

規範的避難行動によるベンチマーク解析

2017年5月13日
愛媛大学 坊ちゃんセミナー

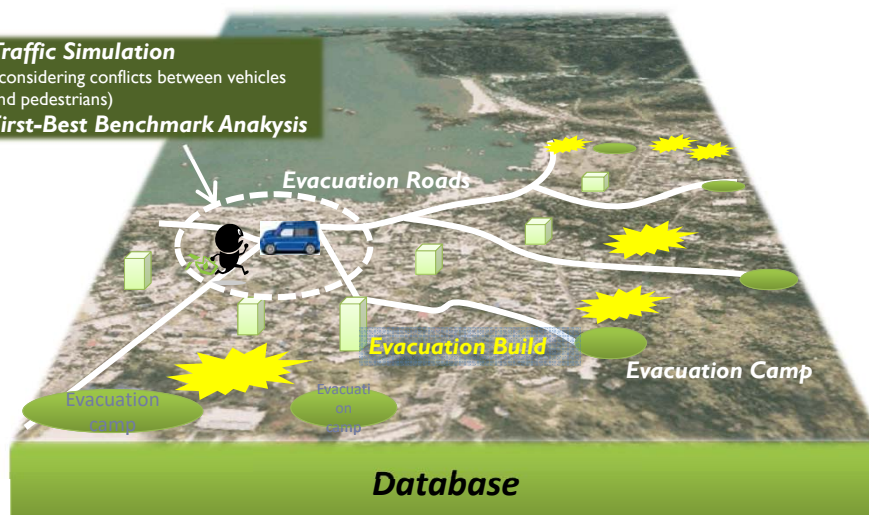
東北大学大学院情報科学研究科
桑原雅夫

避難インフラ整備, オペレーションの設計と評価

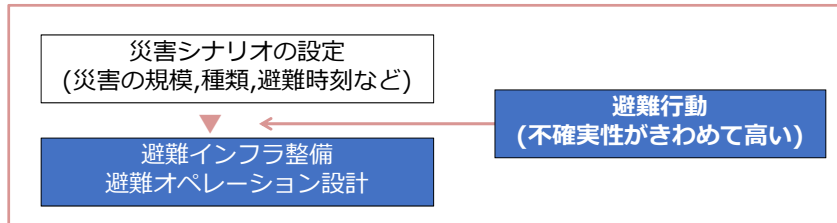
Traffic Simulation

(considering conflicts between vehicles and pedestrians)

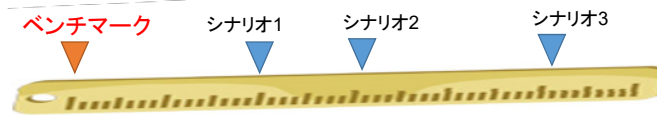
First-Best Benchmark Analysis



規範的避難行動によるベンチマーク解析



無数のシナリオが存在, 避難行動の不確実性
→ 基準となるシナリオと避難パフォーマンスが必要(ベンチマーク)
= 現存インフラにおいて避難行動を最適に制御した場合



ベンチマーク(ものさし)が必要

3

規範的避難行動によるベンチマーク解析

避難行動の最適制御=経路と避難開始時刻を最適に制御
(ネットワーク上に待ち行列を作らせない)

線形計画問題(柔軟なモデル化)

目的関数

- 総避難時間の最小化
- 避難完了時間の最小化
- 危険場所有在人数の最小化

トリップ行動

- 避難トリップ
- 避難以外のトリップ
- ピックアップ行動(トリップチェーン)
- 車, 歩行者トリップとそれらの錯綜現象

4

各種のLP定式化

	目的関数	備考
P0	総避難時間最小化(起点での待ち時間含む) $m=1$ 避難完了時刻最小化 $m > 1$	避難所選択あり
P1	総避難時間最小化(起点での待ち時間含む) $m=1$ 避難完了時刻最小化 $m > 1$	避難所選択なし (予め決められた避難所に避難)
P2	総避難時間最小化(起点での待ち時間含む) $m=1$ 避難完了時刻最小化 $m > 1$	避難所選択あり／なしの混合
P3	総避難時間最小化(起点での待ち時間含む) $m=1$ 避難完了時刻最小化 $m > 1$	避難所選択あり／なしの混合 トリップチェーンの考慮(ピックアップ行動)
P4	総避難時間最小化(起点での待ち時間含む) $m=1$ 避難完了時刻最小化 $m > 1$ 場所の危険度の最小化を追加	場所の危険度の考慮
3.2.4.(1)	総避難時間最小化(起点での待ち時間含まない)	避難の移動時間のみの最小化 (起点での待ち時間含まない)
3.2.4.(2)	上記のいずれでもOK	自動車と歩行者トリップの錯綜の考慮
3.2.4.(3)	上記のいずれでもOK	自動車と歩行者のトリップシェアの最適化

