

Streamlitを活用して 博士過程での研究を効率化した話

Streamlit Meetup Tokyo 2024
2024/12/20

高須賀 将秀

自己紹介

たかすか

まさひで

高須賀 将秀

博士（情報学）（2023/3）

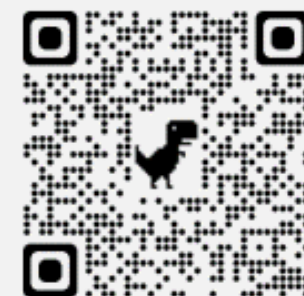
研究分野：組合せ最適化，数理最適化，オペレーションズ・リサーチ（OR），グラフ理論

所属：NTT西日本 デジタル改革推進部（2021/8～），
法政大学 デザイン工学部 兼任講師（2024/4～），個人事業（Udemy講師等）（2024/6～）

業務：データドリブン経営を牽引する立場

- ・データ活用基盤のシステム開発
- ・データ分析手法の研究
- ・データ分析活用事例の提案
- ・デジタル人材育成

資格：クラウド資格（AWS 15/15[👑]，MCP 39/49，GCP 11/11[👑]），
Microsoft Top Partner Engineer Award（2024），
AWS All Certifications Engineers（2024）

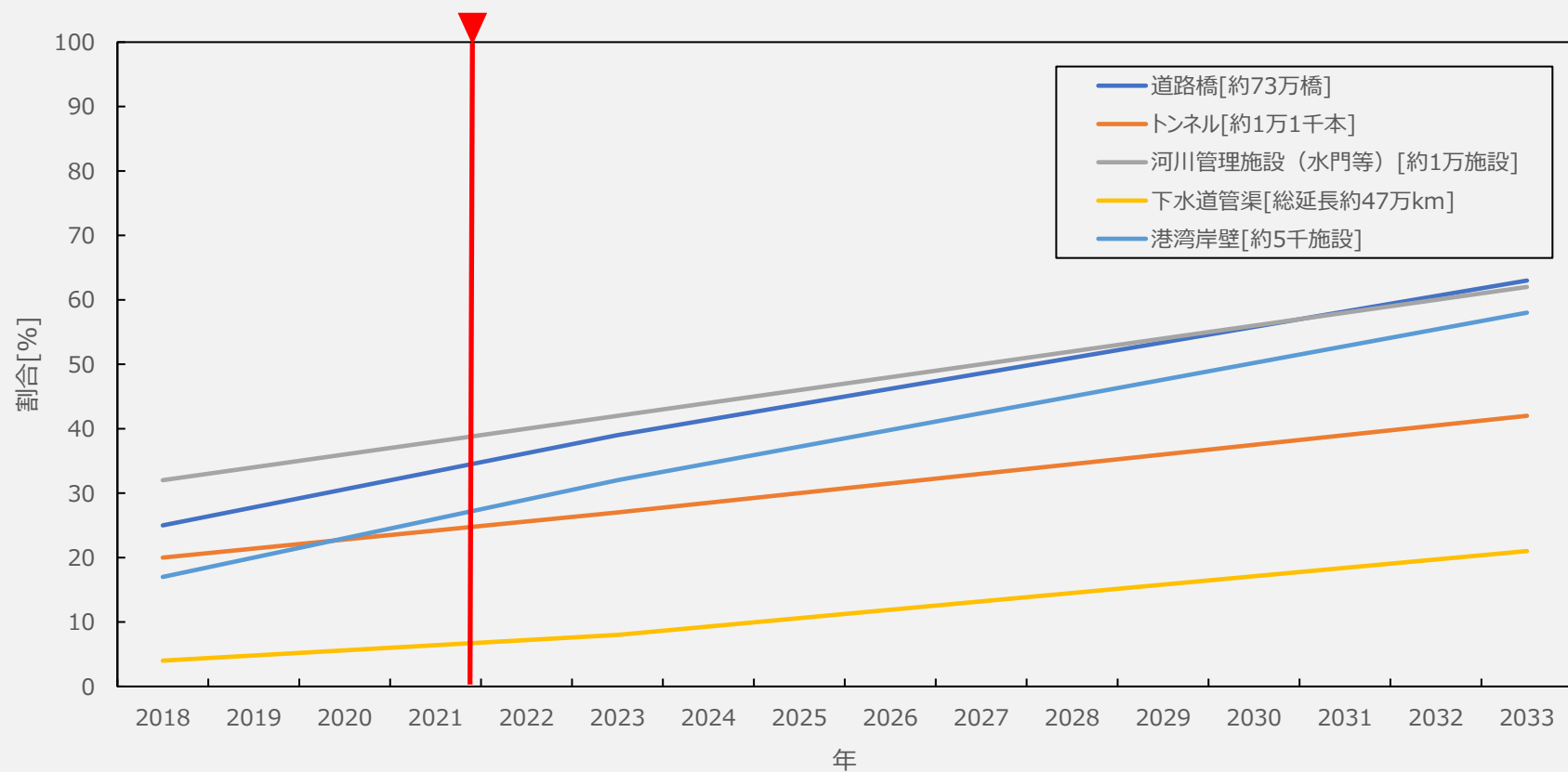


本曰お話すること

- 数理最適化を用いたより高度なデータ分析事例について紹介する
- その中で実施する数値実験やその成果を現場の方に提示する際のPoCとしてStreamlitを活用した話について紹介する

背景

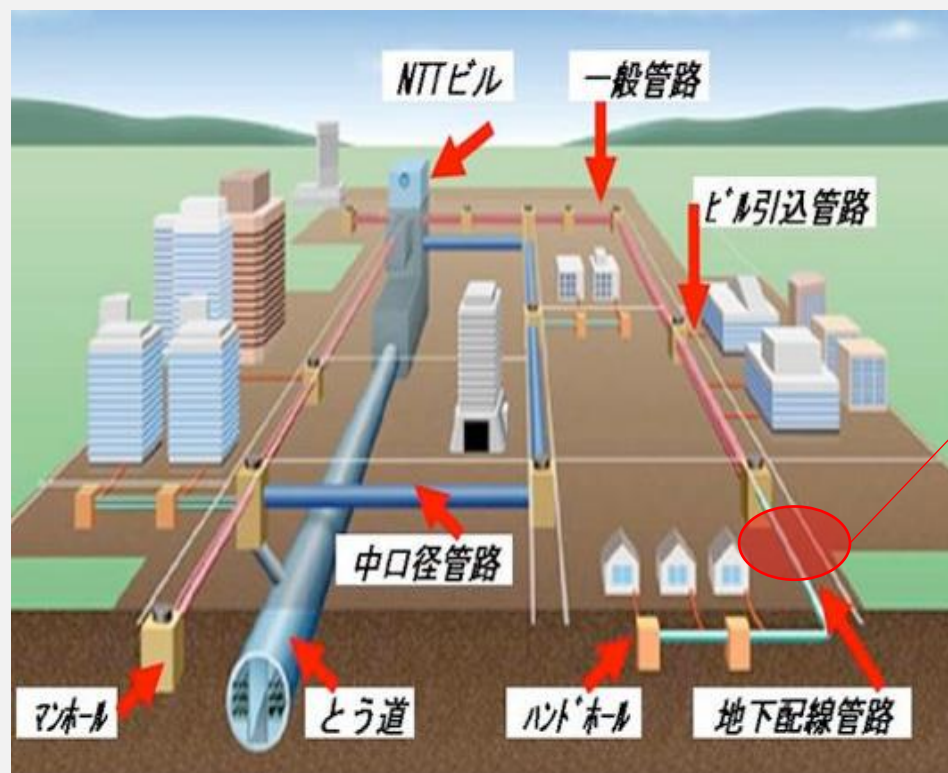
- 近年道路等のインフラの老朽化が深刻な社会問題となっている
- インフラを補修する工事等の件数が増加している



建設後50年以上経過する社会資本の割合 (国土交通省)

背景

- インフラの補修工事には各設備に関する知識を有する監督者が必要である
- 電話等の通信設備への影響を防ぐためにNTTの社員が立会を行っている



NTT管路系設備

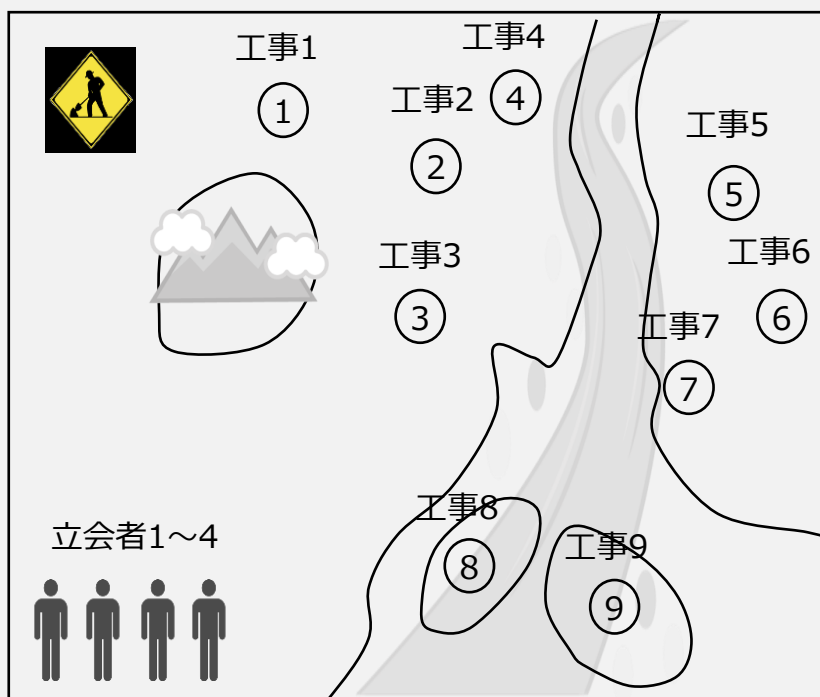


道路の工事（掘削）の様子

背景

- 与えられた全ての工事に対して立会者の割当を決定する問題である
- 移動距離や立会者のスキル等の様々な条件を考慮し割当を決定している
- 条件は万人共通の条件もあれば手配者の思考や嗜好によって異なるものもある

