

総合的都市整備・開発事業計画のための
マルチプロジェクトプランニング・スケジューリングモデル開発に関する研究

A study on Multi-Project Planning Scheduling Model for the integrated regional development planning

春名 攻* 竹林 幹雄** 滑川 達*** 宮原 尊洋**** 奥村 隆之****
by Mamoru HARUNA*, Mikiō TAKEBAYASHI**, Susumu NAMERIKAWA***,
Takahiro MIYAHARA****, Takayuki OKUMURA****

1. はじめに

現在我が国では、バブル経済崩壊の影響を引きずり、社会・経済活動は今なお健康とはいえないう状況にある。同時に、地域経済・財政における諸問題も顕在化しており、公共投資財源に乏しい地方都市の発展や活性化を実現するためには、限られた財源を効果的かつ実効性のある形で運用できる都市・地域開発を計画するための方法論の開発が重要であると考えられる。

本研究では、大規模都市開発や基盤整備計画とそれら全体の事業化が及ぼす影響・効果を、シミュレーション分析を通して客観的に捉え、さらに効果的な都市財政やこれら多くのプロジェクト群(代替案)の合理的な実施計画に関する先取りの検討を行うことを目的として、マルチプロジェクトプログラミング・スケジュールングモデル(以下紙面関係上 MPPS モデル)の開発研究を試みた。

2. マルチプロジェクト・ランニング・スケジューリング・モデルの開発 発の基本方針

総合的都市開発・基盤整備計画の重要な目的である地方都市での定住化や活性化を促進していくためには、「職」「住」「学」「遊」という4つの基本都市機能をバランスよく配置できるように、各種プロジェクトの事業化や建設段階での計画問題を、都市整備計画等の計画化の段階から先取的に分析し、図-1に示すように総合的に関係づけていくことが重要であるとする。そこで、本研究では、図-2に示すような公共財政と開発事業の関連構造をふ

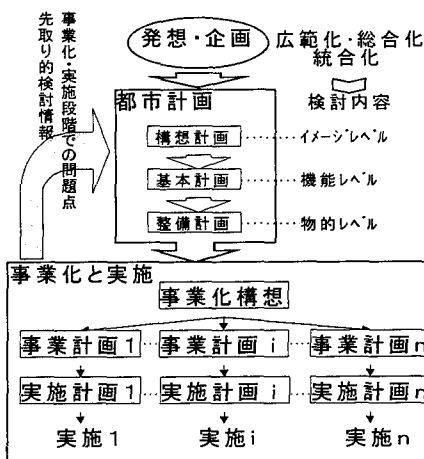


図-1 マルチプロジェクトの先取りの検討

また上で、まず複数の基盤整備、都市施設プロジェクトの実施とその実施順序如何によって大きく変化する各期の都市状態をシミュレートした。次いで、それらの変化に十分対応した形で、合理的かつフィジブルな各種プロジェクトの実施順序を検討できる最適シミュリングモデルの開発を行った。