5

P_0 (Basic Model)

- All people are evacuees
- Total evacuation demand from each origin node is given
- Evacuees' travel choices below are optimized to minimize the objective function
 - (1) *Departure time* from the origin
 - (2) Evacuation *routes*
 - (3) Evacuation *shelters* (= destination nodes)

- Objective function
 - (1) Total evacuation time
 - (2) Completion time of evacuation

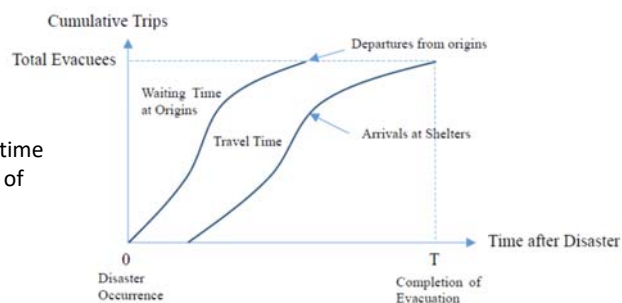
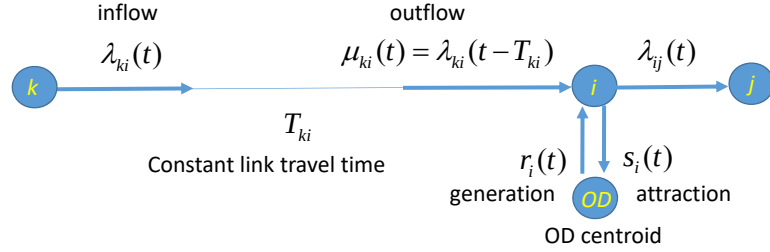


Fig. 1 Cumulative Departure and Arrival Curves during Evacuation ₆

Flow Conservation at node i without queues



$$-\sum_k \lambda_{ki}(t - T_{ki}) + \sum_j \lambda_{ij}(t) - r_i(t) + s_i(t) = 0,$$

$$k, i, j \in \text{Node}, \quad \forall t.$$

7

$$P_0(Q, \mu): \text{Min} \sum_t \sum_i \overbrace{t \cdot s_i(t)}^{\text{Total evacuation time}},$$

Arrival time at shelters # of arrivals

$$-\sum_k \lambda_{ki}(t - T_{ki}) + \sum_j \lambda_{ij}(t) - r_i(t) + s_i(t) = 0, \quad i \in N, \quad \forall t$$

Flow conservation at node i

$$\lambda_{ij}(t) \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall t$$

Link capacity constraint

$$\sum_{t=1}^T r_i(t) = Q_i \quad (\text{given}) \quad \forall i \in N$$

Given demand from node i

$$\sum_{t=1}^T \sum_i s_i(t) = \sum_i Q_i$$

Demand constraint at destination

$$\lambda_{ij}(t) \geq 0, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall t$$

$$r_i(t) = \begin{cases} \geq 0, & \forall i \in O, \quad \forall t \\ = 0, & \forall i \notin O, \quad \forall t \end{cases}$$

Non-negative constraint

$$s_i(t) = \begin{cases} \geq 0, & \forall i \in D, \quad \forall t \\ = 0, & \forall i \notin D, \quad \forall t \end{cases}$$

$$\sum_{t=1}^T s_i(t) \leq C_i, \quad \forall i \in D$$

Shelter capacity constraint

8

P_1 (no shelter choice = shelters are assigned to evacuees in advance)

- Total evacuation OD demand is given
- Following evacuees' choices are optimized:
 - (1) *Departure time* from the origin
 - (2) Evacuation *routes*

$$\begin{aligned}
 P_1(Q, \mu): \quad & \text{Min} \sum_t \sum_{od} t \cdot q_{od}(t), \\
 & - \sum_k \lambda_{kd}^o(t - T_{kd}) + \sum_j \lambda_{ij}^o(t) + q_{od}(t) = 0, \quad \forall i \in N, \quad \forall i \neq o \in O, \quad \forall t; \\
 & \sum_{t=1}^T q_{od}(t) = Q_{od} \quad (\text{given}) \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D; \\
 & \sum_o \lambda_{ij}^o(t) \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall t; \\
 & \lambda_{ij}^o(t) \geq 0, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall o \in O, \quad \forall t; \\
 & q_{od}(t) \geq 0, \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D, \quad \forall t;
 \end{aligned}$$