入力



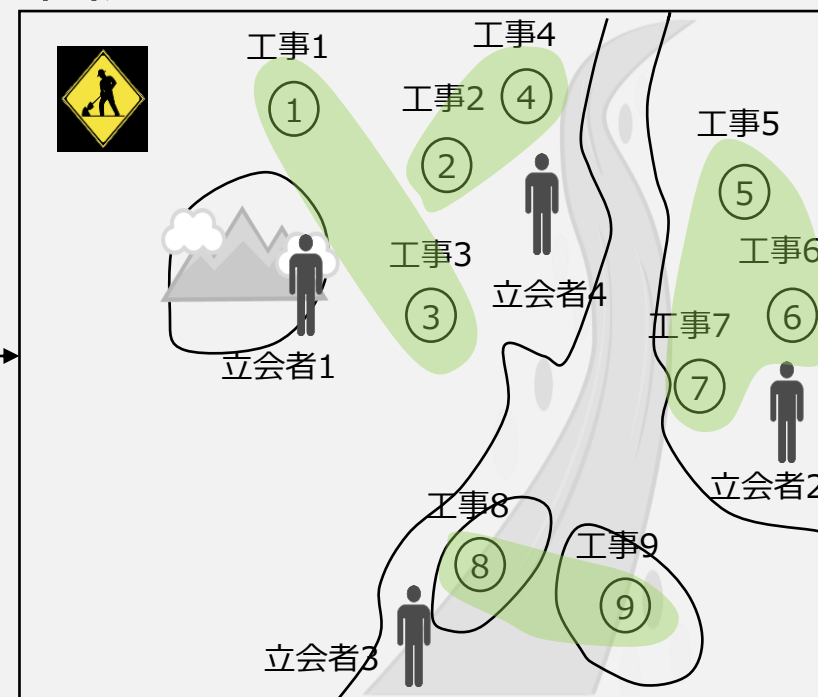
手配者



手配者の思考/嗜好
||
数理モデル

ブラックボックス化

出力



背景 補足

- 事前準備
 - 国から道路等の舗装依頼に関する工事情報が1回100件近くFAXやメールにて送信される。
 - 立会者の人員リソース状況から60件より多くの工事全てに立ち会うことは困難であるため、真に立会が必要な工事を精査し、60件以下、できれば40件近くまで工事数を削減する。
 - 地図を印刷した紙の上に透明なアクリル板を載せ、水性ペンを用いて住所情報を元に立会すべき工事を地図上に点をつけて記す。
- 工事手配の決定
 - 地図上に記された点が1つから3つになるようにグループ分けを行う。
 - 分けられたグループをいずれの立会者が担当するかを決定する。
 - 工事に関する知識やスキル不足などの理由から、あるグループの工事に対して適当な(すなわちそのグループの全ての工事を担当可能な)立会者がいない場合、グループ分けを再度やり直す。
- 事後作業
 - 工事の手配結果を描写した地図を工事立会者に見てもらい、各立会者は担当工事を記憶し、工事現場に向かう。
 - 工事の手配結果を描写した地図の写真を撮り、データ化する。次の工事手配業務を行うために、アクリル板上に書かれた情報を消去する。

投影のみ

やったこと

- ① 実用的な数理モデルの構築
- ② 解の評価尺度の提案
- ③ 組合せ爆発に対する実用的な解の探索手法の提案

数理モデルの構築の際の現場ヒアリングで
Streamlitを利用

ここでの計算実験を行う際にStreamlitを利用

料理で例えると・・・

①実用的な数理モデルの構築



イメージしている料理の具体化

- ・鍋？揚げ物？
- ・辛いもの？甘いもの？
- ・具材
- ・調理道具

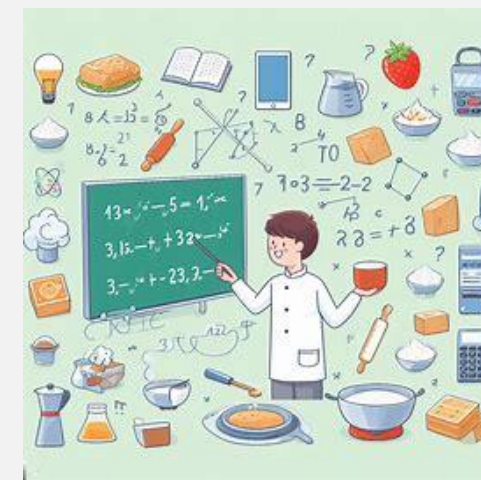
②解の評価尺度の提案



どの料理がイメージしているものに近いか
という尺度

- ・味
- ・温かさ
- ・具材の大きさ

③組合せ爆発に対する実用的な解の探索手法の提案

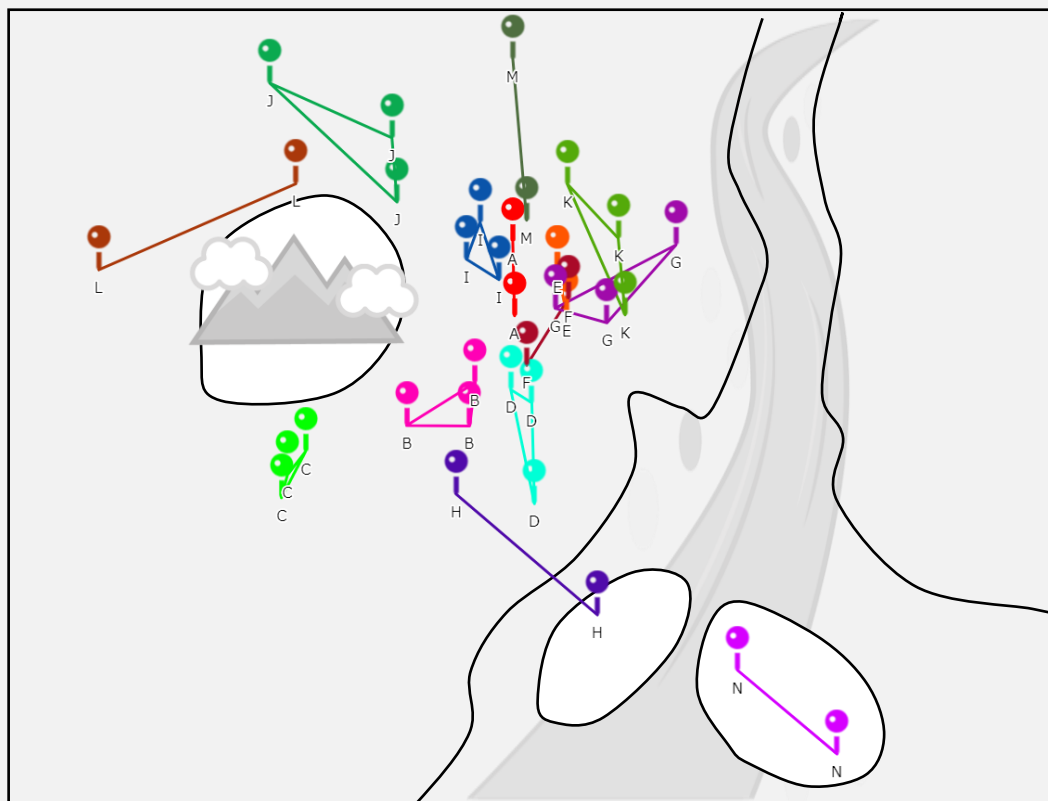


あらゆる組合せの中から最適な調理
手順を見つけ出すやり方を考える

- ・具材，調味料の配分
- ・加熱時間
- ・調理の順序

①現場の手配者による工事立会者の手配

- 目的関数や制約条件は曖昧であり手配者によって手配結果が異なる
- 良い手配結果と悪い手配結果はベテランの手配者には判定可能である
- スキルの高い手配者の思考を再現可能な数理モデルを構築する

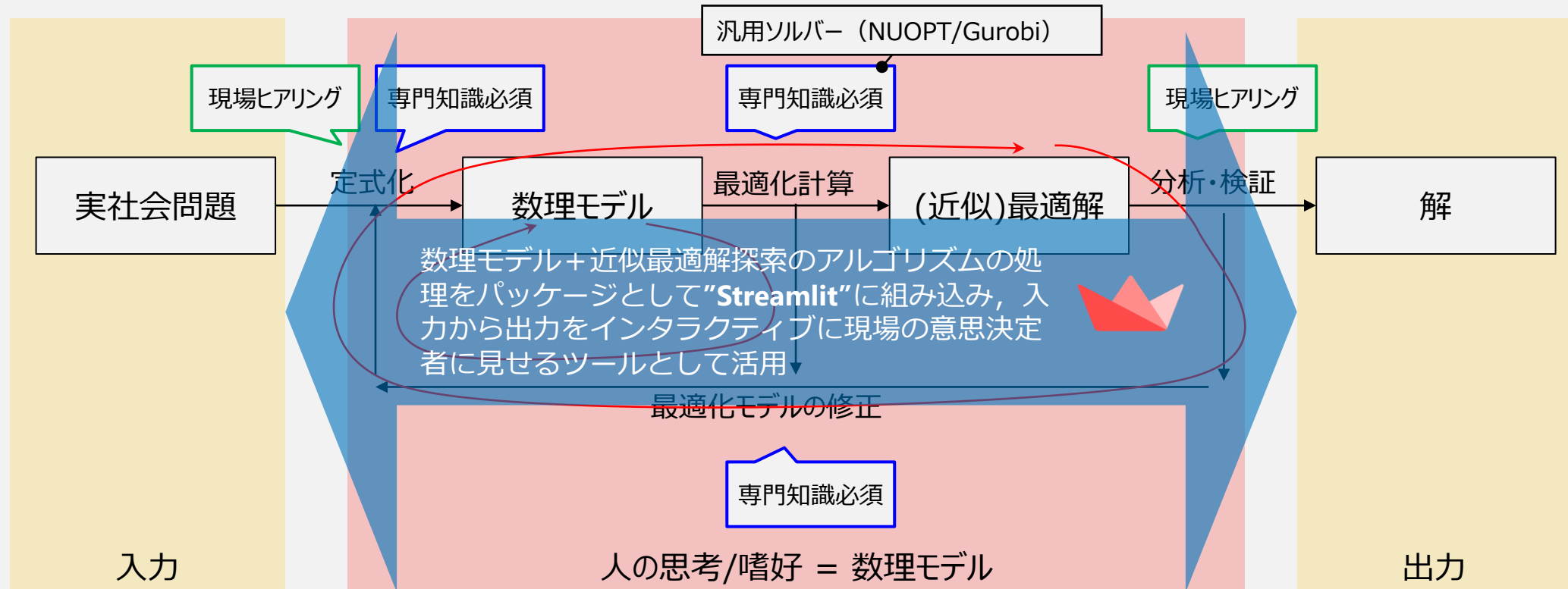


Staff	T1	T2	T3	合計移動時間	合計割当ペナルティ	合計難易度
A	15	16	-	900	7	5
B	1	2	3	638	13	8
C	4	5	6	518	16	8
D	7	8	9	886	12	8
E	10	11	12	564	17	8
F	13	14	-	586	12	4
G	17	18	19	825	18	8
H	20	21	-	1098	9	5
I	22	23	24	604	12	8
J	25	26	27	1115	13	7
K	28	29	30	916	13	7
L	31	32	-	1276	9	5
M	33	34	-	796	8	5
N	35	36	-	702	4	5
総				11424	163	91

