

日程計画におけるファジィ・ランダム多目的最適化の並列分散処理

杉山桃香

富山県立大学工学部電子・情報工学科情報基盤工学講座

要約

建築現場における日程計画を不確定性・不確実性を考慮した上で多目的最適化する。少子高齢化による労働人口の減少で仕事における作業効率が求められるなか、特に人手不足が深刻な職業が建設躯体工事の職業や建築・土木・測量技術者などの建設・土木工事関係の職業である。人手不足を補うためには、計画的に効率良く作業を進めるための的確なスケジュールを作成する必要がある。しかし、建築現場におけるスケジュール管理は非常に難しく、天災、労災や事故などが原因で工程の変更や作業の中止が起こることがある。よって、もし、トラブルで作業が遅れてしまっても、工期に間に合わせることができるように、余裕をもった工程計画を考えなければならない。そこで、本研究では、この余裕を見積もることを重視し、更に、管理者が多目的に日程を調整できるスケジューリングシステムを考える。従来の建築現場における工程計画では作業員の熟練度や天候などの不確定で不確実な要素を考慮し、管理者の目的に合わせた日程計画を見積もるには不十分である。そこで、本研究では、作業員や天候などの不確定で不確実な要素を考慮する上で、ファジィランダムの概念を導入し、用いる要素の曖昧さを表現した。これにより、不確定で不確実な要素を考慮しつつ、資源の無駄を抑え、余裕をもった工程を提案している。

キーワード：日程計画、ファジィ・ランダム、多目的、並列分散

1 はじめに

現在、少子高齢化による労働者人口の減少は1つの社会的課題となっている。国立社会保障・人口問題研究所の調査で、2030年には、人口の1/3近くが65歳以上の高齢者になると推計されている。そして、このまま対策がないと、GDPの減少は避けられない。^[1]

この問題では、限られた資源で最大の利益を得ることが求められる。対策として、AIの導入や出生率の増加政策などが挙げられるが、今回は対策の一つとして考えられる「最適な人員・費用追加による生産性の向上」に着目した。背景をまとめたものを図1に示す。

