

# 日程計画における作業履歴を活用した ファジィ・ランダム多目的最適化の 並列分散解法

杉山桃香

富山県立大学 情報基盤工学講座

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

# 1: はじめに

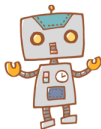
## 社会的課題

少子高齢化による労働人口の減少 → 人手不足

## 問題の対策



出生率増加



ロボットの導入



資源の最適な配分

- 特に人手不足が深刻 → **建築・土木工事の現場**
- 建築・土木工事の作業は長期にわたる  
→ 事前にプロジェクト全体の流れを掴むことが重要

しかし



による工程の変更や作業の中止

→ 現場におけるスケジューリング管理は非常に困難

## 2: 研究目的

### 問題点

- 現場作業における不確定で不確実な要素の見積もり問題
- 職人さんの工事スケジュールの把握と割り振り問題



### 研究目的

- 作業履歴を活用 → 不確定で不確実な要素の見積もり
- 最適な作業員の割り振りを補助する日程計画問題の提案

## 3: 建築業界と日程計画

### 建築業界における日程計画の現状

- 事前にかかれる工程会議にて日程計画を立てる

→活用されておらず、翌日には紙切れに…

その結果 

事前に立てた計画からズレが積み重なり

→「工期遅れ」に陥ることが多々ある

## 何故活用できていないのか？

### （建築現場における原因）

- 天候や事故などによる  
作業の中止・延期
- 人手不足による「着工遅れ」

### （従来の日程計画問題）

- 動的かつ不確定な値を前提としていない
- 不規則かつ不確実な値を前提としていない

### （建築現場に必要な仕組み）

- 不確定で不確実な要素を考慮した日数・費用の見積もり
- 職人さんの工事スケジュールの把握

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 作業履歴の活用

IT技術を用いた作業員の負担を減らす工夫もされている



現場コミュニケーションアプリ

### 機能

- 現場作業の進捗報告
- 各工程の開始終了時刻の管理
- 作業員ごとのスケジュール管理

リアルタイムなデータを用いた進捗状況の管理

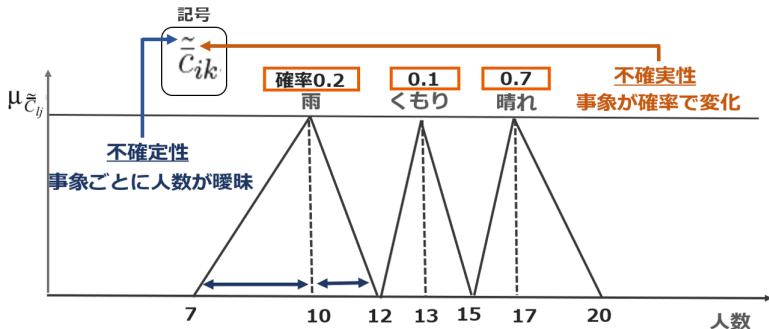


過去の作業履歴を活用した日程計画

## 4: 実問題への対応

### ファジィ・ランダム変数

不確定性と不確実性の両方を表現することができる変数





# データの活用例

作業履歴活用

属性(天気)

作業数(作業ID)

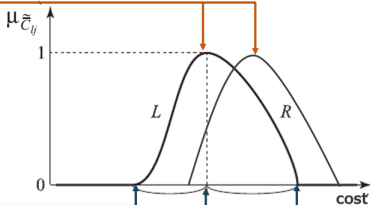
従事者グループ

最小必要費用

平均必要費用

最高必要費用

パラメータ設定



1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 並列分散GAと高速化

複雑な問題 → 膨大な処理時間

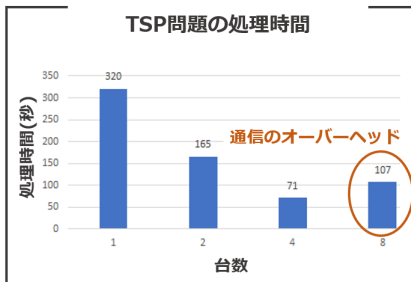
### 並列分散環境の構築

Raspberry Pi 3とMPIを用いた  
処理時間の高速化を検討



使用したRaspberry Pi 3 (8台)

