効率的な投資の実現を阻むことになる。同時に、計画の目標年数以下でなければならないことも要求される。このことから開発者(ここでは米原町が全面的に開発行為を委託する公社を想定している)は、効率的な投資の実現のために、要求された期間内で終了する場合の最小の費用で実施計画を立案することになる。

以上をまとめると、以下のように本研究での問題構成を整理することができる。

1)期間に制約を持つ費用最小化問題である。このとき、全事業は計画初年度より20年以内に全て終了するものとする。

2)事業費用は事業開始時に一括借り受けし、事業年数に比例した年数での定額償還で返済されるものとする。実際には、年度ごとの分割借り受けが一般的であると考えられるが、ここでは簡単のために一括借り受けの場合を設定した。

3)各事業は宅地開発を除き、連続的に行われるものとする。

以上のような設定のもとで、事業実施計画を立案することとする。

3. マルチプロジェクトにおける最適化

本章では、マルチプロジェクトを実行する場合の数学的な整理と、その解法アプローチについて検討を加えることとする。

(1)定式化

さて、本研究で取り上げたマルチプロジェクトは、定式化すると以下のような資源配分問題となる。

$$\text{Minimize : } Z = \sum_l \sum_j \delta_{lj} a_l \quad (1)$$

Sub. to

$$\sum_j \delta_{lj} \leq N \quad (2)$$

$$\delta_{lj} = \{0,1\}$$

$$\sum_l y_l^j \leq Y$$

ここで、

l : 区間を示すインデックス。

j : 事業を示すインデックス。

δ_{lj} : クロネッカーデルタで、事業 j が区間 l に含まれている場合 1、それ以外は 0 とする。

a_l : 区間 l の長さ

N : 同時に実行できる事業の最大数。

y_l^j : 事業 j が年度 t で始まった場合、その返済年次が t の時に返済すべき返済額。

Y : 返済額の上限。

である。

(2)解法

さて、上記の問題の解法について述べる。

本研究で取り上げる手法は、「ネットワーク上での資源配分問題」に関する解法¹⁾の応用である。

すなわち、以下のような理論に基づく。

春名・滑川²⁾は、複数の施工事業において、複数の資源制約がある場合のスケジューリング問題に関して、Cutting Stock 問題に準拠した解法を提示している。ここでは、全ての作業に関して、先行・後続関係が固定的に与えられる場合、作業間の関係を「カット」と「ルート」によって把握する方法³⁾を提案している。そして、最適性を保証した形で求解、すなわち最適スケジュールをおこなっている。

また春名・竹林³⁾は春名・滑川²⁾の方法に準拠し、単年度予算制約を有する方法を用いている。本研究では上記のような方法に改良を加えることとする。

本研究で取り上げる問題は、春名・竹林³⁾の場合と同様に、各制約条件が作業断面では完全に把握できない状態にある。ゆえに、本研究ではこれらを年次断面にまで分解して検討を加えることとする。ただし、本研究の場合は、返済行為は開始時点にのみ依存するため、プロジェクトの開始以後その返済期間は必ず連続でなければならないことになる。また、前章で述べたように、本研究では同時に実行可能なプロジェクト数が新たに設定されている。

(i) Cutting Stock 問題に準拠した解法の応用

第 C_m カットにおいて同時に実施できるプロジェクト数を N とし、そのカット内での割り当て時間を X_{Cm}^j とすると、各作業断面における配分時間 x_l^j の和の最小化問題 (1) を解く際に、制約 N によりカッティングストック問題を解く。このとき、解のパターンを b_l^j とする。この b_l^j は短縮時間順に求めることが可能である。

第2段階として、この列ベクトルの組み合わせが、予算制約などの制約条件を満たしているかどうかを調べる。

まず列の配列は次の条件を満たすように再配列される。

7) 分割不能なプロジェクトは連続して配列する。

1) プロジェクトごとに、返済期間内における返済スケジュールを得る。これは7)を得たときに、同時に得

られるものである。

ウ) 返済スケジュールにおいて、各年度断面ごとに制約条件の確認を行う。

これらは分枝限定法を適用することで求めることが可能である。

ここで、配列の1例を図-2に示す。

図-2に示すようにまず、プロジェクトの連続性を検討し、次にプロジェクト開始以降の返済スケジュールの各時間断面における制約条件を検討する。このとき、図-2の(イ)および(ロ)の状態は「プロジェクト断面」を示すものである。(イ)の状態では各列の順序関係は全くない、並列の状態である。ここでプロジェクトの接続関係を検討すると、プロジェクトIが必ず連続しなければならないという条件を与えているので、それを満たすような順序を与えなければならない。このとき、図-2に示された順序(ロ)は1例であり、他に5通り存在する。この6例について