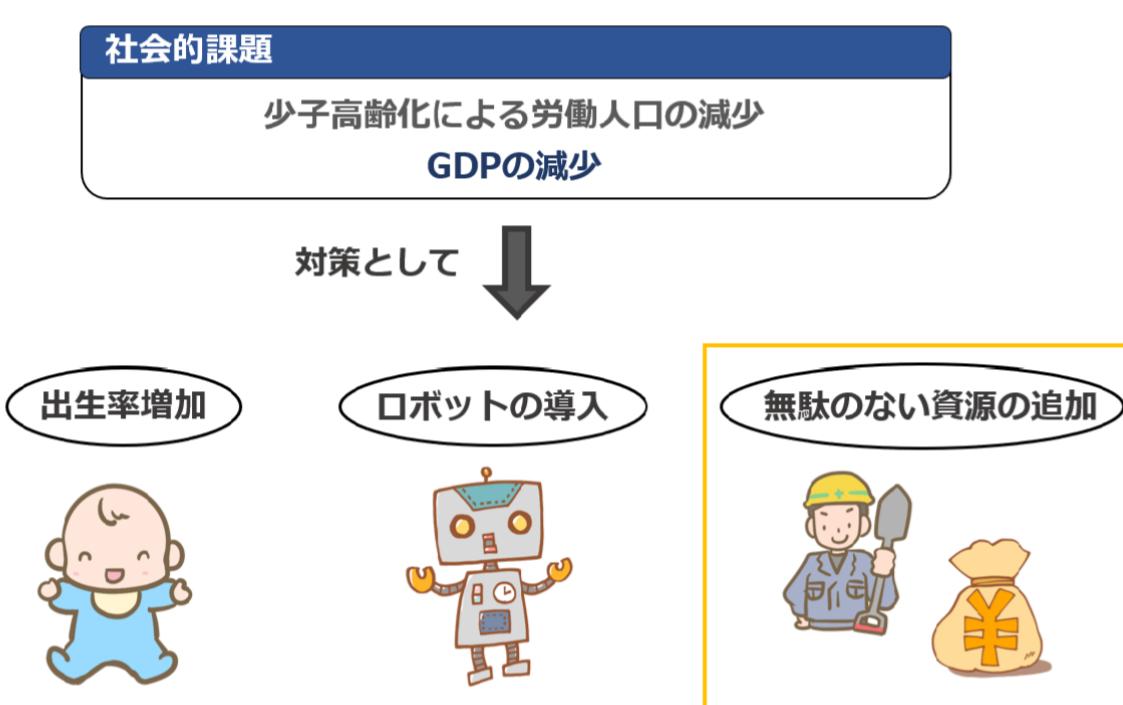


図1 研究背景

また、少子高齢化による労働人口の減少で生産性の向上や作業効率の向上が注目されるなか、建設・土木工事でも、「経済性」「迅速性」「確実性」という、3つの要素間の適切なバランスをとりあげた工程計画の研究が非常に重要になってきている。家づくりは長い期間をかけて行うため、進むほどに後戻りが難しくなるため、最初に全体の大まかな流れをつかんでおくことが大切だ。^[2]

本研究では建設現場における生産性の向上を目的とし、人員・費用の無駄のない投入を補助するための建設日程計画を求めるこを目標とする。

しかし、作業の所要時間や費用は「作業員の熟練度」や「天気」によって変動する曖昧性を含む要素である。そこで、本研究では、この不確定で不確実な要素も考慮した日程計画の導出を行う。

本研究の目的は、不確定性・不確実性を考慮した多目的日程計画最適化のモデルを考え、効果的な人員や費用の追加を補助することができる日程計画を作成することにより、生産性の増加を目指すことである。研究の目的をまとめたものを図2に示す。

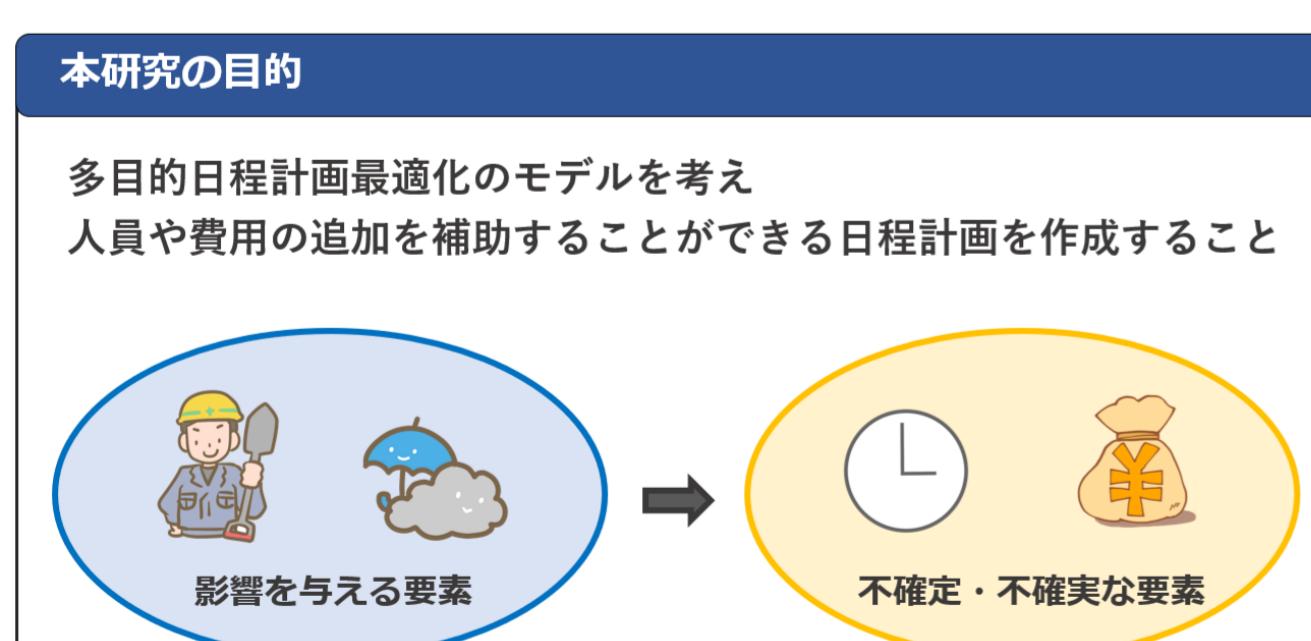


図2 研究目的

2 日程計画の概要

2.1 クリティカルパスの最小化

本研究における最適な日程計画は、「いかに無駄な人員や費用をかけずに作業を無理なく迅速に遂行できるか」を目的としている。

建設の工程計画には順序関係が存在している。住宅建築における作業をプロジェクトネットワークとして可視化すると図3のようになる。^[3]まずは、この工程における重要な作業(プロジェクト全体を短縮するのに関わる作業)を導出する。