過去の現場の手配者が実際に割り当てた結果

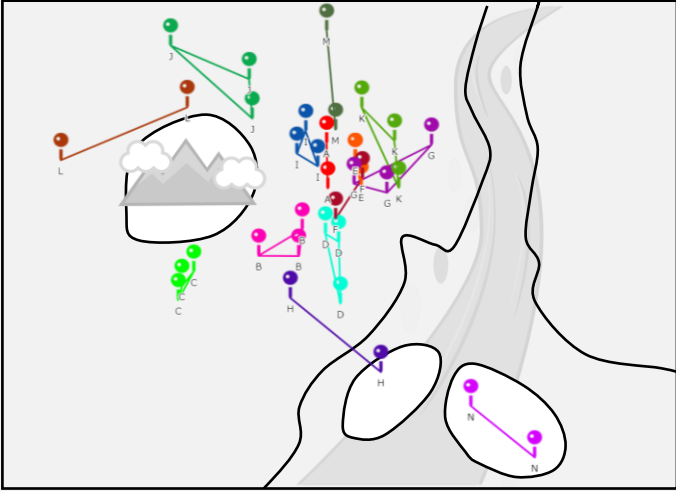
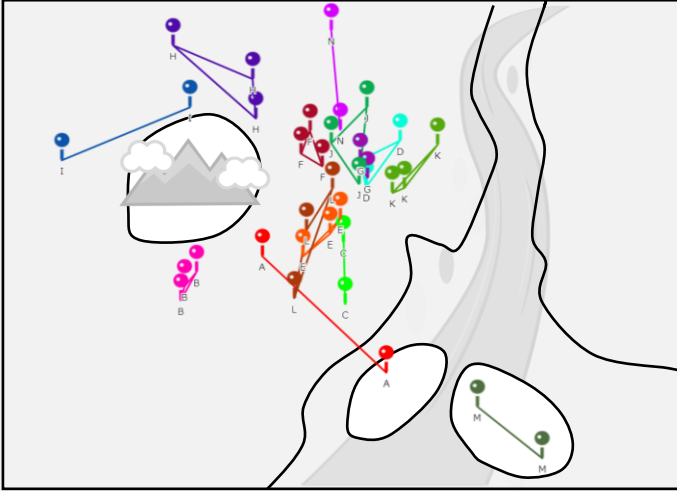
① 工事立会者手配問題解決に向けた進め方

- 数理モデル化には現場の意思決定者と数理モデルを構築可能な専門家の両者の協力が必要である
- 一般的に1回のヒアリングで求められる解に到達することは難しい
- 現場ヒアリングと数理モデルの修正を繰り返し求められる解に近づける



①数理モデル構築の結果まとめ

- 高度な技能を有している手配者により意思決定が行われている工事立会者手配業務に対し実用的な手配結果を算出可能な数理モデルを構築した

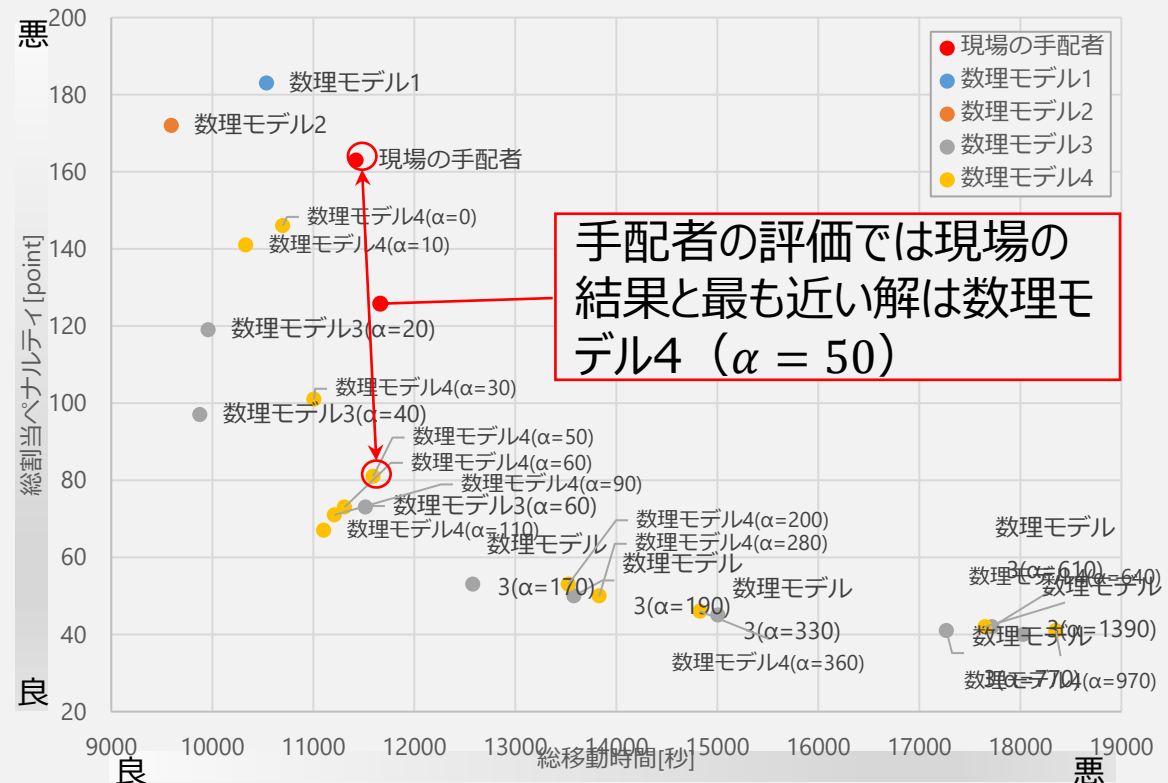
過去の工事立会者手配業務			デジタルデータ活用による工事立会者手配業務	
長期効果	人件費	年間1億（関東エリア：年間6万件）	年間0.1億（関東エリア：年間6万件）（想定）	
	品質	年間工事事故5件	年間工事事故0件（想定）	
短期効果	総移動時間	11,424 s（3.2 h）	11,593 s（3.2 h）※1	
	総割当ペナルティ	163 pt	81 pt※1	
付随効果	手配時間	3時間2回/1日	5分×2回/1日	
	やり方	アナログ（手書き）	デジタル	
	手配結果			

※1：数理モデル4で総移動時間を重視すると、総合移動時間10,697 s、総品質146 ptとなる。

②提案した数理モデルから得られる解の評価

- 数理モデル1から数理モデル4に改善するにあたり，各数理モデルから得られる解の実用性について主観評価を行った
- 数理モデルにより算出される解と手配者が手作業で作成した手配結果との相違度が減少することについて客観評価を行う

項番	モデル	総移動時間 [秒]	総割当ペナルティ [point]
1	現場の手配者	11424	163
2	数理モデル1	10537	183
3	数理モデル2	9595	172
4	数理モデル3($\alpha=20$)	9960	119
5	数理モデル3($\alpha=40$)	9877	97
6	数理モデル3($\alpha=60$)	11516	73
7	数理モデル3($\alpha=170$)	12580	53
8	数理モデル3($\alpha=190$)	13580	50
9	数理モデル3($\alpha=330$)	15007	45
10	数理モデル3($\alpha=610$)	17720	42
11	数理モデル3($\alpha=770$)	17268	41
12	数理モデル3($\alpha=1390$)	18029	40
13	数理モデル4($\alpha=0$)	10697	146
14	数理モデル4($\alpha=10$)	10332	141
15	数理モデル4($\alpha=30$)	11006	101
16	数理モデル4($\alpha=50$)	11593	81
17	数理モデル4($\alpha=60$)	11309	73
18	数理モデル4($\alpha=90$)	11210	71
19	数理モデル4($\alpha=110$)	11103	67
20	数理モデル4($\alpha=200$)	13526	53
21	数理モデル4($\alpha=280$)	13831	50
22	数理モデル4($\alpha=360$)	14829	46
23	数理モデル4($\alpha=640$)	17652	42
24	数理モデル4($\alpha=970$)	18352	41



②実データへの適用結果

- 24 個の手配結果を相違度の尺度を用いて比較する
- 行列内の数値は【観点1】の $\hat{H}_A$ と【観点2】の H_B の重み付き和

$$\hat{H}_C = (1 - \beta)\hat{H}_A + \beta\hat{H}_B$$
- 現場の手配者と最も相違度が低いのは数理モデル4 ($\alpha = 50$)である
- 手配者の主観評価とも合致する結果となる