- ① 前のカットからの作業の連続性の検討
 - ② 各年度断面(ハ)についての制約条件の検討
- を行い、さらに目的関数を最大化(あるいは最小化)する組み合わせを抽出する。

以上で求められたプロジェクトの実行順序で、満足する組み合わせが1つも存在しない場合は、先の b'_u に戻って、次の組み合わせの検討に移る。1つでも存在する場合は、短縮時間順に解の組み合わせを抽出しているため、この解がカットに配分される時間の最短のスケジュールを実現する実行可能解であることになる。

(ii) 動的計画法によるカットネットワークの最適経路探索

このとき、このカットに連続するカットを C_{m+1} とする。 C_{m+1} が始まるまでの最短時間は、それに接続するプロジェクト P_i の終了時期に左右される。この P_i が終了する時期を C_m が始まってからの時間で X_{C_m} と表すとする。この X_{C_m} が実際にカット C_m に配分される時間である。このとき、まだ終了しないプロジェクト(これを P_j とする)がある場合、その残り時間は P_j に必要な時間を $XT(P_j)$ とすると、

$$REST_XT(P_j) = XT(P_j) - (X_{C_m} - T_{begin}(P_j)) \tag{15}$$

となる。ただし、 $REST_XT(P_j)$ 作業時間の残量、

$T_{begin}(P_j)$:プロジェクト j が始まった時期、である。このプロジェクトの続きは、次のカット以降で行われることになる。

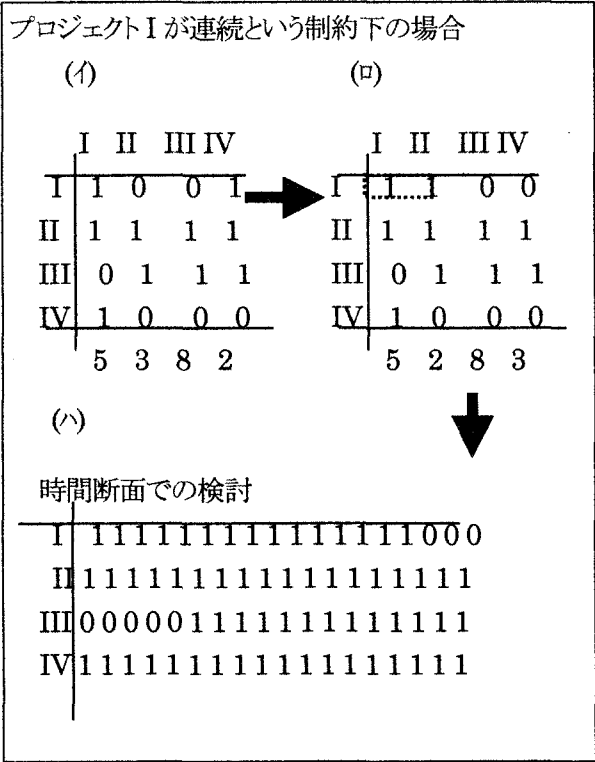


図-2 カット内におけるスケジュールの1例

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⁴⁵⁾⁶⁾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。計算フローの概略を図-3に示す。