まず、一番時間がかかる作業の流れ(=クリティカルパス)を求める。このクリティカルパスに含まれる作業はいわばこの工程におけるボトルネックとなる部分である。よって、クリティカルパスの短縮がプロジェクト全体の短縮に最も効果的であると考え、クリティカルパスの最小化を最適な日程計画作成における一つの目的に設定した。

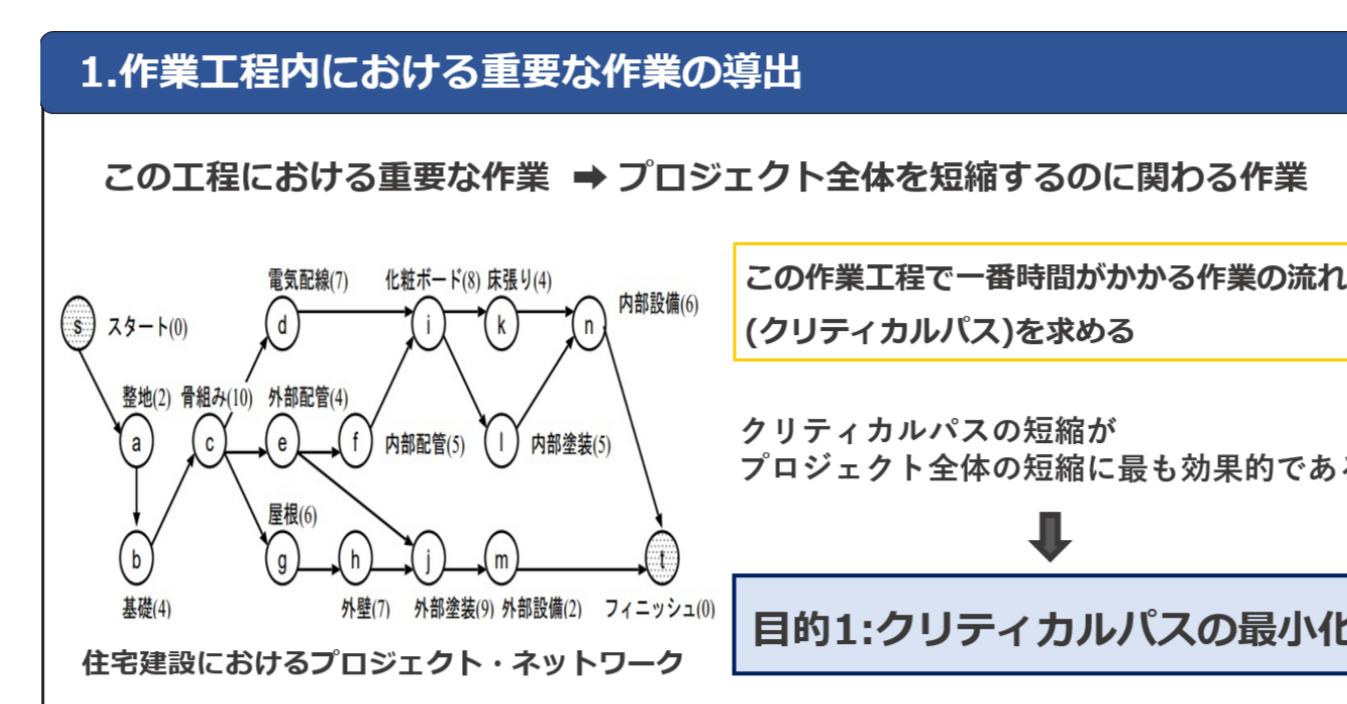


図3 クリティカルパスの最小化

2.2 時間費用関数の導入による多目的最適化

プロジェクト全体の作業時間の最小化を目的として、クリティカルパスの最小化を考えた。更に、二つの目的として追加費用も最小化したい。所要時間を最小化するには、作業員の追加(費用の追加)が伴い、これら2つの目的はトレードオフの関係にある。