項番	モデル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	現場の手配者	0	66.7	66.7	73.5	72.3	66.4	76.8	74.8	79.2	81.1	83.6	82	69.9	65.9	74.3	65	66.7	66.2	73.5	78.4	82.7	77	83.6	83.6
2	数理モデル1	66.7	0	64.7	68.3	67.2	67.6	75.6	82.4	79.2	82.4	81.2	82.8	66.4	66.9	74	70.4	72	67.2	76.7	83.5	85.2	75.8	81.2	82.4
3	数理モデル2	66.7	64.7	0	48	47.4	49.1	73.3	70.2	76.9	75.3	81.3	80.1	55.3	47.4	63.6	64.5	61.7	58.9	66.8	74.8	75.3	75.1	81.3	81.3
4	数理モデル3($\alpha=20$)	73.5	68.3	48	0	53.4	53.1	72.6	68.6	75.7	74.1	84.1	81.3	53.8	52	62.1	57	60.5	59.4	61.2	78.8	75.3	73.1	82.5	82.9
5	数理モデル3($\alpha=40$)	72.3	67.2	47.4	53.4	0	37.4	70.6	60.3	69.4	60.3	75.4	74.2	59.6	62.5	50.2	58.5	51.8	42.3	53.3	67.8	65.7	66	77	75.8
6	数理モデル3($\alpha=60$)	66.4	67.6	49.1	53.1	37.4	0	59.9	43.3	56.7	53.9	65.5	59.9	61.7	61.4	55.4	57.7	48	37.6	57	53.9	58.3	57.3	65.5	65.5
7	数理モデル3($\alpha=170$)	76.8	75.6	73.3	72.6	70.6	59.9	0	45.7	45.2	67.9	64	57.2	74	79.3	73.8	73.8	60.3	67	78.9	60.3	69.8	49.1	62.4	64
8	数理モデル3($\alpha=190$)	74.8	82.4	70.2	68.6	60.3	43.3	45.7	0	38.6	52	58	54.1	74.4	76.9	65.3	71.3	63.9	56.7	64.6	41.7	47.7	42	59.2	63.6
9	数理モデル3($\alpha=330$)	79.2	79.2	76.9	75.7	69.4	56.7	45.2	38.6	0	43	25.9	27.5	80	81.3	70.6	70.6	63.9	60.4	66.7	59.2	51.2	19.7	33	33
10	数理モデル3($\alpha=610$)	81.1	82.4	75.3	74.1	60.3	53.9	67.9	52	43	0	45.8	45.8	77.6	77.3	65.1	67.1	62.4	56	57.2	54.1	56.4	41.5	51.3	44.2
11	数理モデル3($\alpha=770$)	83.6	81.2	81.3	84.1	75.4	65.5	64	58	25.9	45.8	0	15.9	86	84.5	73.8	75	68.3	70.3	75.4	69.2	61.6	30.9	13.2	13.2
12	数理モデル3($\alpha=1390$)	82	82.8	80.1	81.3	74.2	59.9	57.2	54.1	27.5	45.8	15.9	0	83.2	83.3	77	75	61.6	64.8	75.4	62.4	57.6	32.5	17.5	17.5
13	数理モデル4($\alpha=0$)	69.9	66.4	55.3	53.8	59.6	61.7	74	74.4	80	77.6	86	83.2	0	48.7	61.4	58.5	57.3	59.4	58	74.1	73.7	77.8	86	84.8
14	数理モデル4($\alpha=10$)	65.9	66.9	47.4	52	62.5	61.4	79.3	76.9	81.3	77.3	84.5	83.3	48.7	0	58.6	60.5	59.8	57.5	66.8	75.3	79.2	77.9	84.5	83.3
15	数理モデル4($\alpha=30$)	74.3	74	63.6	62.1	50.2	55.4	73.8	65.3	70.6	65.1	73.8	77	61.4	58.6	0	53.9	51.9	42	66.1	57.7	64.9	71.6	76.6	75.4
16	数理モデル4($\alpha=50$)	65	70.4	64.5	57	58.5	57.7	73.8	71.3	70.6	67.1	75	75	58.5	60.5	53.9	0	45.2	51.5	56.7	68.3	69	68.4	77.8	77.8
17	数理モデル4($\alpha=60$)	66.7	72	61.7	60.5	51.8	48	60.3	63.9	63.9	62.4	68.3	61.6	57.3	59.8	51.9	45.2	0	36.8	60.7	64.3	63.4	62.1	68.3	68.3
18	数理モデル4($\alpha=90$)	66.2	67.2	58.9	59.4	42.3	37.6	67	56.7	60.4	56	70.3	64.8	59.4	57.5	42	51.5	36.8	0	63.7	43.6	63.4	63.7	70.3	69.2
19	数理モデル4($\alpha=110$)	73.5	76.7	66.8	61.2	53.3	57	78.9	64.6	66.7	57.2	75.4	75.4	58	66.8	66.1	56.7	60.7	63.7	0	59.2	47.4	64	79.4	78.2
20	数理モデル4($\alpha=200$)	78.4	83.5	74.8	78.8	67.8	53.9	60.3	41.7	59.2	54.1	69.2	62.4	74.1	75.3	57.7	68.3	64.3	43.6	59.2	0	34.7	63.7	70.3	69.2
21	数理モデル4($\alpha=280$)	82.7	85.2	75.3	75.3	65.7	58.3	69.8	47.7	51.2	56.4	61.6	57.6	73.7	79.2	64.9	69	63.4	63.4	47.4	34.7	0	58.9	67.1	67.1
22	数理モデル4($\alpha=360$)	77	75.8	75.1	73.1	66	57.3	49.1	42	19.7	41.5	30.9	32.5	77.8	77.9	71.6	68.4	62.1	63.7	64	63.7	58.9	0	29.2	36.4
23	数理モデル4($\alpha=640$)	83.6	81.2	81.3	82.5	77	65.5	62.4	59.2	33	51.3	13.2	17.5	86	84.5	76.6	77.8	68.3	70.3	79.4	70.3	67.1	29.2	0	7.16
24	数理モデル4($\alpha=970$)	83.6	82.4	81.3	82.9	75.8	65.5	64	63.6	33	44.2	13.2	17.5	84.8	83.3	75.4	77.8	68.3	69.2	78.2	69.2	67.1	36.4	7.16	0

Differ



Similar

③工事立会者手配問題に対する種々の定式化に基づく求解法

- 工事立会者手配問題に対して、以下4つの定式化に基づく求解法の比較を行う
 1. 非線形の定式化 (TOM59Model)
 2. 集合被覆アプローチによる定式化 (Enum)
 3. 制約生成法に基づく定式化 (CG x -(y))
 4. 実行可能なルート候補を削減した集合被覆アプローチによる定式化 (Enum+)

③非線形の定式化（TOM59Model）

- 非線形の定式化（TOM59Model）は以下である
- 工事立会者手配問題は，訪問すべき点集合 J と点 $k, l \in J$ 間の移動コスト d_{kl} が与えられたとき，各立会者に割り当てられた全ての工事を1度ずつ訪問する巡回路の中で，総移動コストが最小のものを求める問題である

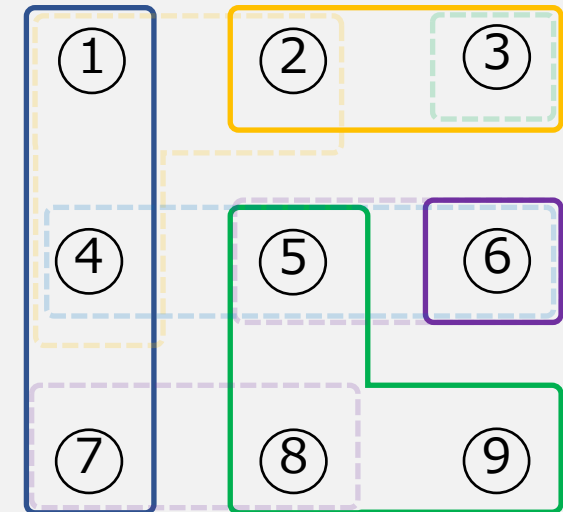
$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{s \in S} D_s + \alpha \sum_{s \in S} Q_s \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{k \in J \cup J'} x_{skt} = 1 \quad (\forall s \in S, \forall t \in T) \\
 & \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} x_{skt} = 1 \quad (\forall k \in J) \\
 & \sum_{t \in T} \sum_{k \in J} w_k x_{skt} < 9 \quad (\forall s \in S) \\
 & D_s = \sum_{t \in T} \sum_{k, l \in J \cup J'} d_{kl} x_{skt} x_{sl(t+1)} \quad (\forall s \in S) \\
 & Q_s = \sum_{t \in T} \sum_{k \in J} c_{sk} x_{skt} \quad (\forall s \in S) \\
 & x_{skt} \in \{0, 1\} \quad (\forall s \in S, \forall k \in J \cup J', \forall t \in T)
 \end{aligned}$$

S : 立合者の集合 $S = \{1, 2, \dots, n\}$
 J : 工事の集合 $J = \{1, 2, \dots, m\}$
 J' : 各要素 k に対応するダミー k' からなる
 ダミー工事の集合 $J' = \{1, 2, \dots, m\}$
 T : 工事の枠の集合 $T = \{1, 2, 3\}$
 d_{kl} : 工事 k から工事 l への移動時間 ($k, l \in J$)
 c_{sk} : 立合者 s に工事 k を割り当てたときの割当ペナルティ ($s \in S, k \in J$)
 w_k : 工事 k の難易度 ($k \in J$)

③集合被覆アプローチによる定式化 (Enum)