9

Extensions

- P₀ Shelter choice (Basic Model)
- P₁ No shelter choice
- P₂ Shelter choice + No shelter choice
- P₃ Trip chain (pick-up behavior)

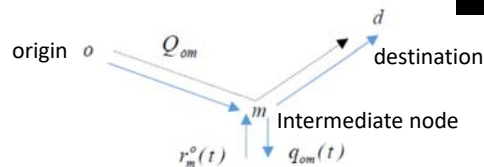


Fig. 2 Illustration of Trip-Chain Trip

- P₄ Risk on a way to a shelter
- P₅ Vehicle conflict with pedestrians
- P₆ Optimum share of vehicle and pedestrian trips



10

Enormous number of unknowns → Decomposition of the LP

The number of unknowns tends to be enormous.

$$\lambda_{ij}^o(t) \rightarrow (\# \text{ of origins}) \times (\# \text{ of links}) \times (\# \text{ of time intervals})$$

$$500 \times 5000 \times 500 = 1.25 \times 10^9$$

e.g.) Ishinomaki network (middle size)

Decompose the LP by
Lagrangian Relaxation Method



11

$$P_1(Q, \mu): \text{Min} \sum_t \sum_{od} t \cdot q_{od}(t),$$

$$-\sum_k \lambda_{ki}^o(t - T_{ki}) + \sum_j \lambda_{ij}^o(t) + q_{oi}(t) = 0, \quad \forall i \in N, \quad \forall i \neq o \in O, \quad \forall t;$$

$$\sum_{t=1}^T q_{od}(t) = Q_{od} \quad (\text{given}) \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D;$$

$$\sum_o \lambda_{ij}^o(t) \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall t;$$

$$\lambda_{ij}^o(t) \geq 0, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall o \in O, \quad \forall t;$$

$$q_{od}(t) \geq 0, \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D, \quad \forall t;$$

Without this constraint, the feasible region of LP is independent of origin o .

12

Non-negative coefficients

$$P_1'(Q, \mu): \text{Min} \sum_t \sum_{od} t \cdot q_{od}(t) + \sum_{ij,t} B_{ij}(t) \left(\sum_o \lambda_{ij}^o(t) - \mu_{ij} \right)$$

$$-\sum_k \lambda_{ki}^o(t - T_{ki}) + \sum_j \lambda_{ij}^o(t) + q_{oi}(t) = 0, \quad \forall i \in N, \quad \forall i \neq o \in O, \quad \forall t;$$

$$\sum_{t=1}^T q_{od}(t) = Q_{od} \quad (\text{given}) \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D ;$$

~~$$\sum_o \lambda_{ij}^o(t) \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i,j) \in L, \quad \forall t;$$~~

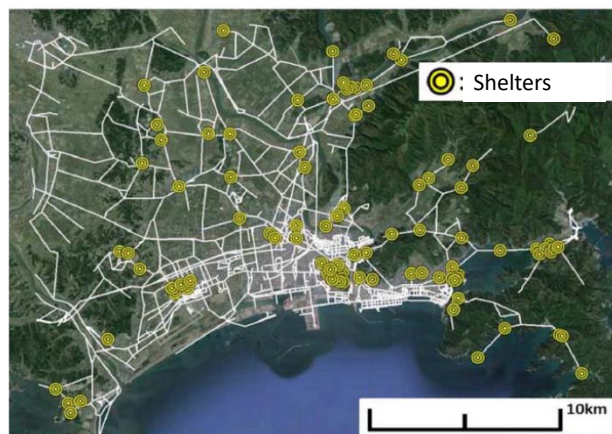
$$\lambda_{ij}^o(t) \geq 0, \quad \forall (i,j) \in L, \quad \forall o \in O, \quad \forall t;$$

$$q_{od}(t) \geq 0, \quad \forall o \in O, \quad \forall d \in D, \quad \forall t;$$

Given non-negative coefficients $B_{ij}(t)$, P_1' can be decomposed with respect to origin o (and d).