今回作業の所用時間と追加費用の関係は図4のような時間費用関数で表せると仮定する。^{[3][4]}標準所要時間は追加費用をかけずに作業を達成できる時間とその費用に対応し、特急所要時間追加費用をかけることによって達成できる最短の時間とその費用に対応している。

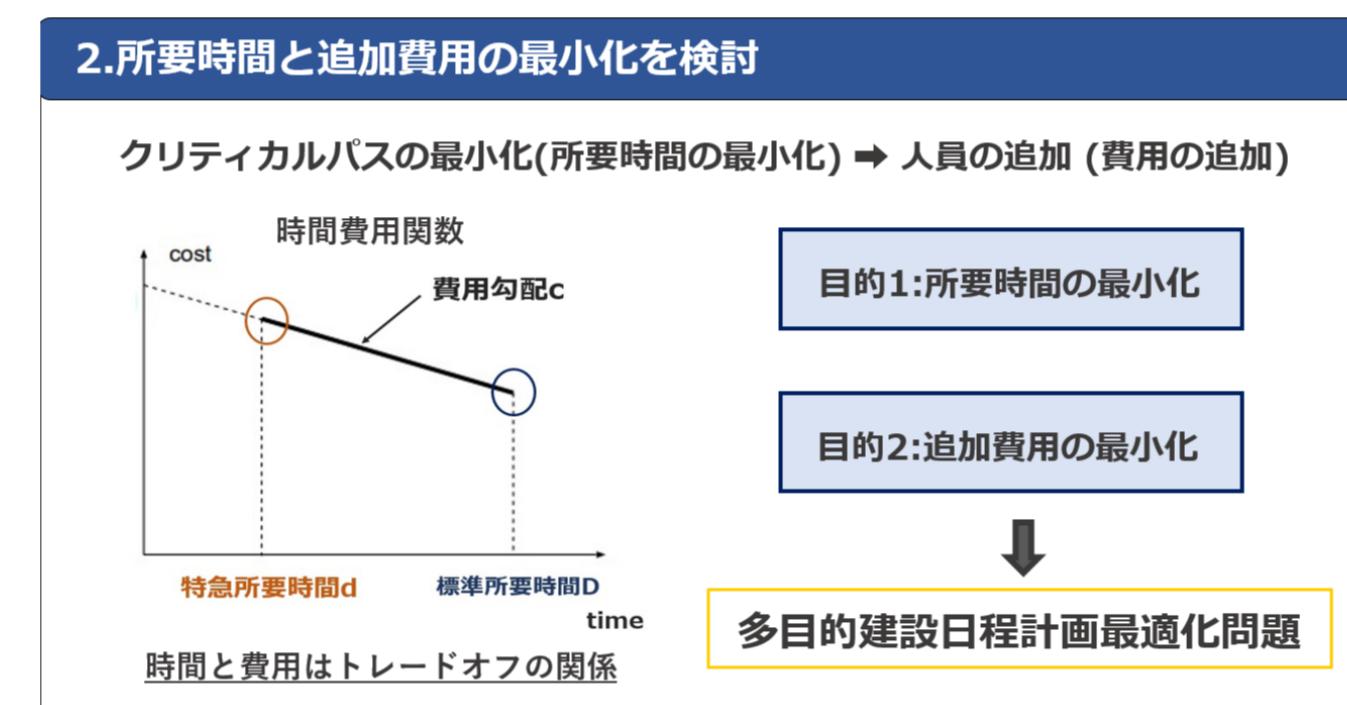


図4 時間費用関数と多目的最適化問題

3 ファジィ・ランダム多目的最適化

3.1 ファジィ・ランダム変数化

投入資源による所要時間の変化の不確定性・不確実性を表現するため、本研究では時間費用関数にファジィランダム変数を用いる。ファジィランダム変数とは、ファジィ性とランダム性の両方を表現することができる変数のことである。ファジィ性とランダム性について描いたものを図5に示す。ファジィ性とは曖昧性のことである。値が確定せず、ある範囲で変動するため、区間値で表すことができる。ランダム性とはその区間が確率で変化することである。

