IoT対応多目的ファジィランダム建設工程計画分散並列解法

平成30年　5月23日

富山県立大学　杉山桃香

発表内容

1.研究の背景・目的

2.課題の確認(前回確認したもの)

3.最適化問題として定式化

4.ファジィランダムの適用と定式化

5.まとめ

1.1研究背景

社会的課題

少子高齢化による労働人口の減少

GDPの減少

↓ 対策として

最適なスケジューリングによる
生産性・作業効率の向上

建設工事における施工計画の最適化

労働人口減少による人手不足により「建設・土木工事」でも

→生産性・作業効率の向上を図っている

経済性
(費用)

迅速性
(作業時間)

確実性
(精度)

⇩

ネットワーク理論を中心としたCPM手法による施工計画を試みる

1.2研究目的

資源の条件

標準作業時間

不確実性

本研究の目的

建設工事の進行状況に合わせ、最適な計画を立て直し

それらを作業員同士で共有できる仕組みの開発

CPM手法を導入する問題

(1)CPM計算自身の問題

- 計算時間の短縮
- アルゴリズムの単純化と簡便法の開発

(2)CPM計算データの問題

- 作業所要時間見積もりの精度
- 費用の勾配算定の精度

(3)計画策定に関する問題点

- 工程実施が、初期計画から外れた場合の対処方法
- 気象などの自然現象が
  工期におよぼす影響の解析

(4)土木工事に科学的管理

計画技術を導入するための

現場の施工体制

CPM手法を導入する問題

(1)CPM計算自身の問題

- 計算時間の短縮
- アルゴリズムの単純化と簡便法の開発

(2)CPM計算データの問題

- 作業所要時間見積もりの精度
- 費用の勾配算定の精度

(3)計画策定に関する問題点

- 工程実施が、初期計画から外れた場合の対処方法
- 気象などの自然現象が工期におよぼす影響の解析

(4)土木工事に科学的管理

計画技術を導入するための

現場の施工体制