4. 計算結果

前章までに述べられた解法を用いて、先のスケジュール問題の解を得た。

本研究で対象としたプロジェクト群では、カットそのものは2つしか存在しない。よって、議論の大半は同一カット内でのスケジュールの求め方ということになる。

得られた最適スケジュールを図-4に示す。図中のプロジェクト番号は表-2の順に準じる。

図-3 カットにおける計算フロー

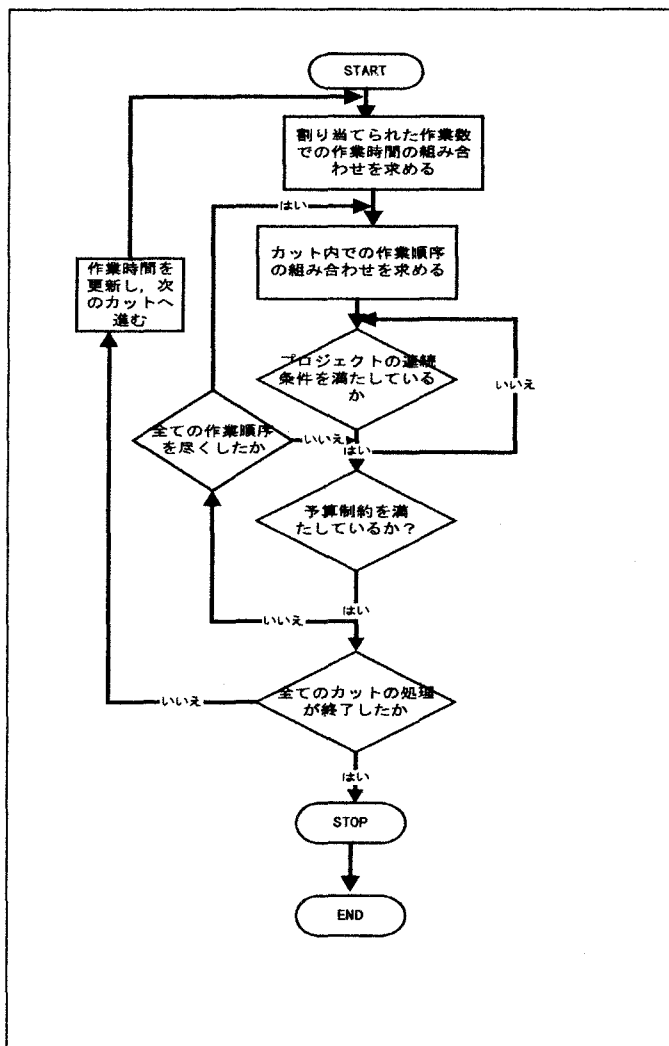


図-3 カットにおける計算フロー

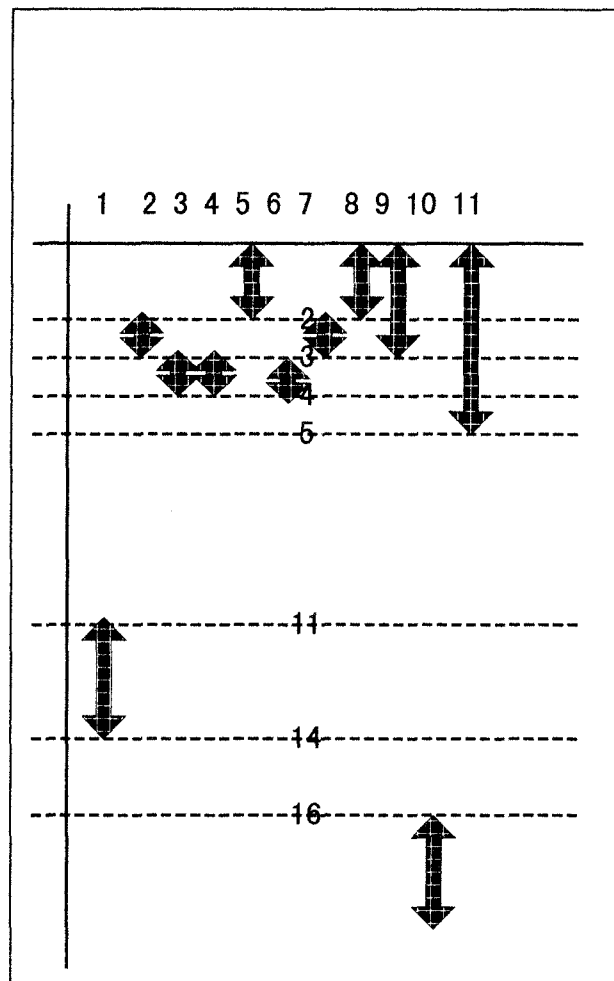


図-4 最適スケジュール

また、図中の波線中に示された値は計画初年度よりの年数を表すものである。

なお、本研究では返済時の年間返済額は、現在価値で 30 を越えないものと設定し、また同時に実施できる事業の数も最大で 4 というように設定した。さらに、返済期間としては、一律に事業年数の 5 倍を当てるものというように設定した。