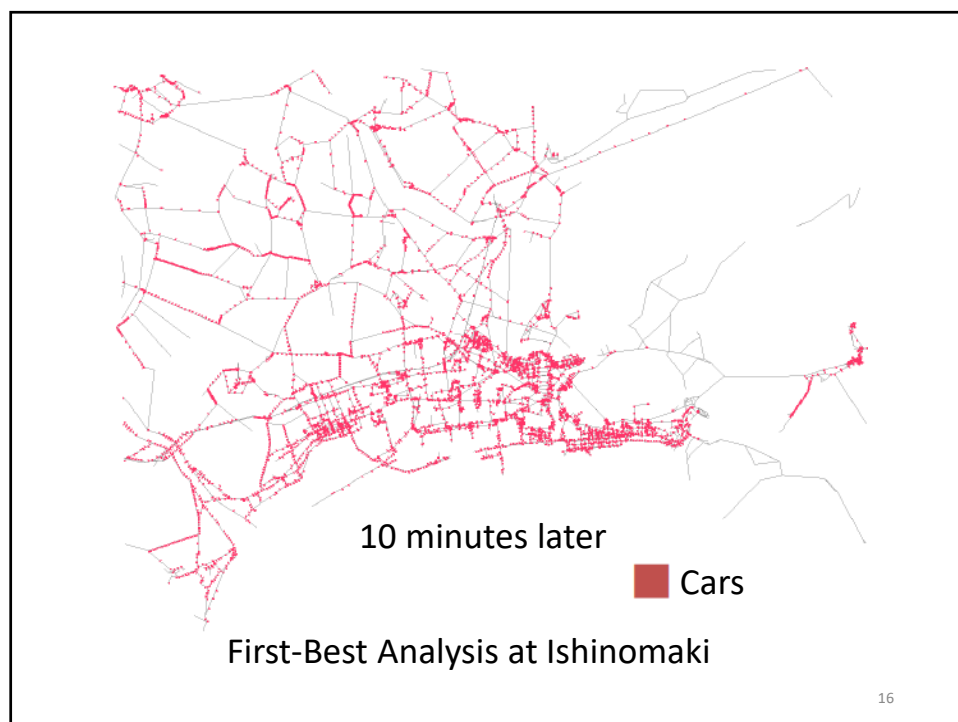
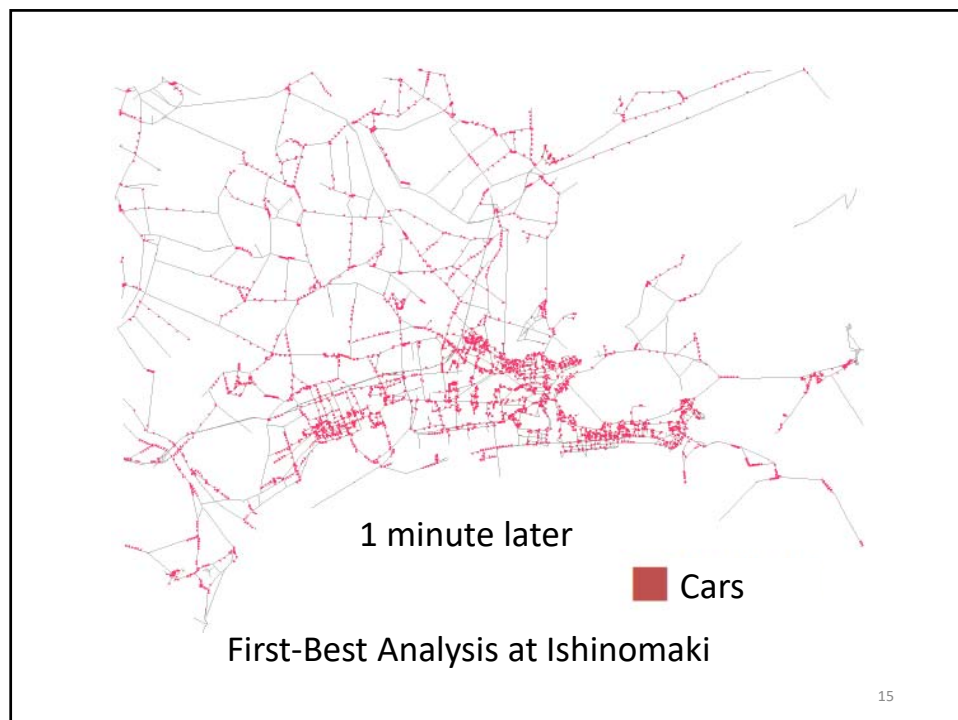
13