２.課題確認

課題

① 住宅建設の工程計画におけるクリティカル・パスの導出

② ファジィランダム変数を建設工程計画のCPMに組み込む

③ NetworkX・GraphXの活用を検討

④ 並列GAの実装

3.最適化問題として定式化

プロジェクト・ネットワークの作成

AoN(activity on node)型プロジェクト・ネットワーク

プロジェクトを構成する作業の順序関係を図で表現したもの

一つの端点 → 一つのアクティビティ(作業)に対応

枝の向きが → アクティビティ(作業)の間の先行関係

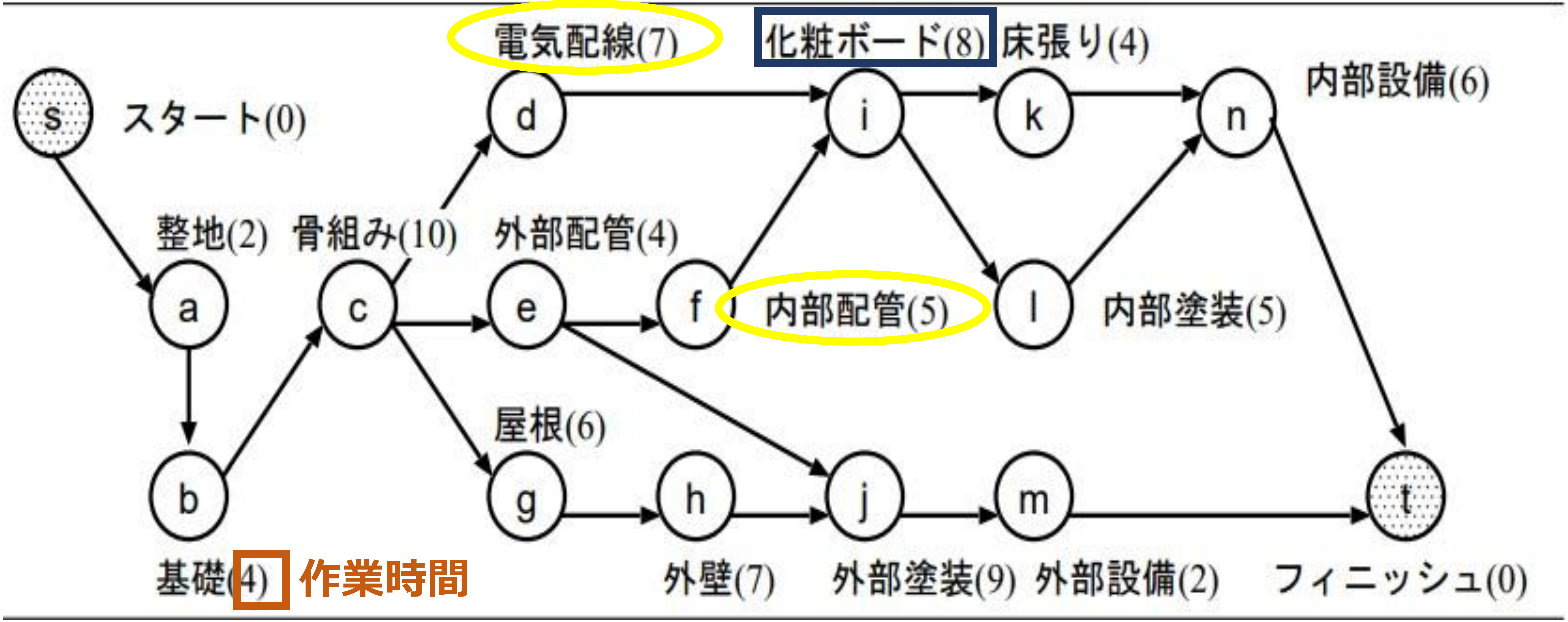
作業1が作業２に先行する関係

住宅建築におけるアクティビティの先行関係と作業時間

工程	先行アクティビティ	作業時間 (日)
a. 整地	—	2
b. 基礎	a	4
c. 骨組み	b	10
d. 電気配線	c	7
e. 外部配管	c	4
f. 内部配管	e	5
g. 屋根	c	6
h. 外壁	g	7
i. 化粧ボード	d, f	8
j. 外部塗装	e, h	9
k. 床張り	i	4
l. 内部塗装	i	5
m. 外部設備	j	2
n. 内部設備	k, l	6

作業iは作業dとfが終了してからでないと着手できない

住宅建設におけるプロジェクト・ネットワーク

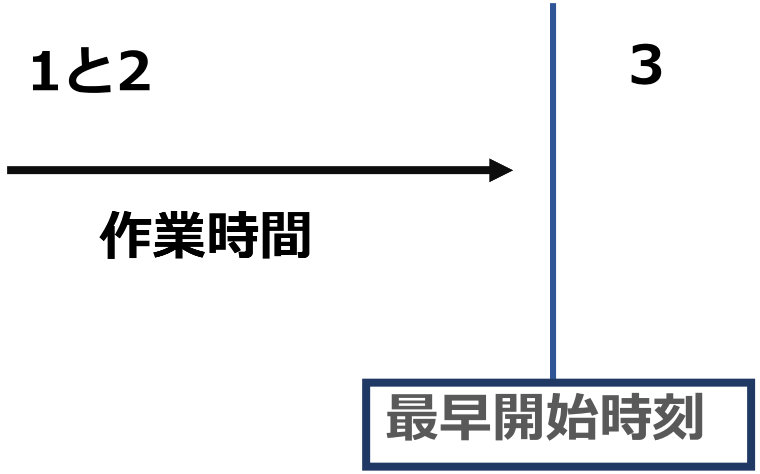


プロジェクトの時間分析

最早開始時刻(earliest start time)

先行するすべての作業が全て遅滞なく遂行された場合に、該当する作業が開始できる時刻

→この時刻より、作業を早く開始することはできない



作業1と作業２が終わって
作業3を開始できる時刻

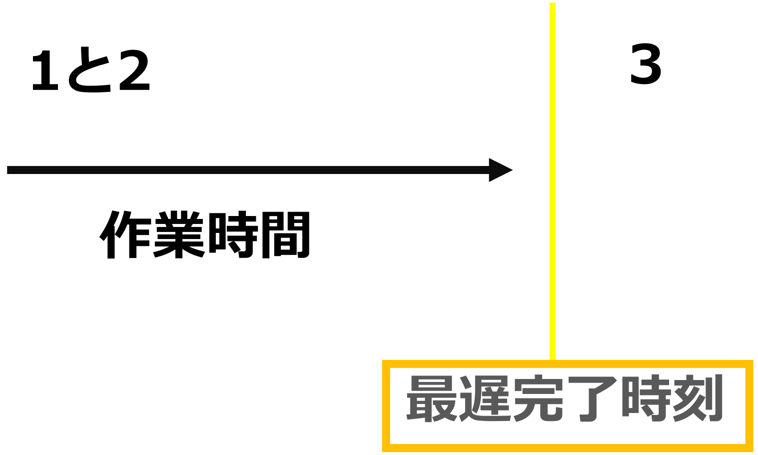
プロジェクトの時間分析

最遅完了時刻(latest finish time)