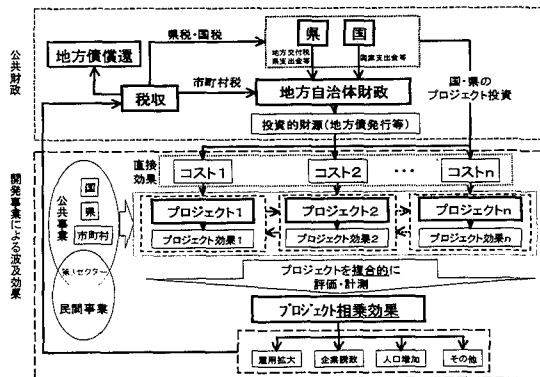


図-2 公共財政と開発事業の関連構造

3. マルチプロセス・ランニング・スケジューリングモデルの定式化

ここでは、図-3に示す考え方のもとに設定される最も基本的な整備順序が、プロジェクトをアクティティとしたネットワークとして与えられているものとして

以降の定式化を展開していく。

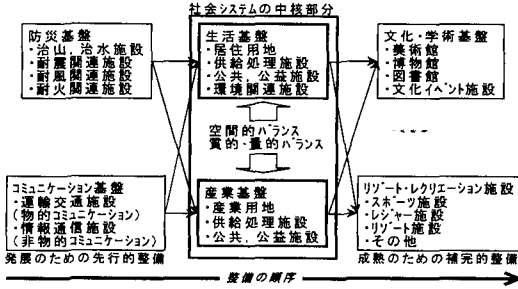


図-3 都市基盤施設の整備順序における基本方針

まず、各種プロジェクトの実施に際しては、全体コストを最小にしたいという行政側の意図が存在するものと考えた。そして、このような問題は物価上昇等の関係より、全てのプロジェクトをできる限り早期に実施へと移す問題と同義となり、結果として全体のプロジェクト期間の最小化問題に帰着することがわかる。しかし同時に、行政はそのときの財政規模に応じたプロジェクトへの投資を行なわなければならない。この場合問題となるのはその返済規模である。このため、ここでは単年度返済費用の上限を、当該年次の投資的財源との関係のもと十分考慮することとする。また、行政はこの他にもいくつかの計画達成目標を有しているものと考えられるが、ここでは「各年度ごとに目標人口規模があり、その際各産業の就業人口比率は、目標する最低構成比率以上でなければならない。また、各産業の分配所得は前年度に対して低下させない」という達成目標が存在するものと考え、これを制約化することとした。

ここで、プロジェクトネットワークスケジュール問題として、以上の問題を定式化すると以下ようになる。

$$\text{Minimize } \lambda \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{\lambda} \delta_i^i = Z_i \quad \text{for all } i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{\lambda} \delta_{t'}^i = z_i \quad \text{for all } i \quad (3)$$

$$\text{if } \delta_{t_1-1}^i = 0 \cap \delta_{t_1}^i = 1 \quad \text{and} \quad \delta_{t_2}^i = 1 \cap \delta_{t_2+1}^i = 0$$

$$\text{then } \sum_{i=t_1}^{t_2} \delta_i^i = Z_i \quad \text{for all } i \quad (4)$$

$$\text{if } \delta_{t_1-1}^i = 0 \cap \delta_{t_1}^i = 1 \quad \text{and} \quad \delta_{t_2}^i = 1 \cap \delta_{t_2+1}^i = 0$$

$$\text{then } \sum_{i=t_1}^{t_2} \delta_{t'}^i = z_i \quad \text{for all } i \quad (5)$$

