多目的ファジィランダム工程計画並列分散解法

富山県立大学電子・情報工学科　　　指導教員：奥原浩之
1515028　杉山桃香

1　はじめに

1.1　本研究の背景

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.

この問題の対策として、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 の導入や出生率の向上などが挙げられるが、今回はその対策の一つである「最適な人員・費用追加による生産性の向上」に着目した.

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.

現状、日本の住宅建設にかかる費用は米国や他国に比べると高いといわれており、その原因の約 50 %は生産性の悪さが問題だとされている. 住宅生産の各作業の中にはフレーミングのように、米国に近い生産性をあげている部分もあるが, 全体としては、作業間の連携を含めて、システムが著しく遅れている.

1.2　本研究の目的

労働人口減少による人手不足により「住宅建築・土木工事」でも生産性・作業効率の向上を図っている.　企業さんとのコンタクトを経て現状建築の現場で必要とされていることは各作業の完了に関する情報であることが分かった.

そこで、本研究では現場コミュニケーションアプリなどから得られる作業から次の作業までの. それら所要時間やその時に費やした費用のデータを基に, 時間と費用の面から建設日程計画の最適化を行う.

更に、その所要時間や費用は作業環境などの不確定 (ファジィ性) で不確実 (ランダム性) な要素を含むものである.. よって、本研究の目的は、ファジィ性・ランダム性を考慮した多目的日程計画最適化のモデルを考え、それを GA などの手法を使い並列分散で解くことにより、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である.

2　多目的ファジィランダム日程計画最適化

本研究で考える問題は、ファジィランダム変数を含む多目的最適化問題である.1 つ目の目的は「プロジェクトのクリティカルパスの完了時刻 (作業時間) の最小化」、2 つ目の目的は「プロジェクト短縮に費やす費用の最小化」とする.

あるプロジェクトのクリティカルパスと各作業間の所要時間を図 1 に示す.

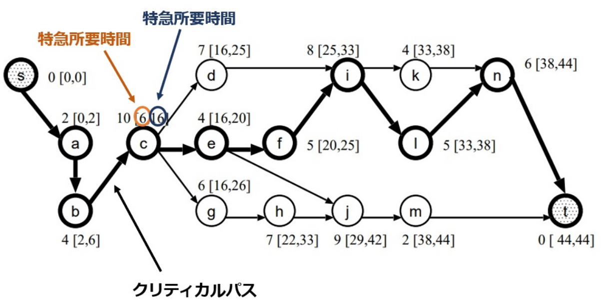

図 1　クリティカルパスと所要時間

このクリティカルパスの最小化を行うことにより、このプロジェクトのボトルネックの解消を図る.

所要時間と追加費用に図のような関係があると仮定する.

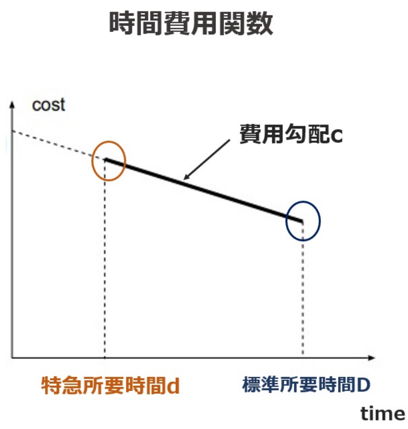

図 2　時間費用関数

また、所要時間と費用が曖昧性・不確実性なものであると考え、図 2 のように変動することを想定する.

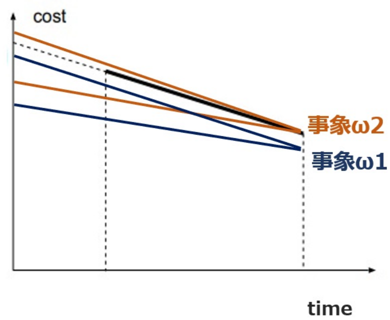

図 3　曖昧性・不確実性

3　提案手法

3.1　定式化

まず、定式化に用いた文字の説明を下記に示す.

t_{ij}: 作業 i から作業 j までの所要時間

x_{ij}: $0-1$ 変数 (枝選択)

c_{ij}: 費用勾配

b_{ij}: 時間費用関数の切片

d_{ij}: 特急所要時間

D_{ij}: 標準所要時間

T_p: 期限 (限界作業日数)

a_{ij}: 特急所要時間のときの費用

A_{ij}: 標準作業時間のときの費用

2 章で述べた問題を定式化したものを下記に示す.