後続のすべての作業の最早開始時刻を遅らせることなく

該当する作業をもっとも遅く完了することができる時間

→もし、最遅完了時刻を超えてしまうと、プロジェクト全体の完了が遅れる



プロジェクト全体を遅らせない

作業を完了させる最低ライン

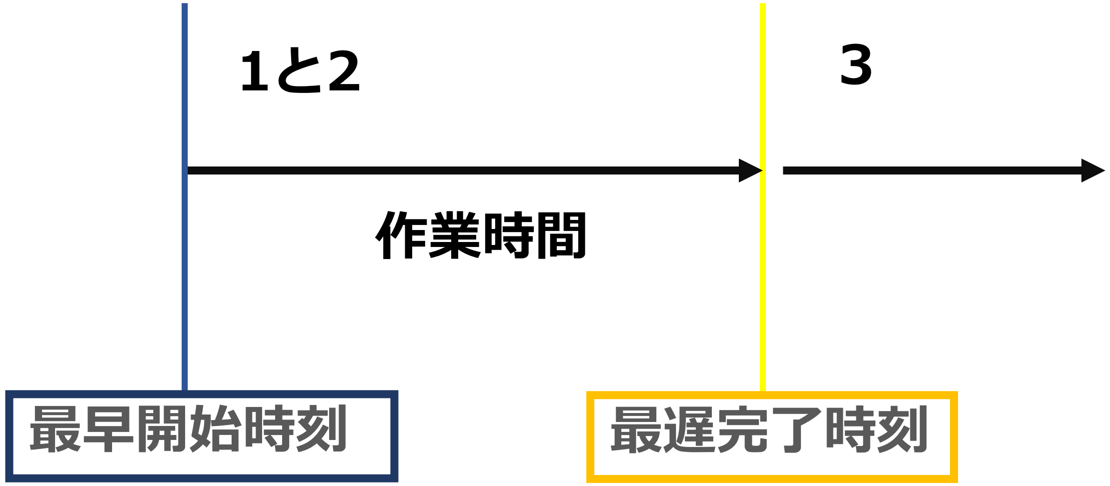
プロジェクトの時間分析

クリティカル・パス(critical path)