$$(\text{但し、} t_1 = t_1')$$

$$h(t) \geq aP(t) \quad \text{for all } t \quad (6)$$

$$\sum_i \delta_{t'}^i r_{t'}^i \leq M(t') \quad \text{for all } t' \quad (7)$$

$$r_{t'}^i = \left\{ (1+e)^z (1+b)^n C_i \right\} / z_i \quad (8)$$

$$(\text{但し、} \delta_{t_1-1}^i = 0 \cap \delta_{t_1}^i = 1)$$

$$P(t) \geq P_i \quad \text{for all } t \quad (9)$$

$$P_j(t) / \sum_j P_j(t) \geq \alpha_j \quad \text{for all } j, t \quad (10)$$

$$W_j(t) \geq W_j(t-1) \quad \text{for all } j, t \quad (11)$$

$$\text{if } \delta_t^i = 1 \cap \delta_{t+1}^i = 0$$

$$\text{then } Q_k(t) \geq q_{ik} \quad \text{for all } i, k, t \quad (12)$$

$$\text{if } \delta_t^i = 1 \cap \delta_{t+1}^i = 0$$

$$\text{then } P(t) \geq p_i \quad \text{for all } i, t \quad (13)$$

$$\text{if } \delta_t^i = 1 \cap \delta_{t'}^i = 1$$

$$\text{then } R_{it'} = 0 \cap R_{it'} = 0 \quad (14)$$

ここで、 λ : 全プロジェクトを通しての実施期間、 δ_i^i : プロジェクト i が i 年次に実施していれば 1、そうでなければ 0 を表すクロネッカーデルタ、 $\delta_{t'}^i$: プロジェクト i が t' 年次に返済が必要であれば 1、そうでなければ 0 を表すクロネッカーデルタ、 Z_i : プロジェクト i の必要実施年数、 z_i : プロジェクト i の設定返済年数、 $h(t)$: t 年次における住宅資本ストック、 a : 1 人当りの平均住宅床面積、 $P(t)$: t 年次の総人口、 $r_{t'}^i$: t' 年次にプロジェクト i を開始した場合の単年度返済費用、 e : 利子率、 b : 物価上昇率、 C_i : 現在(0 年次)価値で見積もったプロジェクト i の総費用、 $M(t')$: t' 年次の投資的財源、 P_i : t 年次の達成目標人口、 $P_j(t)$: t 年次における j 業種(第 j 次産業)の就業人口、 α_j : 目標設定された全就業人口に対する第 j 次産業就業人口の最低構成比率、 $W_j(t)$: t 年次における第 j 次産業就業者の分配所得、 $Q_k(t)$: t 年次における k 種類の社会資本ストック、 q_{ik} : プロジェクト i の経営が成立するために最低限必要と予測される k 種類の社会資本ストック、 p_i : プロジェクト i の経営が成立するために最低限必要と予測される人口規模、 $R_{it'}$: プロジェクトネットワークにおける可達行列の構成要素を表す。

なお、上記定式化における $h(t)$ 、 $P(t)$ 、 $M(t')$ 、 $P_j(t)$ 、 $W_j(t)$ 、 $Q_k(t)$ の値は、後述するシミュレーションモデルによって求められることとしている。

なお、上記定式化における $h(t)$ 、 $P(t)$ 、 $M(t')$ 、 $P_j(t)$ 、 $W_j(t)$ 、 $Q_k(t)$ の値は、後述するシミュレーションモデルによって求められることとしている。

4. 都市の状態を表すシミュレーションモデルの開発

上記サジェーリングモデルの定式化における $h(t)$ 、 $P(t)$ 、 $M(t')$ 、 $P_j(t)$ 、 $W_j(t)$ 、 $Q_k(t)$ の値を算出する機能をもつシミュレーションモデルの開発においては、上述の機能に加えて、MPPS モデルを用いて行なう、各プロジェクトの返済年数の設定や地方債の発行額およびその起債のタイミング等々の検討を目的としたモデル分析における総合的評価を念頭に置き、より包括的な都市状態のシミュレーションを実施させることを目指している。また、「社会(人口)」セクター、「経済」セクター、「財政」セクターを軸とした本シミュレーションモデルの構造を図-4に示した。

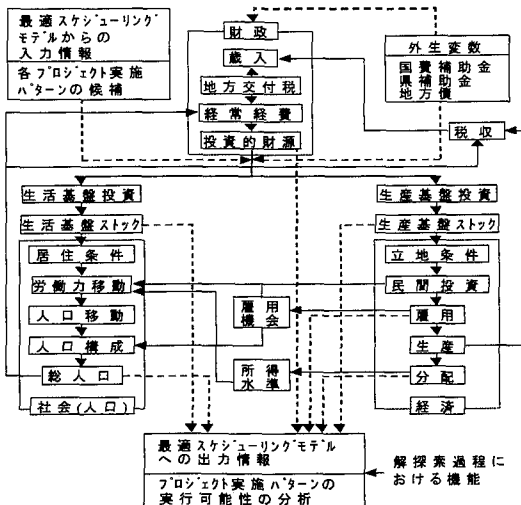


図-4 シミュレーションモデルの主要関連構造

5. 解法に関する検討

次に、先述の定式化に対し、我々がこれまで検討を重ねてきたネットワークのトポロジカルな特性に着目した構造分析に関する研究成果をベースとして、上記問題のカットネットワークにおける最適資源配分問題への等価変換の適用を前提とした最適解法の開発に関して述べる。

任意の時間におけるサジェーリング計算において、そ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、現在のサジェーリング計算を行っている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)。即ち、現在カット

を C_m とすれば、現在、配分できるプロジェクト i は、

$$i \in C_m \quad \dots ①$$

となるプロジェクトのみである。さらに、上記のようなプロジェクトに対して次のような分類を行う。即ち、カットネットワークの現在カットを前記同様 C_m 、これと順序関係をもつ次のベクトルのカットを C_{m+1} とすれば、

$$i \in C_m \cap i \notin C_{m+1} \quad \dots ②$$

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、それは、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している。即ち、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値(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。