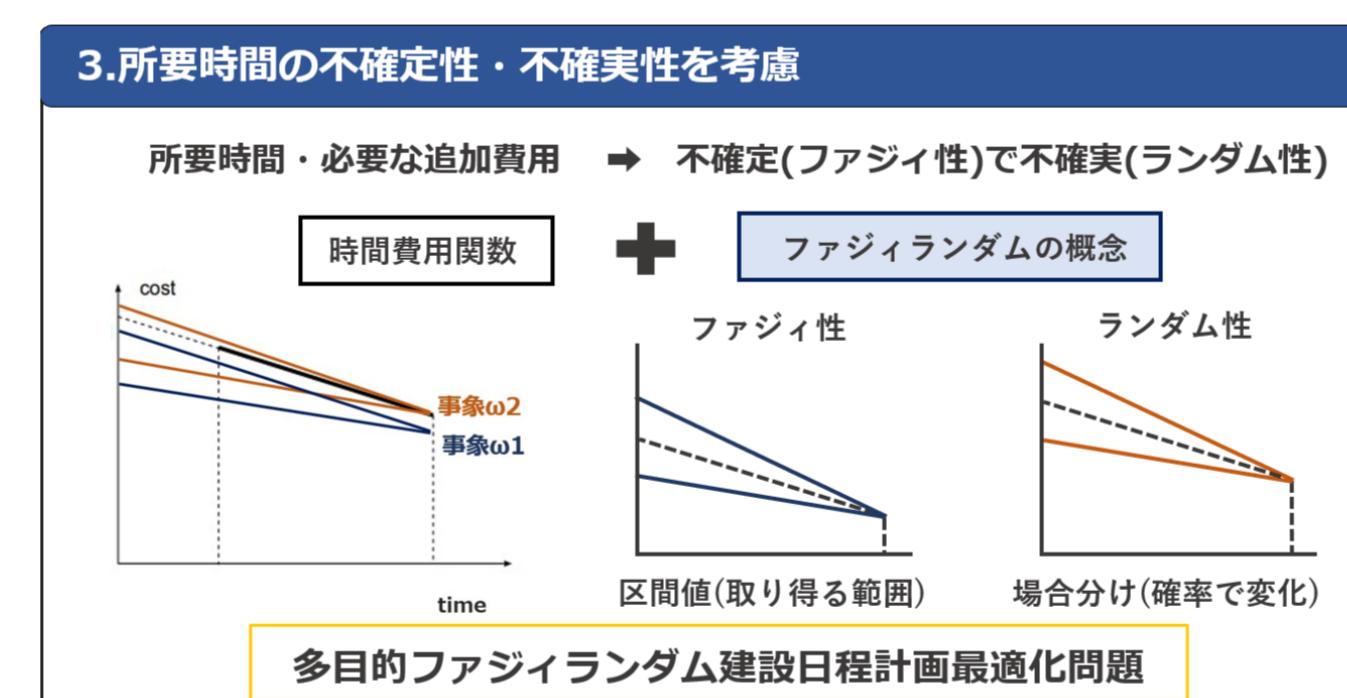


図5 ファジィランダム

3.2 モデルの定式化

クリティカルパスの最小化と費用の最小化を目的関数としたファジィランダム多目的日程最適化問題を定式化したものを図6に示す。^[4]

しかし、ファジィランダム変数を含む式をそのまま取り扱うことはできないため、確率計画問題から多目的計画問題へ等価変換する必要がある。そこで、可能性測度と確率最大化モデルに基づき式を等価な多目的問題に置き換えた。置き換えた式を図7に示す。^{[5][6][7]}