最早開始時刻+作業時間＝最遅完了時刻が成り立つ端点を結んでできる

プロジェクト開始から終了までの経路

→クリティカルパス上にある作業が遅延するとその分プロジェクトの終了が遅れる



クリティカルパス上の作業を

重点的に管理する必要がある

計算方法

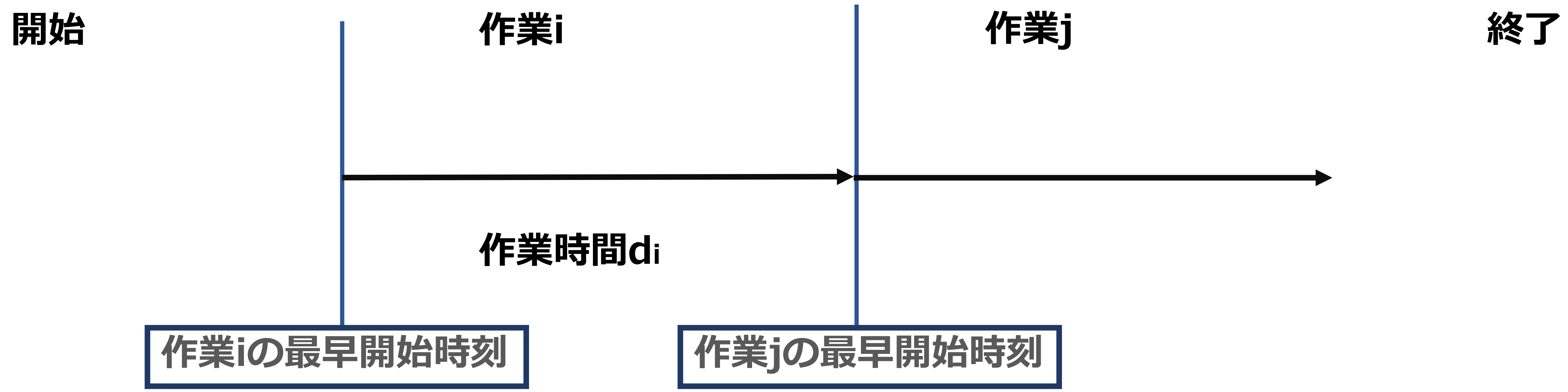
作業j の最早開始時刻Ej

$$E_j = \max_{i \in P(j)} \{E_i + d_i\}$$

$P(j)$　作業jの直接の先行作業の端点の集合

E_i　作業iの最早開始時刻

d_i　作業iの作業時間



計算方法

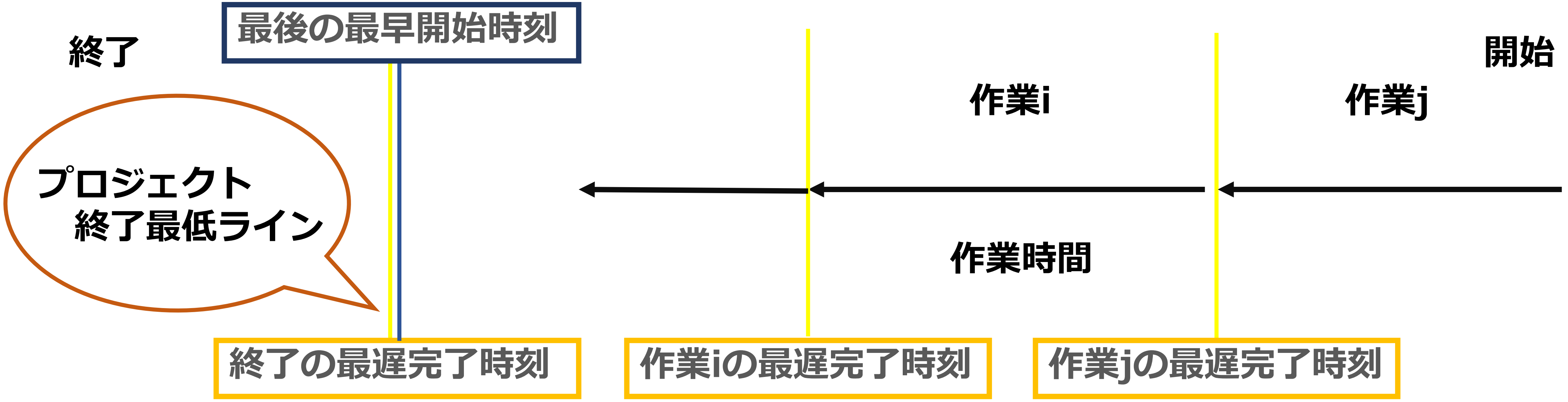
作業j の最遅完了時刻Lj

$$L_j = \min_{i \in S(j)} \{L_i - d_i\}$$

$S(j)$ 作業jの直接の後続作業の端点の集合

L_i 作業iの最遅完了時刻

d_i 作業iの作業時間



計算方法

クリティカル・パスの導出

$$E_j + d_j = L_j$$

E_j　作業jの最早開始時刻

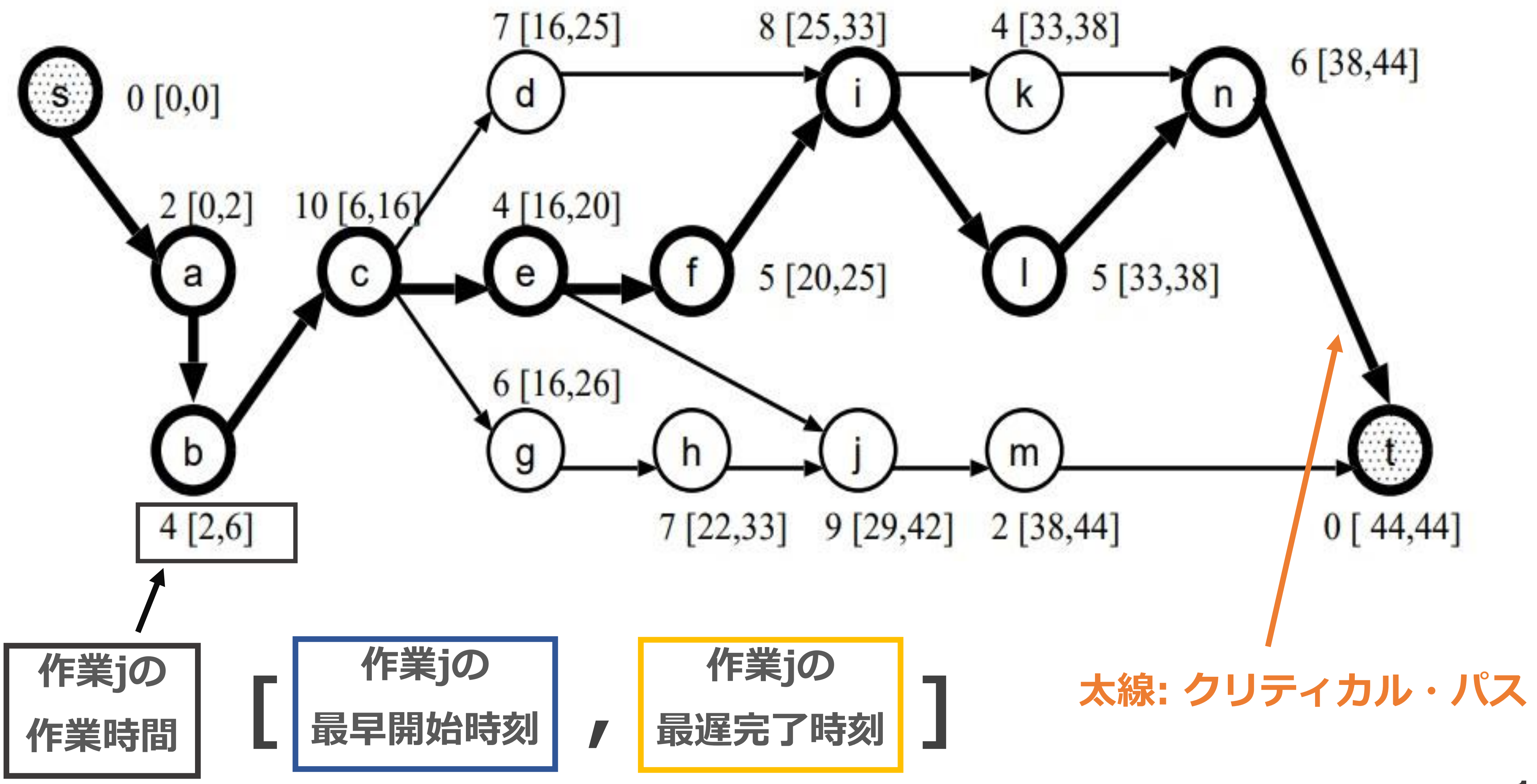
L_j　作業jの最遅完了時刻

d_j　作業jの作業時間

作業jの 最早開始時刻	+	作業jの 作業時間	=	作業jの 最遅完了時刻