次に、式①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全てが既に開始されているかをチェックし、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になる。即ち、 $\delta'_i = 1$ とし、既に終了していれば、 $\delta'_i = 0$ としておく。続いて、上記の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①、②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在時点における返済状態を決定する。

$$\text{Maximize} \quad \sum_i \delta'_i \quad \dots ③$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_i \delta'_i r'_i \leq M'(t') \quad \dots ④$$

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。さらに、式①を満足し、式②を満足していないプロジェクトのうち、前処理によって返済状態の決定していないプロジェクトに対して、次のような0-1整数計画問題を解き、現在時点の返済状態を決定する。

$$\text{Maximize} \quad M(t'+1) = M(\delta'_i) \quad \dots ⑤$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_i \delta'_i r'_i \leq M''(t') \quad \dots ⑥$$

ここで、 $M^*(t)$:前述までに今期の返済が決定しているプロジェクトの返済分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・返済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ので、実施・返済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、その終了時点を現在区間の区間長とすればよい。しかし、この区間長を決定したプロジェクトの終了時間が、返済の終了を表しているか、実施の終了を表しているか等々によって以後の処理が異なってくることとなる。即ち、上述の区間長の決定に関しては、以下のようなケースが存在する。

a) カットネットワークにおけるレベル m の現在カットをと C_m 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時、カットネットワークのカットを 1 つ進めて、次のレベルの計算を前述同様進めていく。

b) それ以外の時、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 DP 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。

6. 滋賀県米原町を対象とした適用計算

ここでは、開発した MPPS モデルを用いて滋賀県米原町都市計画マスタープランにおいて構想されている 60 個のプロジェクトを対象とした適用計算を行った。(なお、各プロジェクトに関する詳細なインプットについては紙面の関係上発表時に示すこととする。)その結果、図-5 に示したプロジェクトネットワークおよび複数プロジェクトの実施スケジュール、米原町の今後 50 年間の人口変動曲線がそれぞれ図-6、図-7 のように求められた。

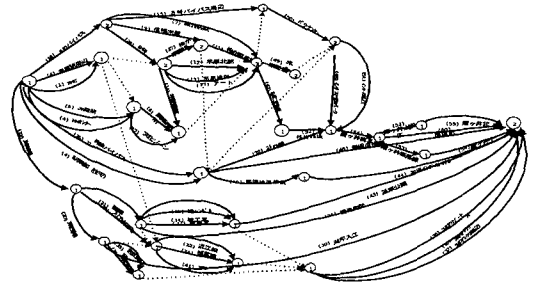


図-5 プロジェクトネットワーク

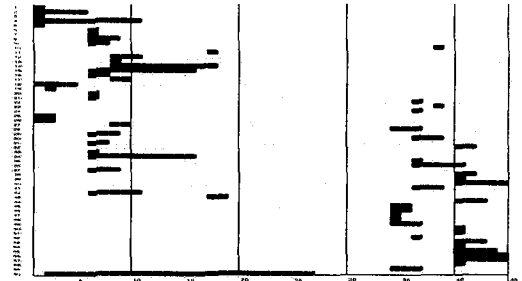


図-6 開発プロジェクト群の実実施スケジュール

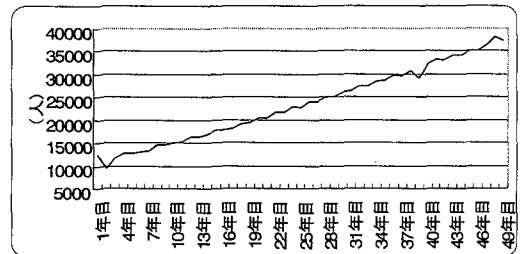


図-7 シミュレーションによる今後 50 年の人口変動

7. おわりに

本研究では、総合的都市整備計画の問題に対するシステムアプローチの方法を提案し、シミュレーション分析を通して都市財政や複数のプロジェクト群の合理的な実施計画に関する先取りの検討を行なう役割をもつ MPPS モデルの開発に関して検討を行なった。

今後の展開としては、都市状態をよりミクロかつリアルな形で再現可能なシミュレーションモデルとしての地域モデル構築を目指し、MPPS モデルの信頼性を向上させていきたいと考える。

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研究」建設マネジメント研究・論文集 vol. 4, 土木学会建設マネジメント委員会, 1996