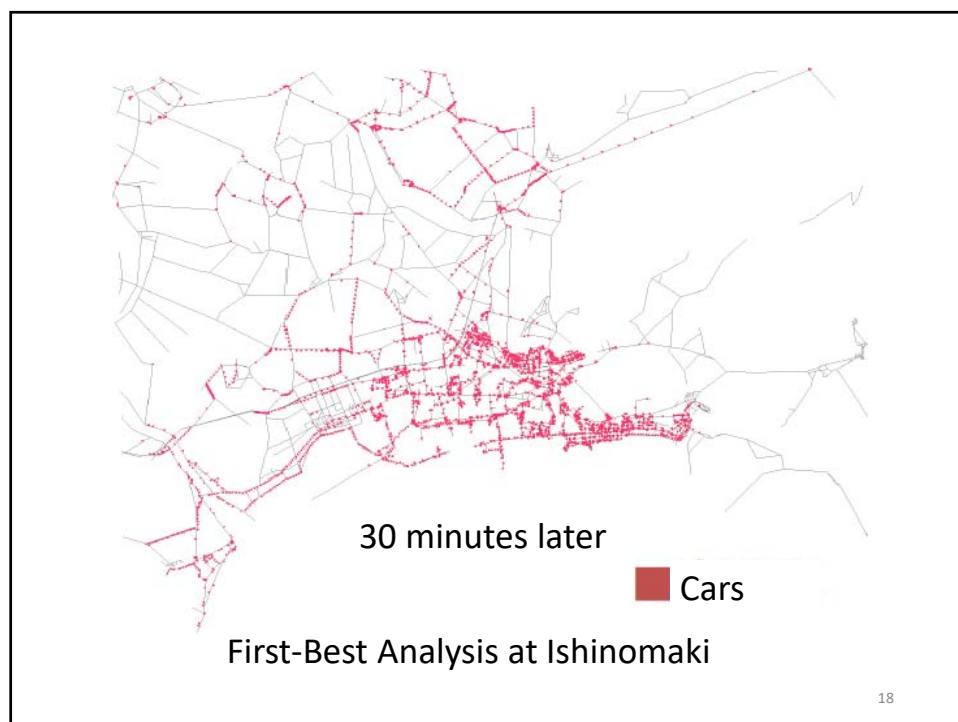
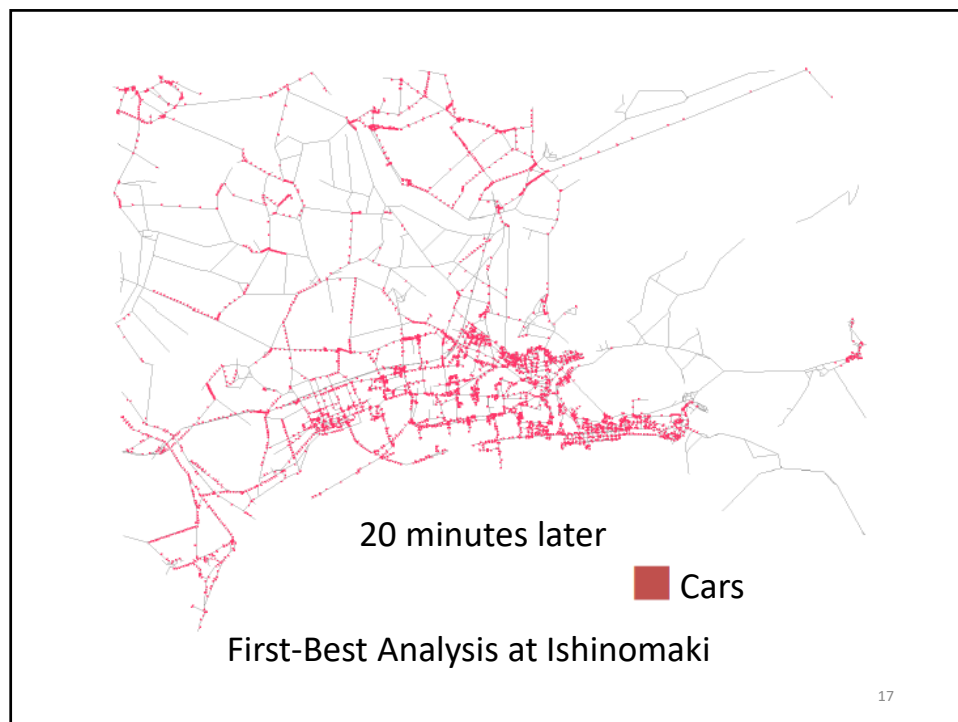
Application to Ishinomaki