<u>この条件を満たす端点を結ぶとクリティカル・パスが得られる</u>

住宅建設におけるクリティカル・パス



クリティカル・パスに資源の導入を考える

時間以外の要素を考慮する

<u>**資源(費用・人)の投入により作業時間を短縮できると考える**</u>

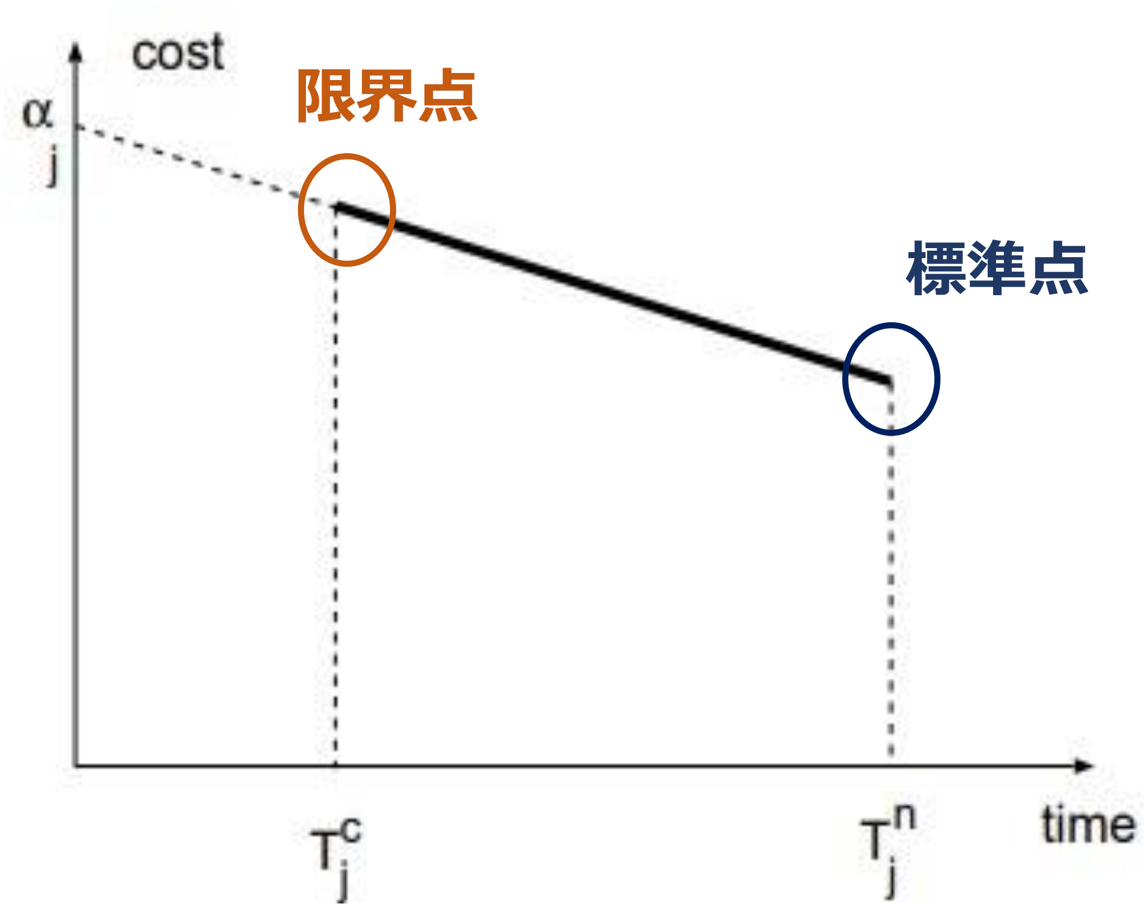
⇩

資源配分と作業時間の間に線形な関係を仮定し

作業への最適な資源配分を決める

→ そこで、すべての作業について<u>**時間費用関数**</u>をつくる

時間費用関数



標準点

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

→そのままの状態(決まっている)

限界点

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

→短縮した状態

線形計画問題として定式化

期間以内にすべての工程を終了するための最小費用を求める

$$
\begin{array}{ll}
\min & \sum_{j \in V} (\alpha_j + \beta_j x_j) \\
\text{s.t.} & y_s = 0, \quad x_s = 0, \quad x_t = 0 \\
 & y_j + x_j - y_k \leq 0, \quad jk \in E \\
 & y_t \leq T \\