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \max \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} t_{ij} x_{ij} \right\} && \text{クリティカルパス完了時間の最小化} \\ & \text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} (-\bar{c}_{ij} + \tilde{b}_{ij}) x_{ij} && \text{費用の最小化} \\ & \text{subject to } \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ji} = \begin{cases} 1, (i=s) \\ 0, (i \neq s, t) \\ -1, (i=t) \end{cases} \\ & t_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} t_{ij} x_{ij} \leq T_p \\ & x_{ij} \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

t:作業から次の作業への所要時間 c:費用勾配, b:時間費用関数の切片 x:0-1変数, T_p:期限

図6 モデルの定式化

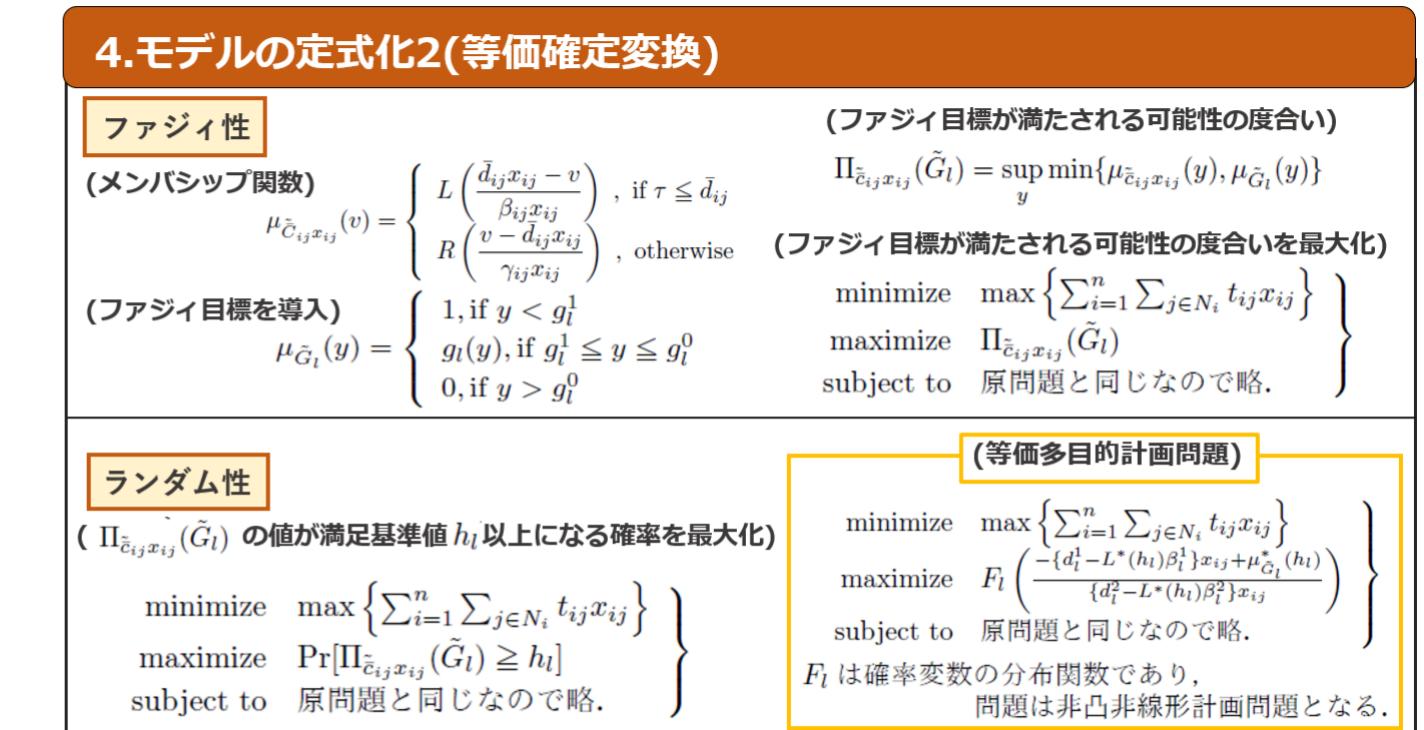


図7 等価問題への変換

$\bar{c}_{ij}, \tilde{b}_{ij}$ の各要素は図7にあるメンバシップ関数により特性づけられるファジィランダム変数を要素とする変数ベクトルである。目的関数の係数はL-Rファジィ数において、中心、広がりのパラメータが確率変数となっているファジィランダム変数であるため、各目的関数は、拡張原理に基づくL-Rファジィ数の演算により、図7のメンバシップ関数で特徴づけられている。