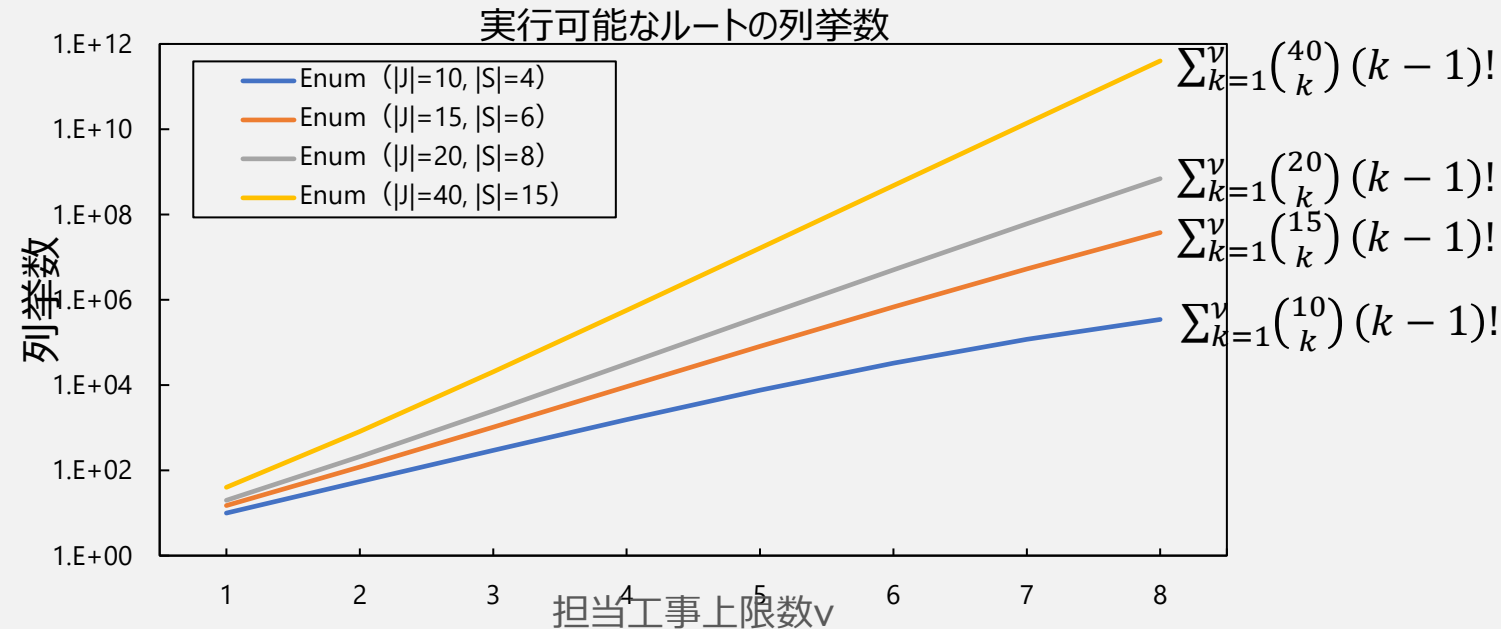
- 集合被覆アプローチによる定式化は以下である
- 以下を満たす実行可能なルートを列挙し全ての工事を被覆するルートを選ぶ
 - A) $|J|$ 件の工事に対し, $|S|$ 人の立会者を割り当てる
 - B) 各工事にちょうど1人の立会者を割り当てる
 - C) 各立会者に割り当てられる工事数は ν 件以下とする
 - D) 各立会者に割り当てられる工事の総難易度は W 点以下とする
 - E) すべての立会者の総移動時間と総割当ペナルティの重み付き和を最小化する

- 集合被覆アプローチによる定式化
- $$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (\tilde{d}_r + \alpha \tilde{c}_{rs}) y_{rs} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} a_{kr} y_{rs} \geq 1 \quad (\forall k \in J) \\ & \sum_{r \in R} y_{rs} \leq 1 \quad (\forall s \in S) \\ & y_{rs} \in \{0, 1\} \quad (\forall r \in R, \forall s \in S) \end{aligned}$$
- S : 立会者の集合
 J : 工事の集合
 R : 実行可能なルートの集合
 $\tilde{d}_r$: ルート r の合計移動時間
 $\tilde{c}_{rs}$: 立会者 s がルート r を担当したときの合計割当ペナルティ
 a_{kr} : ルート r が工事 k を含むとき $a_{kr} = 1$, 含まないとき $a_{kr} = 0$
 α : 総移動時間と総割当ペナルティの重み係数



③ 工事立会者手配問題のEnumに対する計算量

- 数理モデルによる手配結果を実業務で運用したところ，立会者の担当する工事件数は3件以下に制限せず，4件以上割り当てることを許容したいという新しい要望があがった
- 4 件以上となる実行可能なルート全てを列挙すると列挙数が指数的に増加するため，先行研究での集合被覆アプローチによる実行可能なルート全列挙する方法 (Enum) は実用的でない



③制約生成法に基づく定式化 (CGx-(y))

- 工事立会者手配問題は、訪問すべき点集合 J と点 $k, l \in J$ 間の移動コスト d_{kl} が与えられたとき、各立会者に割り当てられた全ての工事を1度ずつ訪問する巡回路の中で、総移動コストが最小のものを求める問題である
- 巡回セールスマン問題では全頂点に対する部分巡回路除去制約が必要であるが、工事立会者手配問題では各立会者に割り与えられた全ての工事に対する部分巡回路切除制約が必要である
- $\sum_{k,l \in J'} x_{skl} \leq |J'| - \sum_{k' \in J \setminus J'} x_{sk'l'}$ を部分巡回路除去制約と呼ぶ

□制約生成法に基づく定式化

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{s \in S} \sum_{k,l \in J} (d_{kl} + \alpha c_{sk}) x_{skl} \\
 & \text{s.t. } \sum_{s \in S} \sum_{l \in J} x_{skl} = 1 \quad (\forall k \in J) \\
 & \quad \sum_{l \in J} x_{skl} = \sum_{l \in J} x_{skl} \quad (\forall s \in S, \forall k \in J) \\
 & \quad \sum_{k,l \in J} w_k x_{skl} \leq W \quad (\forall s \in S) \\
 & \quad \sum_{k,l \in J} x_{skl} \leq v \quad (\forall s \in S) \\
 & \quad \sum_{k,l \in J'} x_{skl} \leq |J'| - \sum_{k' \in J \setminus J'} x_{sk'l'} \\
 & \quad \quad (\forall s \in S, \forall J' \subsetneq J, J' \neq \emptyset, \forall l' \in J \setminus J') \\
 & \quad x_{skl} \in \{0, 1\} \quad (\forall s \in S, \forall k, l \in J)
 \end{aligned}$$

J : 工事の集合

S : 立会者の集合

d_{kl} : 工事 k から工事 l への移動時間

c_{sk} : 立会者 s に工事 k を割り当てたときの割当ペナルティ

w_k : 工事 k の難易度

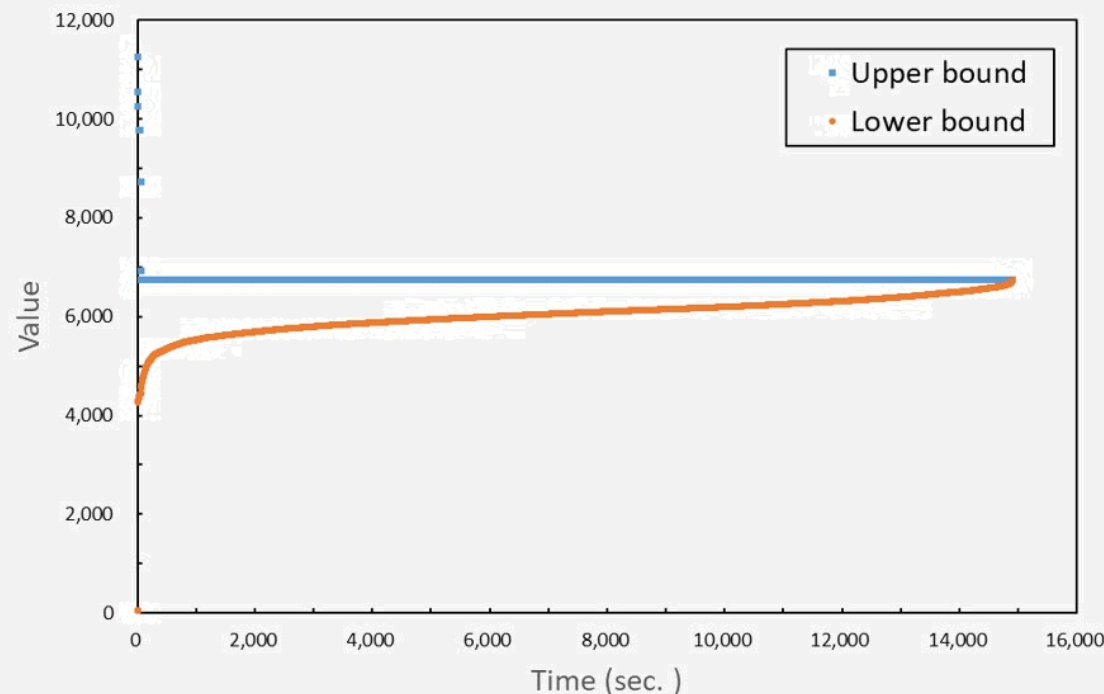
W : 各立会者に割り当てられた工事の難易度の和に対する上限

v : 各立会者に割り当てられる工事数の上限

α : 総移動時間と総割当ペナルティの重み係数

③制約生成法の計算結果

- 制約生成法に基づく解法（CG）の最適値への収束状況について述べる
- 下界の収束には時間を要しているが上界は早い段階で最適値に近い値に到達した
- 多くの問題例において計算の初期段階で上界と下界の乖離は小さくなっていた
- 厳密な最適解よりも実用的な時間で良質な解が求められる実社会ではCGは有効である



制約生成法での上界と下界 ($|I| = 18, |S| = 7, \nu = 8$)

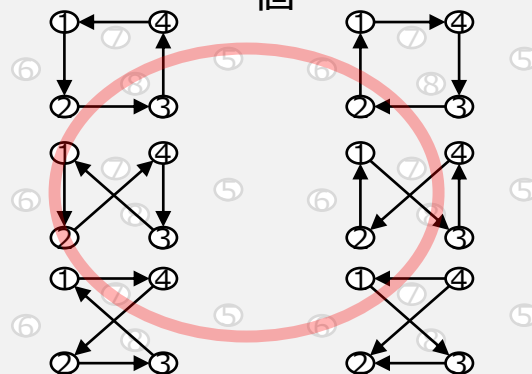
③実行可能なルート候補を削減した集合被覆アプローチによる定式化 (Enum+)

- Enumでは立会者の担当する工事件数を増加すると実行可能なルートの列挙数が指数的に増加する
- 集合被覆アプローチを用いた定式化に基づき，ルートを列挙するときに巡回セールスマン問題として定式化し，各立会者が担当する工事の部分集合の候補の各々に対して最適な巡回路のみを選ぶことで，列挙数を削減する (Enum+)