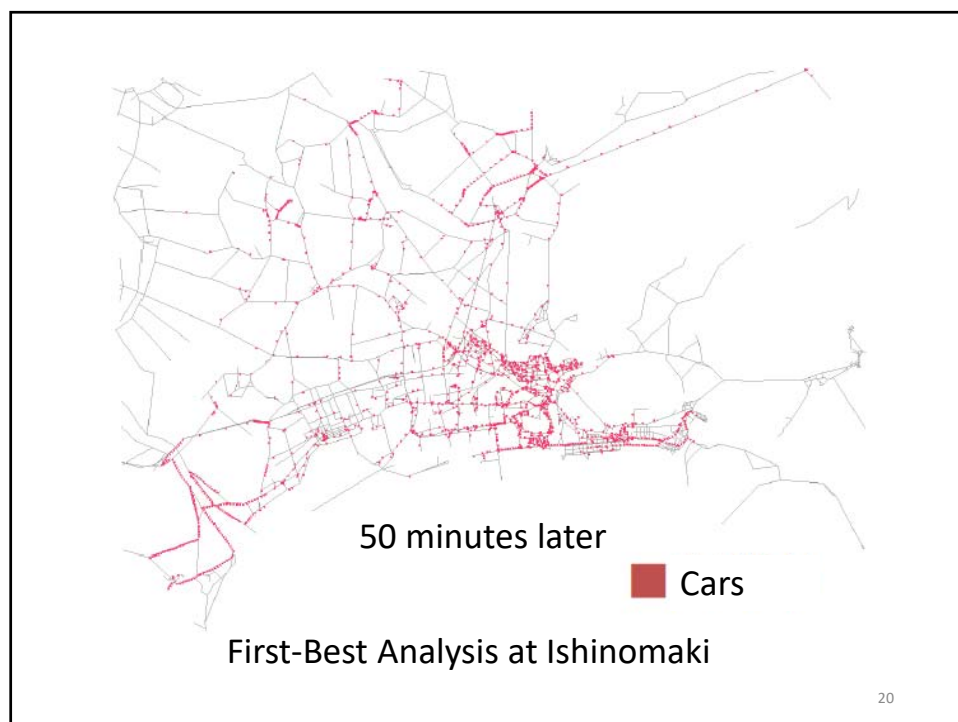
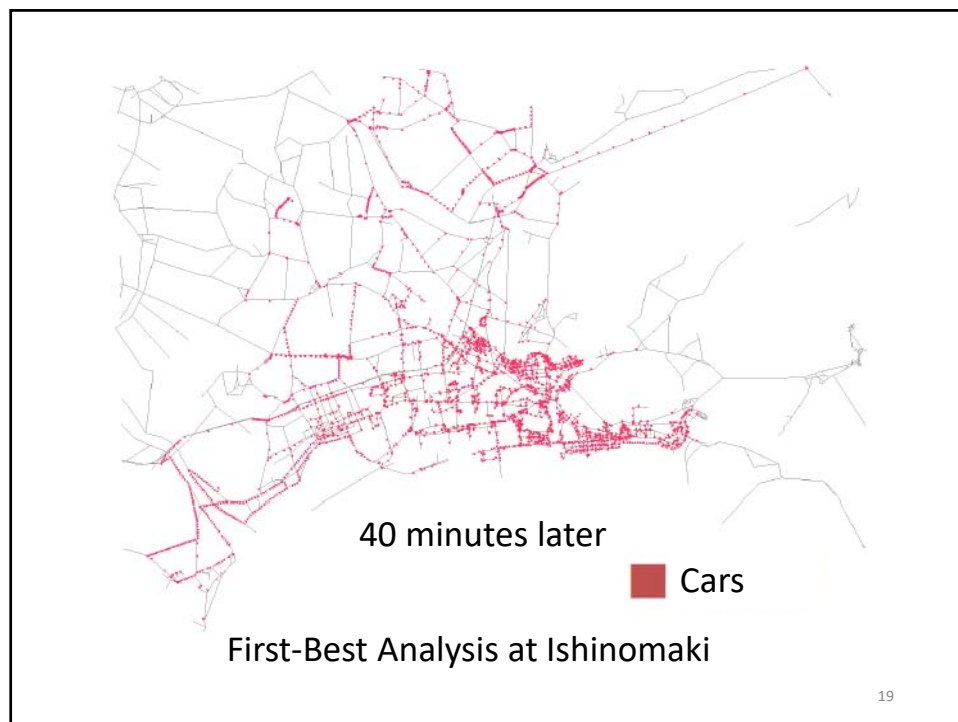