ここでは、図-4 に示すように、計画期間の前半と後半に集中するような実施計画案を得た。特に、費用が少なく、各事業期間の短い事業は、全てこの前半部分で集中的に実施されるということになった。計画初年度より数えて 5 年目から 10 年目まで全く事業が行われないのは、返済の額の制約によるためである。

次に、全体の返済計画を図-5 に示す。

図-5 から、まず計画初年度より数えて 4 年目から 7 年目までが、返済の 1 つのピークで、このとき返済の最大額は 25.84 となる。

また、16 年目から 25 年目までが 2 つ目のピークとなり、このときの最大額は 28.71 となることがわかる。

計画されたプロジェクト全体が終了するのは、計画初年度から 18 年を経ることになり、一方、全体の返済が終了するために、30 年を要することがわかる。また、全体の返済総額は 638.78 となる。

さらに、同時に実施できる事業の数を最大で 5 に設定した場合の最適スケジュールと、その返済計画を図-6、図-7 に示す。

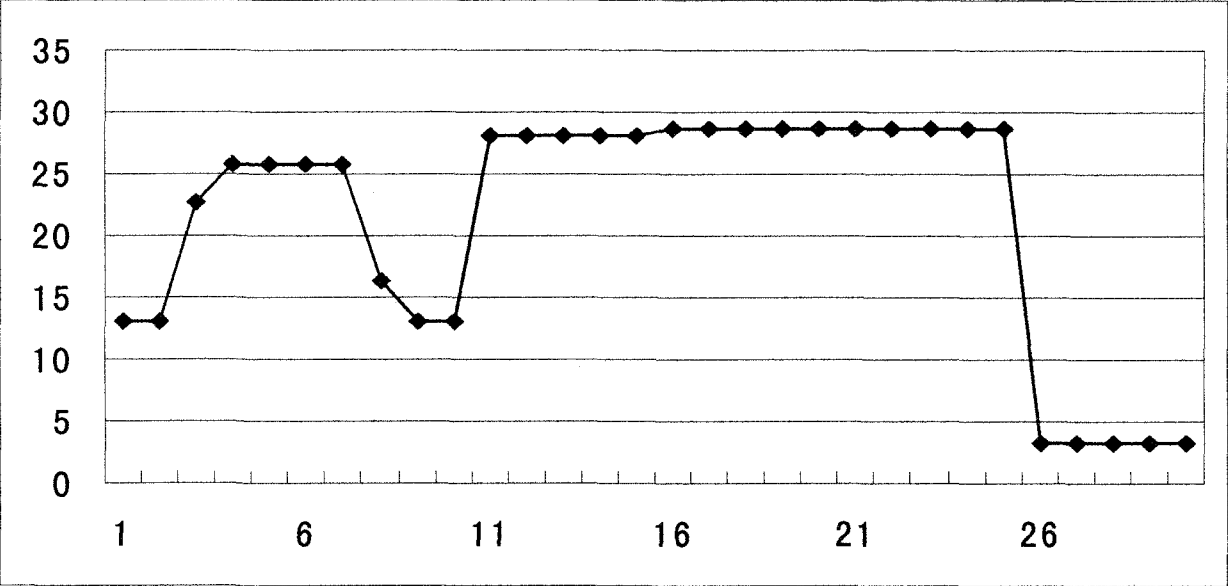


図-5 最適実施計画による返済計画

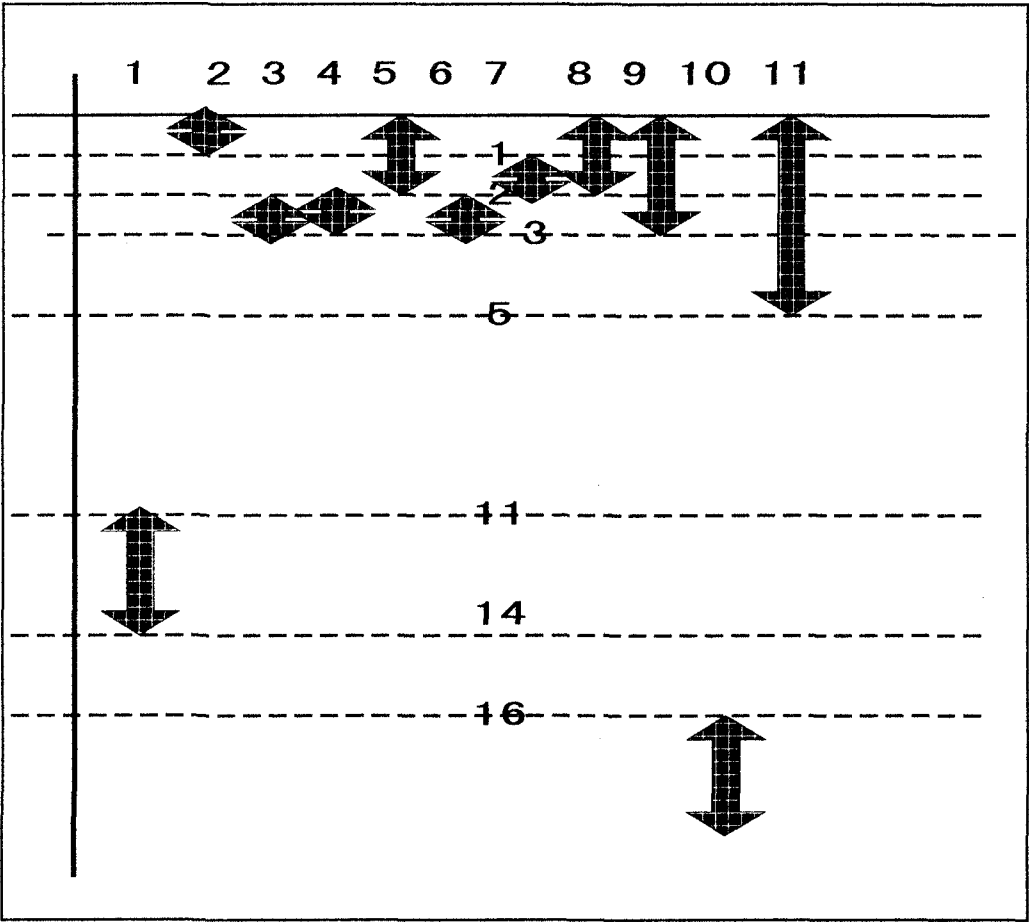
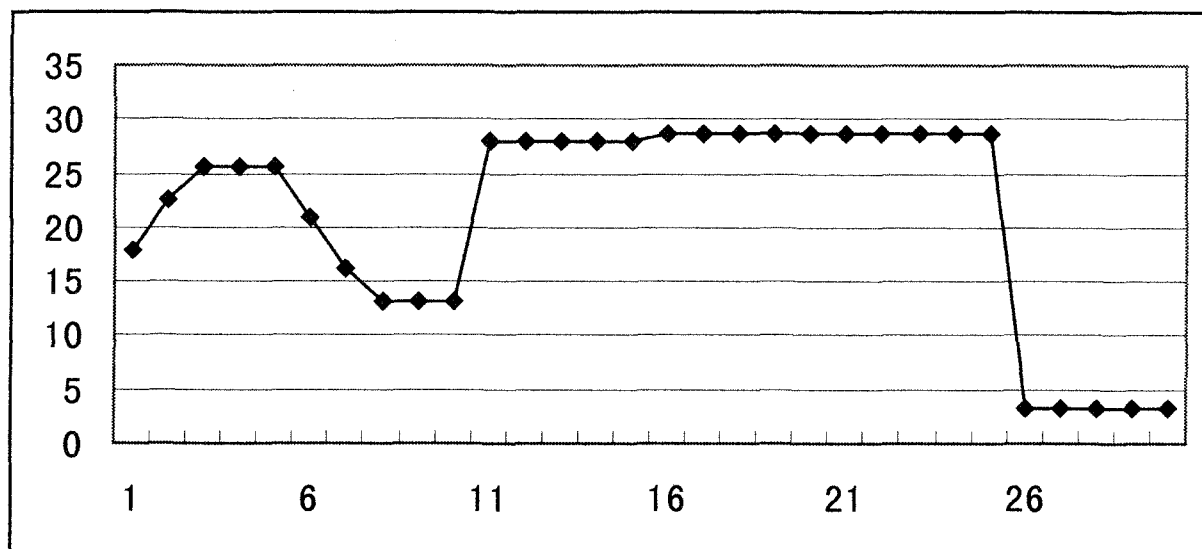