$$\min(\max \sum_{ij} t_{ij} x_{ij}) \tag{1}$$

$$\min \sum_{ij} (-\bar{\tilde{c}}_{ij} t_{ij} + \bar{\tilde{b}}_{ij}) \tag{2}$$

s.t

$$\sum_{ij} x_{ij} - \sum x_{ji} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases} \tag{3}$$

$$x_{ij} \in 0,1,(i,j) \in E$$

$$\bar{\tilde{d}}_{ij} \leqq \ t_{ij} \leqq \bar{\tilde{D}}_{ij} \tag{4}$$

$$t_0 = 0 \quad , \quad t_n = \sum t_{ij} x_{ij} \leq T_p \tag{5}$$

$$\bar{\tilde{c}}_{ij} = \frac{a_{ij} - A_{ij}}{\bar{\tilde{b}}_{ij} - \bar{\tilde{d}}_{ij}} \quad , \quad \bar{\tilde{b}}_{ij} = \frac{a_{ij}\bar{\tilde{D}}_{ij} - A_{ij}\bar{\tilde{d}}_{ij}}{\bar{\tilde{D}}_{ij} - \bar{\tilde{d}}_{ij}} \tag{6}$$

式 (1),(2) は今回の多目的ファジィランダム最適化問題の目的関数を表している. そして、式 (3)～(6) は目的関数を最適化する際の制約条件である.

(3) は x が枝を選ぶ 0-1 変数であることを意味している. 式 (4) は作業から次の作業までの所要時間の範囲の制限である. 式（5）では所要時間 t の初期値と期限 (納期) を設定している. 式 (6) は費用を最小化する目的関数に含まれている費用勾配 c とその切片 b を定義している.

今回は、式 (2) の目的関数である、時間短縮に必要な費用 (費用勾配とその切片) をファジィランダム変数としている. 更に、式 (4) の制約条件に含まれている、作業から次の作業への特急所要時間と標準所要時間は天候などの不確定な要素から影響を受け、所要時間が変動する曖昧性を含んでいると考えられる. よって、特急所要時間と標準作業時間にもファジィランダム変数を適用する.

4 等価確定問題への変換

確率事象ωに依存する確率変数を含む目的関数・制約条件はすべての実現値に対して満たされるとは限らず、本研究で提案するモデルには、目的関数と制約条件にファジィ性とランダム性を持つ変数が含まれているため、このままの式では問題を解くことが出来ない. そこで, このような確率計画問題を考えるとき、確率変数を含まない等価確定問題に変換し解く必要がある.

4.1 ファジィ性

まず、ファジィ要素を含んでいる特急所要時間 d と標準所要時間 D の曖昧性は区間値を設定して表現する.

$$\bar{\tilde{d}}_{ij} = [\bar{d}^L_{ij}, \bar{d}^R_{ij}] = [\bar{d}_{ij} - \alpha_{ij}, \bar{d}_{ij} + \alpha_{ij}]$$

$$\bar{\tilde{D}}_{ij} = [\bar{D}^L_{ij}, \bar{D}^R_{ij}] = [\bar{D}_{ij} - \alpha_{ij}, \bar{D}_{ij} + \alpha_{ij}]$$

また、同様に費用勾配の曖昧性も区間値を設け表現する.

$$\bar{\tilde{c}}_{ij} = [\bar{c}^L_{ij}, \bar{c}^R_{ij}] = [\bar{c}_{ij} - \beta_{ij}, \bar{c}_{ij} + \beta_{ij}]$$

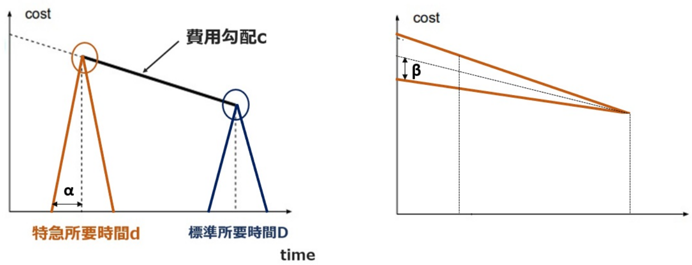

図 4 ファジィと区間値

4.2 ランダム性

次に、ランダム要素も含んでいる特急所要時間 d と標準所要時間 D は可能性で場合分けし、それを制約条件として追加することにする. このとき、ある事象ω 1 とω 2 の生起確率を P(ω 1)、P(ω 2) とする.

$$Pos(P(\omega_1) > P(\omega_2)) = P \tag{7}$$

式 (7) は事象ω 1 の生起確率が事象ω 2 の生起確率よりも高くなるという確率 P を定義している.