 & T_j^c \leq x_j \leq T_j^n, \quad j \in V \\
 & y_j \geq 0, \quad j \in V
\end{array}
$$

決定変数

作業時間 x_j　開始時刻 y_j　($j \in V$)

- V　1回の住宅建設における作業の集合
- T_j^n　作業jごとの標準点
- T_j^c　作業jごとの限界点
- β_j　時間-費用曲線の傾き
- α_j　時間-費用曲線の切片（費用)
- E　作業の先行関係を表す枝の集合
- s　開始の端点
- t　終了の端点
- T　全体の所要時間

+αを考える

ここまでのCPMは

●目的関数が1つだけしかない(費用の最小化)

→労働時間・作業期間の最小化を考慮した多目的な計画問題にする

●作業時間がすべて確定的な場合の問題としていた

現実的に、作業時間を事前に確定することは困難

→不確実・不確定な要素を考える

目的関数の追加

$$\min \sum_{j=1}^{14} L_j$$

L_j 必要労働時間

j 各作業

作業員一人あたりの必要労働時間の最小化

→労働者が労働日に、賃金に相当するだけの生産を上げるのに必要とされる時間のことをいう。

制約式の追加

$$\sum_{j=1}^{14} L_j \leq 960$$

1日の労働時間の上限を8時間とする

1ヶ月の労働時間の上限は8(時間)×120(日)＝960(時間)