遺伝的アルゴリズムを用いた  
TSP問題の処理時間



台数を増やした処理時間の高速化

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 5: 提案手法

【従来モデルの課題】



考慮



【提案モデルの目的】



### ファジィ・ランダム多目的日程計画問題

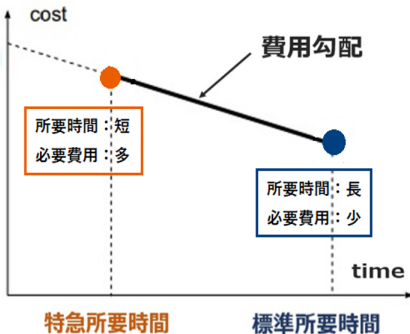
不確定・不確実な要素を考慮し

最適な日程や費用を考えることを目的とした日程計画問題

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 時間費用関数

クリティカルパスの最小化(最大所要時間の最小化) ⇒ 費用の追加が伴う



目的1 : 最大所要時間の最小化

目的2 : 必要費用の最小化

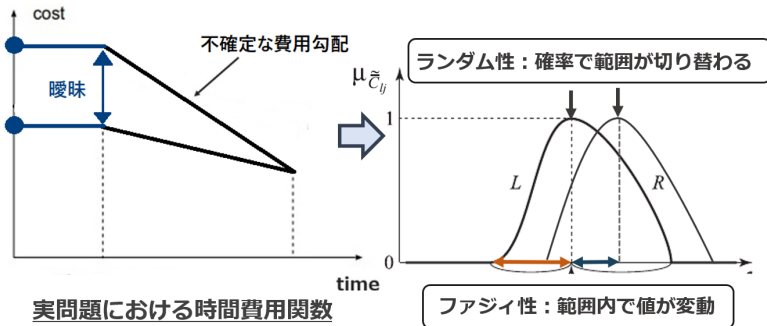
制約条件 : 作業の順序関係



多目的日程計画最適化問題

1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## ファジィ・ランダム変数の導入



## 提案モデルの定式化

$$\text{minimize } \max \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} \sum_{k=1}^w t_{ijk} x_{ij} y_{ik} \right\}$$

目的1: 最大所要時間の最小化

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} \sum_{k=1}^w \tilde{c}_{ik} x_{ij} y_{ik}$$

目的2: 必要費用の最小化

↑  
ファジィ・ランダム変数

subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ji} = \begin{cases} 1, (i = s), \\ 0, (i \neq s, l), \\ -1, (i = l). \end{cases}$$

制約条件: 作業の順序関係

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n; \quad y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, w;$$

$i, s$  先行作業     $j, l$  後続作業     $k$  従事者     $t_{ijk}$  作業の所要時間

$\tilde{c}_{ik}$  費用     $x_{ij}$  作業工程を選択する変数     $y_{ik}$  従事者を選択する変数

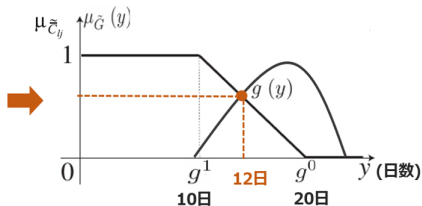
1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

# 等価確定変換

【ファジィ目標の設定】

$$\mu_{\tilde{G}} = \begin{cases} 1, & \text{if } y < g^1, \\ g(y), & \text{if } g^1 \leq y \leq g^0, \\ 0, & \text{if } y > g^0. \end{cases}$$

$g^1$  最良値    $g^0$  最悪値

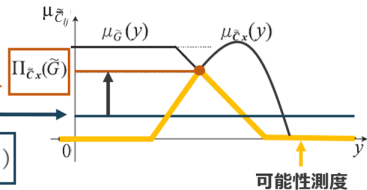


ファジィ目標が満たされる可能性の度合い

最大化 ↓

maximize  $\Pi_{\tilde{c}_{ij}x_{ij}}(\tilde{G})$

$h$  (満足基準値)



1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 等価確定変換により得られる数理モデル

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize} \quad \max \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} t_{ijk} x_{ij} y_{ik} \right\} \\
 & \text{maximize} \quad F \left( \frac{-\{d^1 - L^*(h)\beta^1\} x_{ij} y_{ik} + \mu_{\tilde{G}}^*(h)}{\{d^2 - L^*(h)\beta^2\} x_{ij} y_{ik}} \right) \\
 & \text{subject to} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_{ji} = \begin{cases} 1, (i = s) , \\ 0, (i \neq s, l) , \\ -1, (i = l) . \end{cases} \\
 & \quad x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n; \\
 & \quad y_{ik} \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, w;
 \end{aligned}$$

$d$  費用の平均値    $\beta$  最小費用    $F$  確率変数の分布関数    $L^*(h), \mu_{\tilde{G}}^*(h)$  擬逆関数



1. はじめに
2. 研究目的
3. 建築業界と日程計画
4. 実問題への対応
5. 提案手法
6. まとめと今後の課題

## 提案手法のアルゴリズム

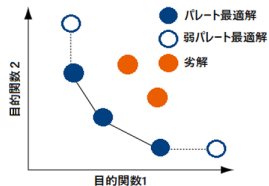
【step1】  
過去の作業履歴からデータを収集

【step2】  
目的関数(時間と費用の最小化)と  
制約条件(作業の順序関係)の設定

【step3】  
ファジィ・ランダム変数の  
パラメータ設定

【step4】  
目的関数の等価確定変換  
(ファイジィ目標・満足基準値の設定)

【step5】  
並列分散GAを用いた  
パレート最適解の導出



【結果】  
工程に対する最適な職人さんと  
必要費用が分かる

## まとめと今後の課題

### まとめ

- 建築現場における不確実で不確定な要素を考慮した  
ファジィ・ランダム多目的日程計画問題のモデル化
- 等価確定変換を行い、GAによる並列分散解法によりモデルを  
解くアルゴリズムの提案

### 今後の課題

- 従来の日程計画問題と比較し提案手法の有効性を示すこと