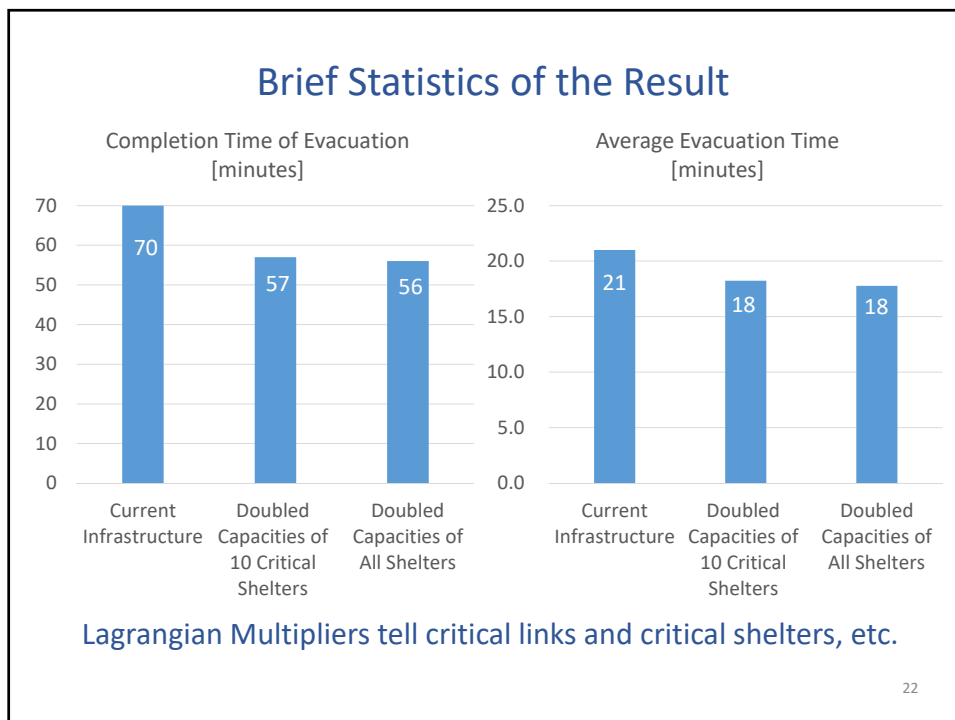
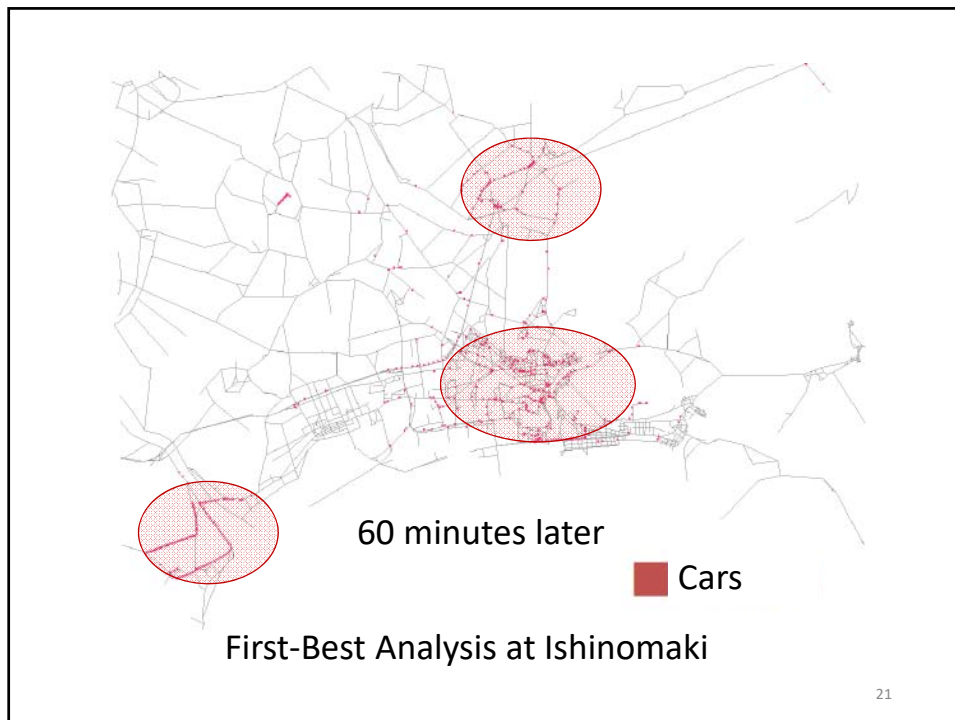
of links = 5418, # of nodes = 2086
 # of origins=521, # of shelters= 95
 # of total demand=43986 veh, $\Delta t = 10$ sec