□ Enum

実行可能なルートを全て列挙する

$$\sum_{k=1}^v \binom{|J|}{k} (k-1)! \text{ 個}$$

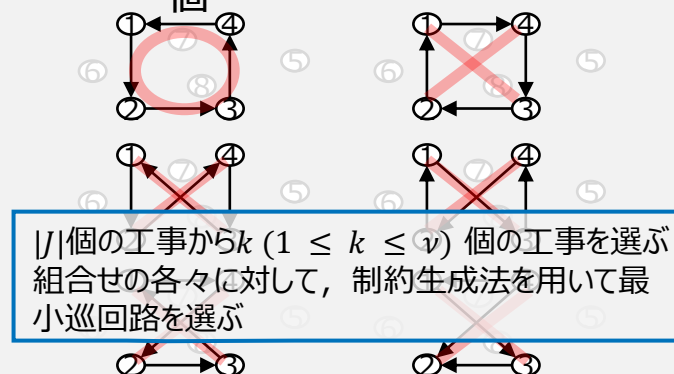


集合被覆アプローチを用いた定式化で解く

□ Enum+

最適な巡回路のみを列挙する

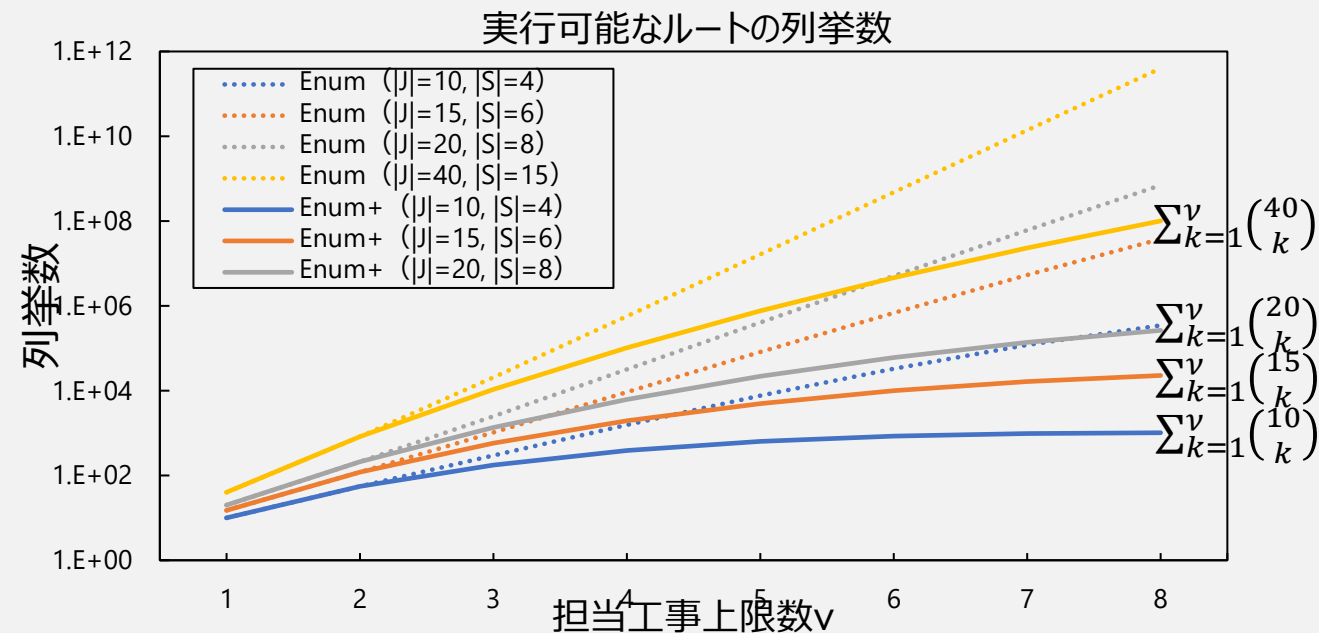
$$\sum_{k=1}^v \binom{|J|}{k} \text{ 個}$$



集合被覆アプローチを用いた定式化で解く

③ 工事立会者手配問題のEnum+に対する計算量

- EnumとEnum+に対する実行可能なルート of 列挙数を比較した結果を以下に示す
- EnumよりEnum+のほうが実行可能なルート of 列挙数が削減している



③計算環境と問題例

■ 計算環境

CPU : Intel Core i9-9900K CPU @ 3.60GHz Memory : 48 GB

Solver : Gurobi Optimizer V8.1 Python : Python 3.6.5

合計工事難易度上限 w : 9, 18

重み係数 α : 1

計算の制限時間 : 3,600秒

■ 問題例

過去に手配者が割当を行った36件の工事と14人の立会者からなる実データ

③CG x -(y)の計算結果 (W=9)

- $W = 9$ に対する, 制約生成法CG x -(y) の計算結果を示す
- 制約追加方針については, 制約追加方針1と制約追加方針2の間に大きな差は見られない
- 部分巡回路除去制約については, (15) と(18) の間に大きな差は見られず, (19) に比べて(15) と(18) のほうが厳密な最適解を得られた問題例が多い

V	S	v	Opt	CG1-(15)			CG1-(18)			CG1-(19)			CG2-(15)			CG2-(18)			CG2-(19)			
				SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	UB	
18	7	3	7,363	117.02	15	*7,363	147.08	3	*7,363	630.98	41	*7,363	162.07	31	*7,363	132.21	10	*7,363	443.43	29	*7,363	
18	7	4	6,889	TL	219	*6,889	TL	265	*6,889	TL	494	*6,889	TL	203	*6,889	TL	240	*6,889	TL	591	*6,889	
18	7	5	6,741	TL	364	*6,741	TL	226	*6,741	TL	99	*6,741	TL	45	*6,741	TL	1,941	*6,741	TL	132	6,742	
18	7	6	6,741	TL	492	*6,741	TL	58	*6,741	TL	1,871	*6,741	TL	150	*6,741	TL	410	*6,741	TL	231	*6,741	
18	7	7	6,741	TL	120	*6,741	TL	1,006	*6,741	TL	1,438	6,742	TL	670	*6,741	TL	333	*6,741	TL	860	*6,741	
18	7	8	6,741	TL	796	*6,741	TL	72	*6,741	TL	1,229	*6,741	TL	277	*6,741	TL	320	*6,741	TL	454	6,742	
20	8	3	7,230	93.95	15	*7,230	TL	6	*7,230	379.22	48	*7,230	302.62	149	*7,230	219.55	49	*7,230	TL	111	*7,230	
20	8	4	6,856	TL	3,488	*6,856	TL	1,568	*6,856	TL	3,090	*6,856	TL	1,244	*6,856	TL	771	*6,856	TL	1,225	*6,856	
20	8	5	6,626	TL	85	6,627	TL	2,174	*6,626	TL	2,703	*6,626	TL	1,509	6,627	TL	809	*6,626	TL	2,237	*6,626	
20	8	6	6,626	TL	823	*6,626	TL	2,543	*6,626	TL	473	6,627	TL	1,038	*6,626	TL	1,104	6,627	TL	288	6,629	
20	8	7	6,626	TL	785	*6,626	TL	1,182	6,627	TL	769	6,627	TL	679	*6,626	TL	2,333	*6,626	TL	3,165	6,627	
20	8	8	6,626	TL	892	6,629	TL	1,599	6,627	TL	1,408	6,723	TL	2,051	*6,626	TL	1,139	6,627	TL	2,099	6,627	
						*14,25				*14,25				*14,25				*14,25				*14,25
36	14	3	14,251	TL	1,078	1	TL	490	1	TL	947	1	TL	910	1	TL	909	1	TL	2,616	14,507	
36	14	4	13,727	TL	3,341	13,844	TL	2,032	13,803	TL	293	17,706	TL	3,068	13,771	TL	3,411	13,779	TL	3,579	31,729	
36	14	5	13,387	TL	2,463	13,389	TL	3,463	13,478	TL	1,239	13,395	TL	1,931	13,389	TL	1,977	13,779	TL	2,800	13,854	
36	14	6	13,387	TL	2,978	13,782	TL	2,554	13,813	TL	3,175	13,392	TL	2,284	13,403	TL	2,641	13,390	TL	3,574	13,467	
36	14	7	13,387	TL	3,036	13,522	TL	1,547	13,804	TL	3,576	14,331	TL	3,568	13,389	TL	3,140	13,840	TL	3,471	13,401	
36	14	8	13,387	TL	2,229	13,389	TL	1,786	13,532	TL	3,010	13,393	TL	2,797	13,388	TL	2,333	13,397	TL	3,367	13,781	

③EnumとEnum+の計算結果 (W=9)

- $W = 9$ に対する, 集合被覆アプローチのEnum, Enum+の計算結果を示す
- Enumはルート生成の時間は小さいが, ルート生成数が大きく, 集合被覆の定式化を解く時間が大きい
- Enum+はルート生成の時間は大きいが, ルート生成数が小さく, 集合被覆の定式化を解く時間が小さい

I	S	v	Opt	Enum				Enum+			
				EnmNum	EnmTime	MdlTime	SolTime	EnmNum	EnmTime	MdlTime	SolTime
18	7	3	7,363	5,052	0.01	0.36	0.37	959	0.73	0.13	0.87
18	7	4	6,889	44,604	0.08	1.19	1.27	2,607	2.17	0.17	2.34
18	7	5	6,741	153,324	0.29	4.97	5.26	3,513	3.20	0.25	3.45
18	7	6	6,741	218,124	0.37	6.53	6.90	3,603	3.24	0.24	3.49
18	7	7	6,741	218,124	0.38	6.63	7.02	3,603	3.25	0.24	3.49
18	7	8	6,741	218,124	0.41	6.60	7.01	3,603	3.32	0.24	3.56
20	8	3	7,230	7,024	0.02	0.23	0.25	1,314	1.02	0.09	1.11
20	8	4	6,856	73,024	0.15	2.31	2.47	4,064	3.36	0.29	3.65
20	8	5	6,626	320,344	0.66	7.55	8.21	6,125	5.59	0.45	6.04
20	8	6	6,626	601,144	1.26	24.59	25.85	6,515	6.22	0.47	6.69
20	8	7	6,626	651,544	1.61	35.32	36.93	6,525	6.39	0.50	6.89
20	8	8	6,626	651,544	1.23	35.93	37.15	6,525	6.38	0.50	6.88
36	14	3	14,251	43,110	0.13	2.73	2.86	7,635	5.50	0.90	6.40
36	14	4	13,727	667,350	1.52	36.95	38.47	33,645	29.70	11.94	41.64
36	14	5	13,387	3,626,670	7.09	MO	MO	58,306	55.77	14.53	70.31
36	14	6	13,387	8,022,990	16.97	MO	MO	64,412	66.37	14.92	81.30
36	14	7	13,387	9,529,950	25.42	MO	MO	64,711	73.27	9.25	82.51
36	14	8	13,387	9,529,950	44.92	MO	MO	64,711	94.79	10.26	105.05