図-6 同時実施事業が5以下である場合の最適スケジュール



図一7 同時実施事業が5以下である場合の返済計画

図一6より、最適なスケジューリングを行った場合、スケジュールそのものは計画の前の部分にさらに集中的に実施されることとなった。しかし、番場地区の開発、およびそれに引き続く米原北地区の開発は、実施制約数が4の場合と全く同じ結果となった。

これは、番場地区の開発規模が桁違いに大きく、またその事業期間が短いことから、本研究で設定したような「工事期間に比例する形で返済期間を設ける」といった場合には、非常に巨額の返済額を設定してしまった結果であると考えられる。

また、全体での返済計画からは、やはり複数のピークをもつ曲線を得た。このとき、最初のピークは開発初年度から考えて、3年目から5年目にかけてであり、その値は 25.57 である。2つめのピークは16年目から25年目までで、その値は 28.71 となった。この結果、最初のピーク時までの返済額が事業制約数4の場合と比較して、若干低く押さえられる結果となったが、2つ目のピーク時には全く同じ値となることがわかった。結果として、総返済額は 637.40 となり、事業制約数4の場合と比較してもほとんど変わりがなかった。この結果から、本研究で設定した範囲では、同時に事業を開始するのが4つでも5つでも、大差ないということがわかった。

5. おわりに

本研究では、滋賀県米原町で想定されている地域総合開発計画を例にとりて、マルチプロジェクトスケジューリングを考える上で、従来のネットワークが多資源配分問題に加えて、返済額に上限があり、なおかつ同時に実施できる事業の数に制約が存在する場合についてのモデル化と、その解法についての検討を加えた。

しかし、本研究で提案したモデルは、非常に強い仮定の下で想定されたものである。よって、以下に挙げる課題を今後検討していく必要がある。

- 1)住宅の整備に関して、本来は人口の伸びに呼応した形で、供給過剰・供給不足のないように開発を行っていくものと考えられる。しかし、本研究ではそういった人口の増加を考慮していない。
- 2)事業実施の順序が事業の事後効果に全く反映されないという形を想定している。しかし、現実には事業の実施順序が、後発の事業の実施効果に大きく影響を与える場合も往々にして考えられる。このように、開発者の目的としては、今回は事業期間を制約とした費用最小化問題という限定的な範囲でとらえた。しかし、実際の事業計画立案に際しては、事業の実施

効果も踏まえて立案するなど、多目的決定的なアプローチを行う必要がある。

3)投入される各プロジェクトは既知であるが、実際は投入すべきプロジェクトの選択問題を含めた形で、段階的にアプローチしていく必要があるものと考えられる。

4)事業の実施が全て単年度ごとになっている。本研究では、3ヶ月などの1年に満たない場合、全て単年度として計算を行っている。今後は月単位などで、後続する施工計画との関わりをも議論できるモデル展開にする必要がある。

5)採算性の問題に関しては、現在は一括貸与の元利償還型のみについて取り扱った。現実には、年度ごとの分割貸与、および事業収益による償還額の暫時増加などが行われている。前述の 2)と関係づけたアプローチが必要であると考えられる。

以上の点のうち、1), 2), 5)については現在検討中である。機会を改めて報告する次第である。

【参考文献】

1)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.

2)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.

3)竹林幹雄・春名攻: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(印刷中).

4)今野浩・鈴木久敏:整数計画法と組み合わせ最適化,日科技連.

5)関根智明:PERT・CPM, 日科技連.

6)V.フバータル:線形計画法(下),啓学出版,1986.

A Study on Theoretical Modeling and Solving for Multi Project Planning of Regional Comprehensive Development — through Case of Maihara Cho —

This study aims to discuss the theoretical modeling and develop the solution method for the multi project planning on the regional comprehensive development. In this study, the projects that are planned at Maihara Cho, located at the east shore of Lake Biwa, is taken as the case study. The solution method is developed and tuned from the standpoint of solving the network resource allocation problem, which is discussed by HARUNA and NAMERIKAWA. Thus, 11 projects are discussed, but the each development cost is given as the provisional values. Then, the optimized schedule is taken, and it is cleared that job constraints are not so important for this time schedule.