多目的計画問題へ

<目的関数1:費用>

$$
\begin{array}{ll}
\min & \sum_{j \in V} (\alpha_j + \beta_j x_j) \\
\text{s.t.} & y_s = 0, \quad x_s = 0, \quad x_t = 0 \\
& y_j + x_j - y_k \leq 0, \quad jk \in E \\
& y_t \leq T \\
& T_j^c \leq x_j \leq T_j^n, \quad j \in V \\
& y_j \geq 0, \quad j \in V
\end{array}
$$

<目的関数2：労働時間>

$$\min \sum_{j=1}^{14} L_j$$

$$\sum_{j=1}^{14} L_j \leq 960$$

4.ファジィランダムの適用

作業時間が確定的でないとき

不確実的要素により作業時間に影響がある場合を考える

確率的要素

天気 or 作業員の熟練度

⇩

作業員の熟練度の不確実性を<u>ファジィランダム変数係数</u>で表現

LR型ファジィランダム変数係数diの説明

<u>ファジィ性+ランダム性</u>の両方を表現することができる

ファジィランダム変数di(ω)とは事象ωが生起したとき

実現値が以下のメンバシップ関数 $\mu_{\tilde{d}_i(\omega)}(s)$ 定義される

$$\mu_{\tilde{d}_i(\omega)}(s) = \begin{cases} L\left(\frac{\bar{b}_i(\omega)-s}{\alpha_i}\right), & s \leq \bar{b}_i(\omega) \\ R\left(\frac{s-\bar{b}_i(\omega)}{\beta_i}\right), & s > \bar{b}_i(\omega) \end{cases}$$

$\bar{b}_i(\omega)$ 確率変数 $\bar{b}_i, i = 1, \cdots, m$

S 中心値(平均値)

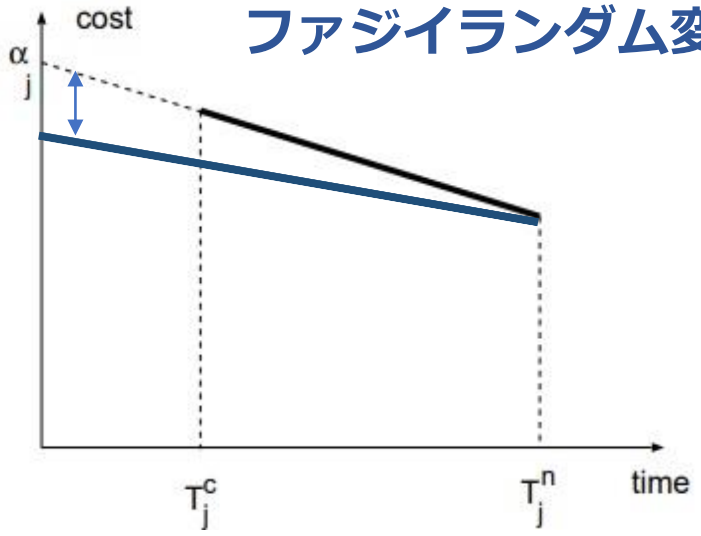
α_i, β_i 左右の広がりのパラメータ

制約式の中にファジイランダム変数係数を組み込む

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \textstyle\sum_{j\in V}\boxed{(\alpha_j + \beta_j} x_j) \\
\text{s.t.} \quad & y_s = 0, \quad x_s = 0, \quad x_t = 0 \\
& y_j + x_j - y_k \le 0, \quad jk \in E \\
& y_t \le T \\
& T_j^c \le x_j \le T_j^n, \quad j \in V \\
& y_j \ge 0, \quad j \in V
\end{aligned}
$$