③CG とEnum+の計算結果 (1/3)

- $W = 9$ に対する, CG, Enum+, TOM59Modelの計算結果を示す
- Enum+は全ての問題例で厳密に解いて探索を終了した時間が小さい

I	S	v	Opt	CG1-(18)			Enum+		TOM59Model		
				SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	SolTime	ArrTime	UB
18	7	3	7,363	147.08	3	*7,363	0.87	0	TL	1,265	*7,363
18	7	4	6,889	TL	265	*6,889	2.34	2	TL	3,205	6,981
18	7	5	6,741	TL	226	*6,741	3.45	3	TL	3,176	6,750
18	7	6	6,741	TL	58	*6,741	3.49	3	TL	960	6,977
18	7	7	6,741	TL	1,006	*6,741	3.49	3	TL	2,682	6,898
18	7	8	6,741	TL	72	*6,741	3.56	3	TL	1,999	6,747
20	8	3	7,230	TL	6	*7,230	1.11	1	TL	162	*7,230
20	8	4	6,856	TL	1,568	*6,856	3.65	3	TL	3,497	7,055
20	8	5	6,626	TL	2,174	*6,626	6.04	6	TL	1,172	6,733
20	8	6	6,626	TL	2,543	*6,626	6.69	6	TL	407	7,337
20	8	7	6,626	TL	1,182	6,627	6.89	6	TL	344	7,281
20	8	8	6,626	TL	1,599	6,627	6.88	6	TL	3,584	6,717
36	14	3	14,251	TL	490	*14,251	6.40	6	TL	3,281	15,321
36	14	4	13,727	TL	2,032	13,803	41.64	39	TL	3,399	15,368
36	14	5	13,387	TL	3,463	13,478	70.31	70	TL	3,189	17,439
36	14	6	13,387	TL	2,554	13,813	81.30	81	TL	3,486	16,739
36	14	7	13,387	TL	1,547	13,804	82.51	81	TL	3,081	15,115
36	14	8	13,387	TL	1,786	13,532	105.05	104	TL	3,597	22,876

③CG とEnum+の計算結果 (2/3)

- $W = 18$ に対する, CG, Enum+, TOM59Modelの計算結果を示す
- Enum+は一部を除いた問題例で厳密に解いて探索を終了した時間が小さい
- その一部の問題例でEnum+は計算中にメモリ不足で実行可能解が得られなかった
- CGとTOM59Modelは, 問題例を厳密に解くのに要する時間はEnum+よりも大きい場合が多く, 制限時間内に計算が終了せずTLと記されているものが多いが, 全ての問題例に対して制限時間内に実行可能解を得た

I	S	ν	Opt	CG1-(18)			Enum+		TOM59Model		
				SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	SolTime	ArrTime	UB
18	7	3	7,363	TL	3	*7,363	1.39	1	TL	119	*7,363
18	7	4	6,755	TL	398	*6,755	6.34	5	TL	3,476	6,757
18	7	5	6,297	TL	123	*6,297	23.67	23	TL	2,421	6,314
18	7	6	5,652	1,347.61	239	*5,652	71.01	69	TL	1,721	5,736
18	7	7	5,652	936.06	88	*5,652	159.08	158	TL	1,794	5,656
18	7	8	5,652	1,275.87	61	*5,652	241.95	239	TL	2,391	5,845
20	8	3	7,230	90.92	8	*7,230	1.78	0	TL	1,897	*7,230
20	8	4	6,507	TL	29	*6,507	9.34	8	TL	1,036	6,511
20	8	5	5,966	TL	57	*5,966	39.17	38	TL	1,948	6,083
20	8	6	5,823	TL	769	5,827	136.72	132	TL	3,424	5,966
20	8	7	5,630	TL	2,615	*5,630	335.80	335	TL	3,000	6,171
20	8	8	5,630	TL	258	5,632	596.03	595	TL	2,385	5,870
36	14	3	14,251	TL	343	*14,251	11.17	10	TL	1,533	14,540
36	14	4	12,915	TL	3,010	13,046	109.03	104	TL	22	26,666
36	14	5	11,940	TL	2,640	11,944	800.57	799	TL	1,949	14,329
36	14	6	UNK	TL	2,900	11,755	MO	MO	TL	2,980	16,316
36	14	7	UNK	TL	3,314	11,760	MO	MO	TL	3,496	14,711
36	14	8	11,226	TL	3,226	11,299	MO	MO	TL	3,103	17,550

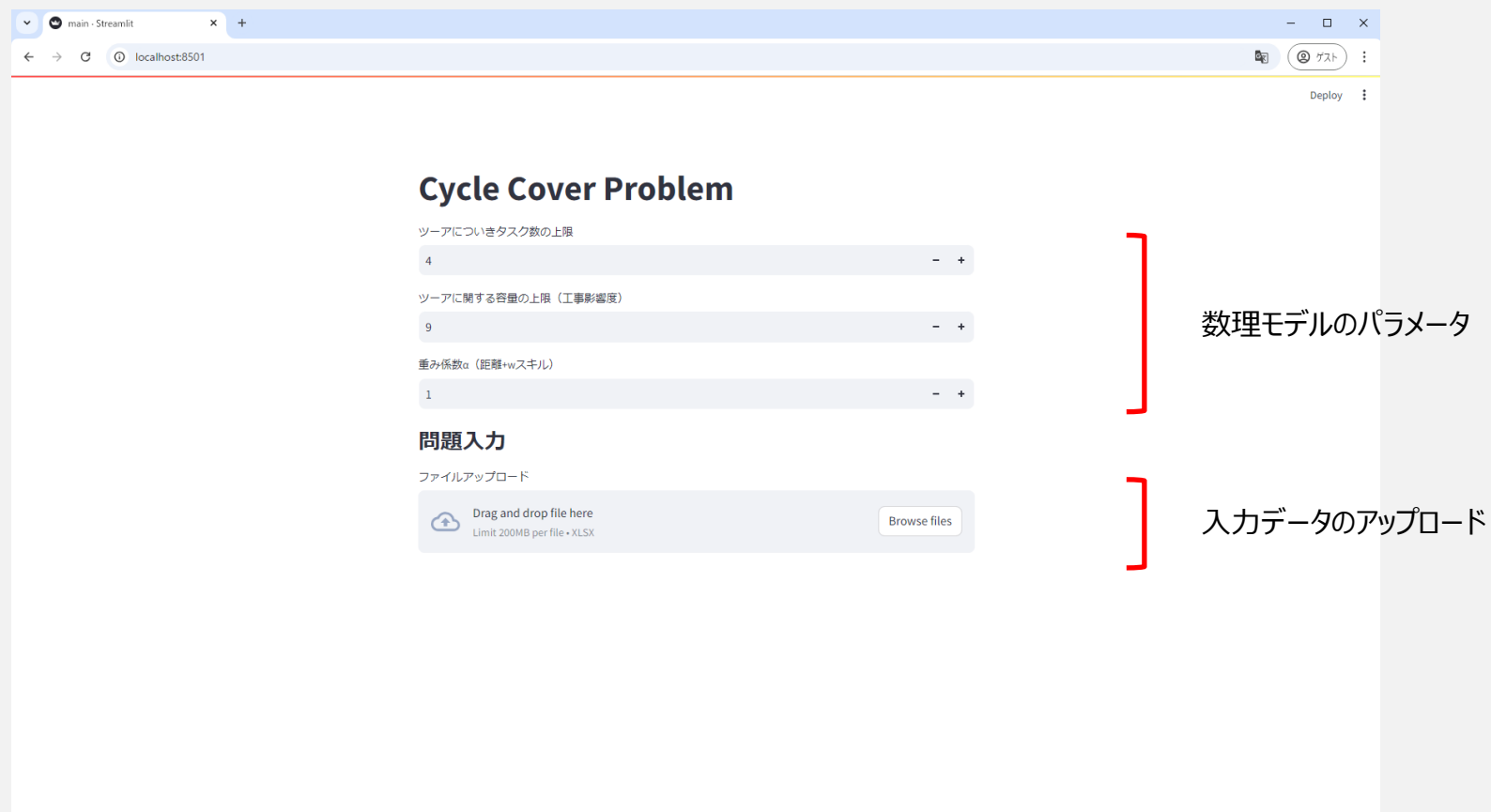
③CG とEnum+の計算結果 (3/3)

- さきほどの問題例に比べて $|S|$ が小さい問題例に対する，計算結果を示す
- CG によって全て厳密に解けており，求解に要した時間はEnum+より小さい

$ I $	$ S $	v	Opt	CG1-(18)			Enum+		TOM59Model		
				SolTime	ArrTime	UB	SolTime	ArrTime	SolTime	ArrTime	UB
15	2	8	7,686	1.56	1	*7,686	33.35	33	TL	154	7,688
15	3	5	7,690	4.38	2	*7,690	5.78	5	1,064.63	72	*7,690
15	3	6	7,611	10.27	7	*7,611	13.50	13	TL	246	7,613
15	3	7	7,117	17.34	9	*7,117	23.16	23	TL	1,025	*7,117
15	3	8	7,093	15.95	9	*7,093	29.02	29	TL	306	7,289
18	3	6	9,428	27.68	10	*9,428	45.23	45	TL	224	*9,428
18	3	7	9,367	48.32	11	*9,367	101.11	101	TL	2,117	9,428
18	3	8	8,978	44.61	22	*8,978	152.31	152	TL	419	9,018
20	3	7	9,761	156.31	103	*9,761	216.04	216	TL	1,859	10,108
20	3	8	9,761	127.85	36	*9,761	372.46	372	TL	424	10,038