更に、この確率 P がある値 R より大きいとき事象ω 1 の場合の所要時間の範囲をとり、確率 P がある値 R よりも小さいとき事象ω 2 の場合の範囲をとるものとする. 例として、事象ω 1 は晴れの日 (作業が出来る天候)、事象ω 2 は雨の日 (作業が出来ない天候) としたとき、確率 P とある値 R は次の式 (8),(9) ように定義する.

$$P = 100 - \frac{\text{作業期間 } T_p \text{の降水確率の和}}{T_p} \tag{8}$$

$$R = 100 - \frac{\text{その地域の 1 年間の降水確率の和}}{365(\text{日})} \tag{9}$$

このように、作業期間とその地域の降水確率から、事象ω 1 の所要時間の範囲をとるか事象ω 2 の範囲をとるか判断し、範囲を変化させる制約をもうける. よって、式 (4) の制約条件は次の式 (10),(11) のように変形される.

$$(P \geqq \ R) \begin{cases} d_{ij}(\omega_1) \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_1) \\ d_{ij}(\omega_1) - \alpha_{ij} \leq t_{ij} \leq d_{ij}(\omega_1) + \alpha_{ij} \\ D_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_1) + \alpha_{ij} \end{cases} \tag{10}$$

$$(P < R) \begin{cases} d_{ij}(\omega_2) \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_2) \\ d_{ij}(\omega_2) - \alpha_{ij} \leq t_{ij} \leq d_{ij}(\omega_2) + \alpha_{ij} \\ D_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_2) + \alpha_{ij} \end{cases} \tag{11}$$

同様に、費用にたいしても制約式を追加する.

$$(P \geq R) \begin{cases} c_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq c_{ij}(\omega_1) \leq c_{ij}(\omega_1) + \beta_{ij} \\ b_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq b_{ij}(\omega_1) \leq b_{ij}(\omega_1) + \beta_{ij} \end{cases} \tag{12}$$

$$(P < R) \begin{cases} c_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq c_{ij}(\omega_2) \leq c_{ij}(\omega_2) + \beta_{ij} \\ b_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq b_{ij}(\omega_2) \leq b_{ij}(\omega_2) + \beta_{ij} \end{cases} \tag{13}$$

最終的に、多目的ファジィランダム建築日程最適化計画問題は次のように表す.

$$\min(\max \sum_{ij} t_{ij} x_{ij}) \tag{14}$$

$$\min \sum_{ij} (-c_{ij}(\omega) t_{ij} + b(\omega)_{ij}) \tag{15}$$

s.t

$$\sum_{ij} x_{ij} - \sum x_{ji} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases} \tag{16}$$

$$x_{ij} \in 0,1,(i,j) \in E$$

$$t_0 = 0 \quad , \quad t_n = \sum t_{ij} x_{ij} \leq T_p \tag{17}$$

$$(P \geq R) \begin{cases} d_{ij}(\omega_1) \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_1) \\ d_{ij}(\omega_1) - \alpha_{ij} \leq t_{ij} \leq d_{ij}(\omega_1) + \alpha_{ij} \\ D_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_1) + \alpha_{ij} \\ c_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq c_{ij}(\omega_1) \leq c_{ij}(\omega_1) + \beta_{ij} \\ b_{ij}(\omega_1) - \beta_{ij} \leq b_{ij}(\omega_1) \leq b_{ij}(\omega_1) + \beta_{ij} \end{cases} \tag{18}$$

$$(P < R) \begin{cases} d_{ij}(\omega_2) \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_2) \\ d_{ij}(\omega_2) - \alpha_{ij} \leq t_{ij} \leq d_{ij}(\omega_2) + \alpha_{ij} \\ D_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq t_{ij} \leq D_{ij}(\omega_2) + \alpha_{ij} \\ c_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq c_{ij}(\omega_2) \leq c_{ij}(\omega_2) + \beta_{ij} \\ b_{ij}(\omega_2) - \beta_{ij} \leq b_{ij}(\omega_2) \leq b_{ij}(\omega_2) + \beta_{ij} \end{cases} \tag{19}$$

5 まとめ

今回は、建築日程計画の効率化を目的とした「多目的ファジィランダム日程最適化計画問題」の定式化を行った.

今後の課題は、今回取り組んだ定式化 (変換) の見直しをおこない、モデルを解くための環境を整える (ラズパイでの並列分散環境) ことである. 同時に、多目的 GA の並列分散方法 (解法) の見直し (島モデル等) を行う必要がある.

参考文献

[1] 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.recruit-ms.co.jp/research/2030/report/trend1.html

[2] 最適化アルゴリズムを評価するベンチマーク関数まとめ https://qiita.com/tomitomi3/items/d4318bf7afbc1c835dda

[3] 実数値 GA のフロンティア

[4] 第 2 章 ネットワーク構造ーつながりを見る http://www.econ.tohoku.ac.jp/ ksuzuki/teaching/ch2.pdf