14



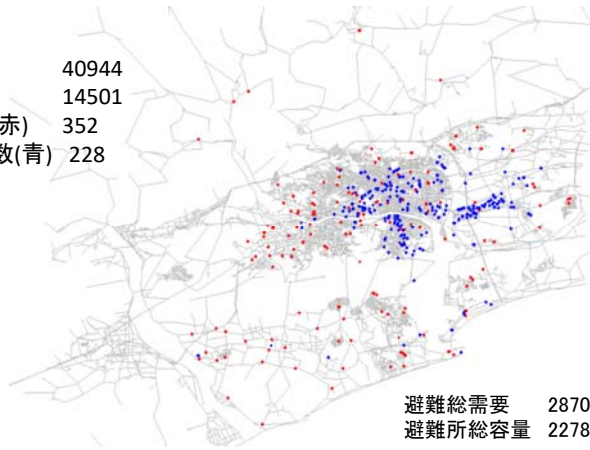






高知都市圏への適用<第1次の試算>

リンク数 40944
 ノード数 14501
 起点数(赤) 352
 避難所数(青) 228



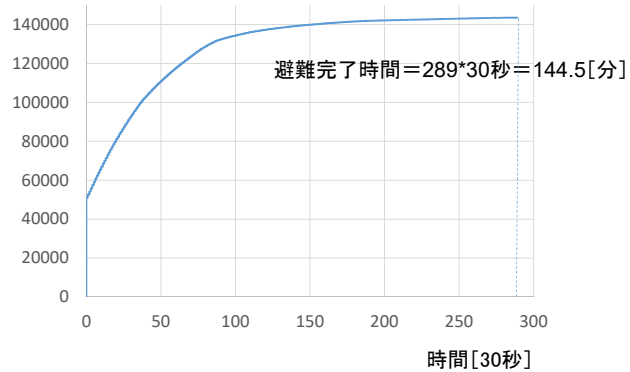
避難総需要 287068 人
 避難所総容量 227803 人

23

規範モデル仕様

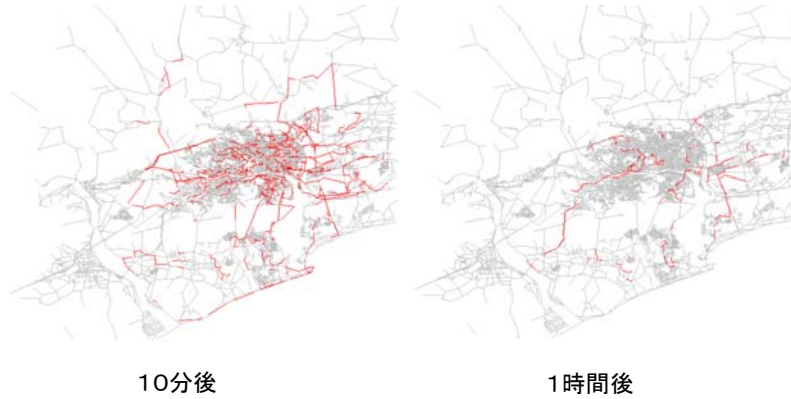
避難所選択あり
 変数の数 14948640 (内 Flow変数 14739840)
 時間単位 30秒
 計算時間 360*30秒=3時間
 避難需要 2人/台として, 全員車を利用と仮定
 道路リンク容量 720台/時/車線

累積避難完了数[台]



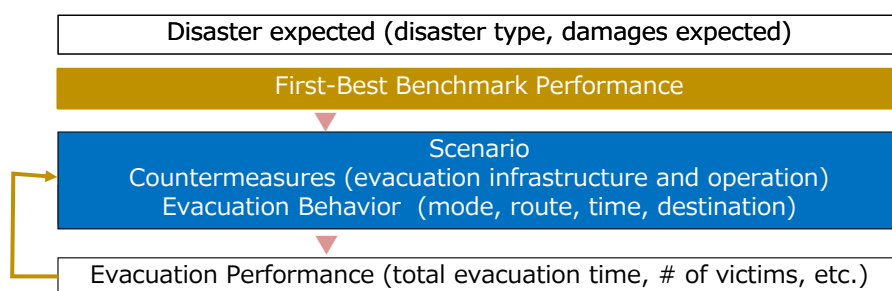
24

最適化結果



25

First-Best Benchmark Analysis based on *Normative Evacuation Behavior*



A number of scenarios with behavioral uncertainty must be tested
 → *Benchmark Scenario = Baseline performance must be understood*