計算実験でStreamlitを利用

- 以下は、人のスキルを考慮した采配アルゴリズムが組込まれたPoCのGUI



計算実験でStreamlitを利用

- 以下は、人のスキルを考慮した采配アルゴリズムが組込まれたPoCのGUI

Cycle Cover Problem

ツアーにつきタスク数の上限

4

ツアーに関するタスクの上限 (工事影響度)

9

重み係数α (距離+αスキル)

1

問題入力

ファイルアップロード

Drag and drop file here
Limit 200MB per file • XLSX

Browse files

Data_36_14.xlsx 142.4KB

スタッフ情報

	社員コード	社員名
0		
1	1	Aさん
2	2	Bさん
3	3	Cさん
4	4	Dさん
5	5	Eさん

タスク情報

	仕事コード	仕事名
0		
1	1	工事1
2	2	工事2
3	3	工事3
4	4	工事4
5	5	工事5

スキル情報

	社員コード + 社員名	仕事コード + 仕事名	社員コード	仕事コード	スキル
0	Aさん	工事1	1	1	3
1	Aさん	工事2	1	2	3
2	Aさん	工事3	1	3	3
3	Aさん	工事4	1	4	3
4	Aさん	工事5	1	5	3

距離情報

	仕事コード + 仕事名	仕事コード + 仕事名1	仕事コード1	仕事コード2	距離
0	工事1	工事1	1	1	0
1	工事1	工事2	1	2	1017
2	工事1	工事3	1	3	1395
3	工事1	工事4	1	4	405
4	工事1	工事5	1	5	1092

影響度情報

	仕事コード	影響度
0	1	3
1	2	2
2	3	4
3	4	3
4	5	1

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☐ Lazy

☒ Enum

☐ CG

Enum問題の解法を選択してください: 円順列探索, 2 組合せ (TSPカット)

1

最適化

入力データを出力

入力データを出力

アルゴリズムの選択

計算実験でStreamlitを利用

- 以下は，人のスキルを考慮した采配アルゴリズムが組込まれたPoCのGUI

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☐ Lazy
☒ Enum
☐ CG

Enum問題の解法を選択してください(1: 円順列列挙, 2: 組合せ (TSPカット))

2

最適化

計算中...

アルゴリズムの選択

各アルゴリズムに関するパラメータ

実行ボタン

計算実験でStreamlitを利用

- 以下は，人のスキルを考慮した采配アルゴリズムが組込まれたPoCのGUI

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☒ Lazy
☐ Enum
☐ CG

lazy制約のタイプを選択してください

6

最適化

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☐ Lazy
☐ Enum
☒ CG

pricing問題の解法を選択してください(1: MIP, 2: DP)

1

最適化

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☐ Lazy
☒ Enum
☐ CG

Enum問題の解法を選択してください(1: 円順列列挙, 2: 組合せ (TSPカット))

1

最適化

計算実験でStreamlitを利用

- 以下は，人のスキルを考慮した采配アルゴリズムが組込まれたPoCのGUI

アルゴリズム選択

使用するアルゴリズムを選択してください

☐ Lazy

☒ Enum

☐ CG

Enum問題の解法を選択してください(1: 円順列挙, 2: 組合せ (TSPカット))

2

最適化

完了!

目的関数値: 13727.00

実行時間: 40.98秒

目的関数値

計算時間

staff: 3, skill: 6, dist: 0, cycle: (23,)

staff: 9, skill: 4, dist: 0, cycle: (26,)

staff: 4, skill: 5, dist: 0, cycle: (27,)

staff: 5, skill: 5, dist: 0, cycle: (36,)

staff: 10, skill: 8, dist: 568.0, cycle: (25, 29)

staff: 1, skill: 9, dist: 1386.0, cycle: (1, 4, 34)

staff: 11, skill: 6, dist: 1512.0, cycle: (11, 16, 18)

staff: 7, skill: 6, dist: 741.0, cycle: (12, 13, 15)

staff: 14, skill: 9, dist: 731.0, cycle: (14, 17, 19)

staff: 12, skill: 9, dist: 1144.0, cycle: (21, 31, 33)

staff: 6, skill: 9, dist: 1434.0, cycle: (22, 24, 28)

staff: 2, skill: 4, dist: 2380.0, cycle: (2, 5, 3, 9)

staff: 13, skill: 8, dist: 2156.0, cycle: (6, 7, 8, 10)

staff: 8, skill: 8, dist: 1579.0, cycle: (20, 32, 30, 35)

状態数 : 33645

出力結果
(采配結果)

計算実験でStreamlitを利用

- 以下は，采配結果を地図上に可視化するPoCのGUI（not Streamlit）



采配結果のcsvファイル

立会者データに関するcsvファイル

工事データに関するcsvファイル

工事間の距離データに関するcsvファイル

工事難易度データに関するcsvファイル

まとめ

■ まとめ

- 数理最適化を用いたより高度なデータ分析事例について紹介した
- その中で実施する数値実験やその成果を現場の方に提示する際のPoCとしてStreamlitを活用した

参考文献

-
- [1] 国土交通省, インフラ老朽化対策 (平成27 年9 月11 日第2 回非社会保障ワーキング・グループ資料1-3 国土交通省資料).
<https://www5.cao.go.jp/keizaishimon/kaigi/special/reform/wg2/270911/agenda.html> (Retrieved on October 13, 2019)
 - [2] 国土交通省, 浅層埋設にあたっての安全対策について(2015 年7 月31 日第5 回無電柱化低コスト手法技術検討委員会資料3 浅層埋設にあたっての安全対策について).
<http://www.nilim.go.jp/lab/ucg/koho/k150731.html> (Retrieved on October 13, 2019)
 - [3] NTT 東日本, 電話ケーブル切ったら大へん (NTT 東日本東京事業部2018).
http://kirenkyo.gr.jp/sites/default/files/doc/NTT_higashi2018.pdf (Retrieved on October 13, 2019)
 - [4] NTT 西日本, 管路・電柱等.
<https://www.ntt-west.co.jp/open/99guidebook/pdf/2-6syo.pdf> (Retrieved on October 13, 2019)
 - [5] 月刊ビジネスコミュニケーション, ワンストップサービスを提供するインフラネットのIT システム群.
<https://www.bcm.co.jp/magazine/00-02/html/052.html> (Retrieved on October 13, 2019)
 - [6] 一柳徳宏, 若松良彦, 能島裕介, 石淵久生, 多目的遺伝的局所探索アルゴリズムにおける局所探索適用個体の選択, システム制御情報学会論文誌, 23 (2010) 178–187.
 - [7] 池上敦子, 問題把握の難しさ, 特集『21 世紀を最適化する女性たち』, オペレーションズ・リサーチ, 51 (2006) 388–391.
 - [8] S. Umetani, M. Arakawa and M. Yagiura, Relaxation heuristics for the set multicover problem with generalized upper bound constraints, Computers and Operations Research, 93 (2018) 90–100.
 - [9] H. Hashimoto, M. Yagiura and T. Ibaraki, An iterated localsearch algorithm for the time-dependent vehicle routingproblem with time windows, Discrete Optimization, 5 (2008) 434–456.
 - [10] S. Lin and B. W. Kernighan, An effective heuristic algorithm for the travelsalesman problem, Operations Research, 21 (1973) 498–516.
 - [11] M. Yagiura and T. Ibaraki, Local Search, P.M. Pardalos and M.G.C. Resende (eds), Handbook of Applied Optimization, Oxford University Press (2002) 104–123.
 - [12] G. Dantzig, R. Fulkerson, S. Johnson, Solution of a large-scale travelsalesman problem, Journal of the Operations Research Society of America, 2 (1954), 393–410.
 - [13] U. Pferschy, R. Stanek, Generating subtour elimination constraints for the TSP from pure integer solutions, Central European Journal of Operations Research, 25 (2017), 231–260.
 - [14] R. H. Pearce, Towards a General Formulation of Lazy Constraints, Doctoral Dissertation, School of Mathematics and Physics, The University of Queensland, (2019).
 - [15] P. Toth, D. Vigo, The Vehicle Routing Problem, SIAM, (2011).
 - [16] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvatal, W. J. Cook, The Traveling Salesman Problem, Princeton University Press, (2011).
 - [17] H. Crowder, M. W. Padberg, Solving large-scale symmetric traveling salesman problems to optimality, Management Science, 26 (1980), 495–509.
 - [18] 高須賀将秀, 柳浦睦憲, 工事手配業務に対する数理最適化の活用と意思決定の支援, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, 14 (2021), 112–120.
 - [19] 高須賀将秀, 呉偉, 柳浦睦憲, 工事立会者手配問題に対する制約生成法および集合被覆アプローチ, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, 15 (2022), 1–10.

宣伝（Udemyコンテンツ）

- 明日から役立つ「オペレーションズ・リサーチ概論」

コースの特徴

このコースは、オペレーションズリサーチに興味を持つ入門者や、エクセルを用いて数理最適化を解決したい人に最適です。学習者は、物流2024年問題を通じて、実社会における最適化問題の解決方法を理解することができます。エクセルを活用し、数理的な問題解決能力を高めましょう！

学べるスキル: オペレーションズリサーチの基礎知識、連続最適化の理解、組合せ最適化の理解、Excel ソルバーによる最適化



- Microsoft Applied Skills 資格取得勉強会

コースの特徴

この講座は、Azure初心者やApplied Skillsを取得したい方に最適です。Azure上でLinux仮想マシンをデプロイし、管理するスキルを段階的に習得できます。Linux VMの作成から構成、監視、バックアップまでを実践的に学びましょう。新たなスキルを身につけ、Azureの世界で自信を持って活躍しましょう！

学べるスキル: Linux VMの作成と構成、Linux VMの監視とバックアップ、NGINX Webサーバーの構成、Azure上でのVM管理