$$\min \quad \textstyle\sum_{j\in V}(\ \boxed{\boldsymbol{a}_i}\ x_j)$$

ファジイランダム変数di



式の変換

ファジイ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

↓

確率計画問題→多目的計画問題にするため

意思決定者が可能性測度に対する**可能性レベルγ(0 < γ <1)**を設定

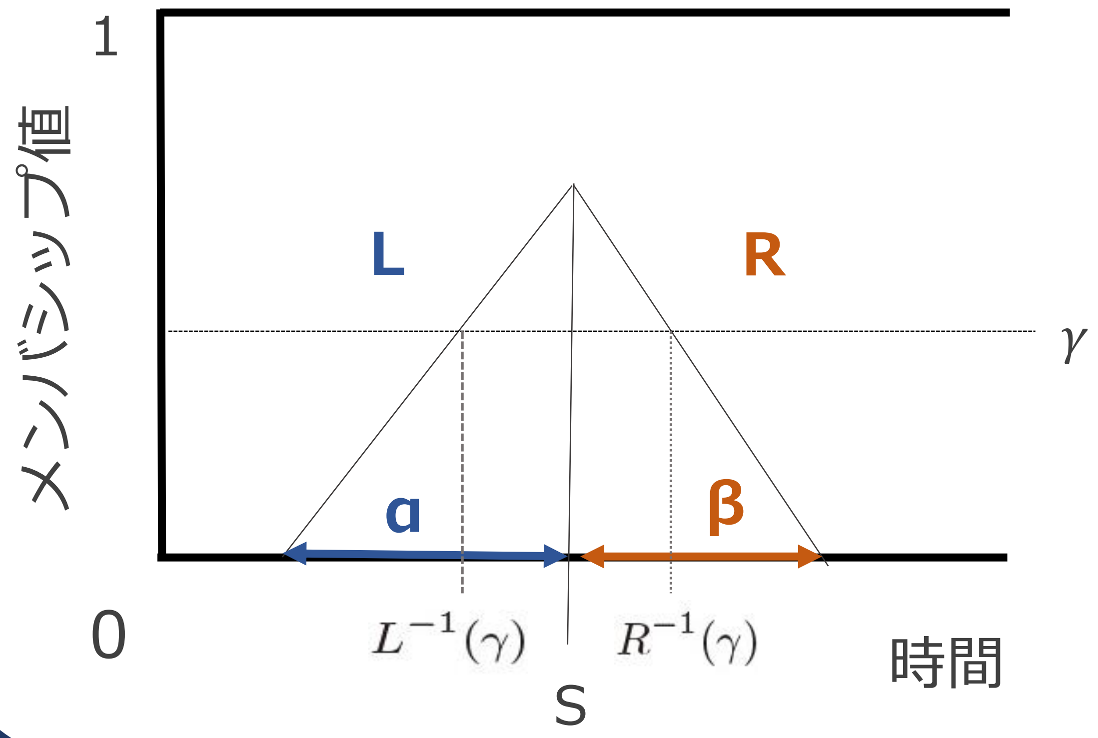
$$\min \quad \sum_{j\in V} a_i x_j$$

$$\text{s.t.} \quad \mathrm{Pos}(a_i x_j = \tilde{\bar{d}}_i(\omega)) \geq \gamma, i = 1, \cdots, m$$

LRファジィランダムの性質から式を等価変換

(2種類の不等式制約として区間値を与える)

$$\bar{b}_i(\omega) - L^{-1}(\gamma)\alpha_i \leq \ a_i \mathbf{x_j} \ \leq \bar{b}_i(\omega) + R^{-1}(\gamma)\beta_i$$



ファジィ性を区間値で表す

ランダム性を可能性測度で表す

多目的ファジィランダム計画問題へ定式化

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{j \in V} (\alpha_j + \beta_j x_j) \\ \text{s.t.} \quad & y_s = 0, \quad x_s = 0, \quad x_t = 0 \\ & y_j + x_j - y_k \leq 0, \quad jk \in E \\ & y_t \leq T \\ & T_j^c \leq x_j \leq T_j^n, \quad j \in V \\ & y_j \geq 0, \quad j \in V \end{aligned}$$

$$\min \sum_{j=1}^{14} L_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^{14} L_j x_j \leq 960$$

制約式として追加

$$\boxed{\bar{b}_i(\omega) - L^{-1}(\gamma)\alpha_i \leq \boldsymbol{a}_i \mathbf{x_j} \leq \bar{b}_i(\omega) + R^{-1}(\gamma)\beta_i}$$

多目的ファジィランダム計画問題の最適解

多目的の最適化の場合、
2つの目的関数の間に一方が良くなれば他方が悪くなる

トレードオフ関係がある

⇩

最適解が1つではない

多目的計画問題をどのように解くかを検討

5.まとめ

✓住宅建設の工程計画に対して、クリティカル・パスの計算式を与えることができた

✓多目的ファジィランダム計画問題としての定式化をおこなった

課題

✓多目的計画問題をどのように解くかを検討

✓並列GAの実装