さらに、目的関数に対して、ファジィ目標 \tilde{G}_l を導入し、目的関数のメンバシップ関数 $\mu_{\tilde{G}_l, x_{ij}}(y)$ を可能性分布とみなすとき、その分布の下でファジィ目標 \tilde{G}_l が満たされる可能性の度合い $\pi_{\tilde{c}_{ij}, x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ は、可能性測度を用いて図6のように与えられる。ここで、ファジィ性を含む原問題に対して、ファジィ目標が満たされる可能性の度合いを最大化する問題として変形する。

ここで、可能性測度の導入により、ファジィ性を確定的に取り扱うことができるため、問題は確率計画問題となる。そこで、ここでは、問題における $\pi_{\tilde{c}_{ij}, x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ の最大化、 $\pi_{\tilde{c}_{ij}, x_{ij}}(\tilde{G}_l)$ の値がある一定値 h_l (満足基準値)以上となる確率を最大化するという確率最大化モデルに基づき、 $\Pr[\pi_{\tilde{c}_{ij}, x_{ij}}(\tilde{G}_l) \geq h_l]$ の最大化に置き換えると、問題は図7のように定式化できる。

最後に、式を等価な多目的計画問題に置き換えた。このとき、 F_l は確率変数の分布関数であり、問題は非凸非線形計画問題となる。

4 数値実験ならびに考察

5 まとめ

本研究では、労働人口の減少によるGDPの減少の対策として、「建設現場における生産性の向上を目的とした最適な日程計画を求めるモデルの提案を行った。更に、今後の課題としては、考えたモデルを並列分散処理し、台数ごとの速度の違いを考察することである。まとめたものを図8に示す。

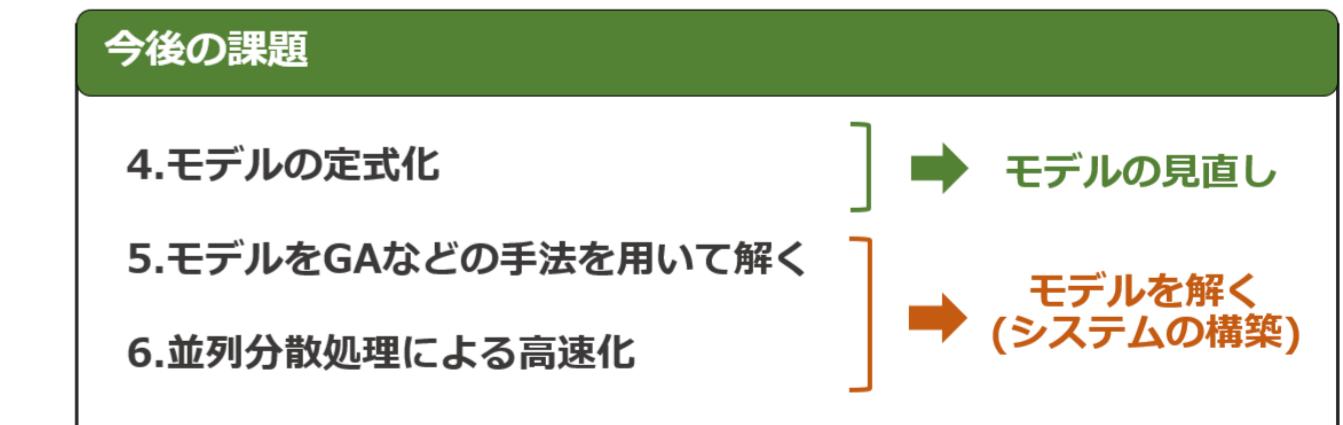


図8 今後の課題

参考文献

- 国内人口推移が、2030年の「働く」にどのような影響を及ぼすか
<https://www.reruit-ms.co.jp/research/2030/report/trend1.html>
- 建設工事における総括工程計画モデルの開発研究
- 第2章 ネットワーク構造つながりを見る
<http://www.econ.tohoku.ac.jp/ksuzuki/teaching/ch2.pdf>
- 不確実性への挑戦・意思決定分析の理論(飯田耕司著)
- Hideki Katagiri, Interactive multiobjective fuzzy random linear programming: Maximization of possibility and probability
- M. Sakawa, I. Nishizaki, H. Katagiri, Fuzzy Stochastic Multiobjective Programming, Springer, 2011
- 椎名孝之, 確率計画法, 朝倉書店, 2015