

## ネットワーク容量信頼性指標に基づく 道路網の頑健性評価

岐阜大学 工学部 社会基盤工学科  
 ○倉内 文孝  
 田中 秀忠  
 高木 朗義  
 香港理工大学 Sumalee Agachai

## 研究背景 & 研究目的

### ◇研究背景◇

- ◆救命救急活動
- ◆ライフライン復旧活動 etc

道路ネットワーク

- ✓ひとたび災害が起これば、長期にわたって使用不能となることもある
- ✓災害が発生しても深刻な機能低下に陥らない道路ネットワークの構築
- ✓被災による利用者の対応行動を考慮した災害に対する性能評価の実施

### ◇研究目的◇

確率的に生起する道路の機能低下に対する道路ネットワーク全体での頑健性を評価する手法論を開発する

## 災害時の道路ネットワーク機能評価指標

名称	定義	利点	欠点
連結信頼性指標	ある特定のODが連結されている確率	配分する必要がない	ODレベルでの指標
総走行時間の増分	所与の需要における総走行時間の差分	損失計算に直結 利用者の対応考慮	配分が必要 渋滞時の所要時間の配分結果の信頼性
容量指標	ネットワークが渋滞せずに受け入れることが可能な最大交通容量	非渋滞側を評価 利用者の対応考慮	配分が必要 OD需要の信頼性

## 交通量配分の特徴

名称	利点	欠点
確定的利用者均衡	計算が比較的容易	完全情報の仮定の妥当性 バスフローが不定 Braessのパラドックス 計算の不安定性
確率的利用者均衡 (ロジット型)	認知エラー考慮 便益計測と直結 バスフロー特定	バスの事前指定 計算コスト中 認知エラー独立性の妥当性
確率的利用者均衡 (プロビット型)	認知エラー相関性まで考慮 バスフロー特定	バスの事前指定 計算コスト高?

## 評価の方針

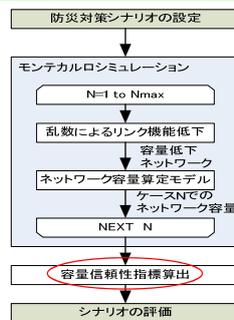
- 道路混雑が生じないという制約の下、最大受け入れ可能な交通量 (= ネットワーク容量) の概念をもって評価
  - 受け入れ可能量は、ネットワーク容量乗数を地域ごとに変化させることも可能 (エリア交通規制に対応)
- 道路上の混雑による経路変更を明示的に考慮するため、Probit型確率利用者均衡配分を考慮する。

## 道路ネットワーク防災性能評価方法

### ◆ネットワーク容量算定モデル◆

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{(x, \theta)} Z \equiv \theta^T \cdot q \\
 & \text{s.t.} \\
 & x^*(\theta) \leq s \\
 & 0 \leq \theta \leq 1 \\
 & x^*(\theta) = \Delta \cdot \{ (\Omega \cdot q \otimes \theta) \otimes P(\Delta^T \cdot t(x^*)) \} \\
 & \theta: \text{制約実数}, \quad q: \text{OD交通量} \\
 & s: \text{リンク容量} \\
 & x^*(\theta): \text{プロビット型確率的利用者均衡フロー}
 \end{aligned}$$

ネットワーク容量の決定



### ネットワーク容量信頼性とは

- ネットワーク容量
  - ネットワーク全体が混雑なしに所与のODパターンの需要について、最大受け入れることが可能な量
- ネットワーク容量信頼性
  - 道路上の供給量が確率変動するとき、ネットワーク全体がある閾値の交通量を受け入れることのできる確率

7

### 容量信頼性指標の算出手順

- 【Step0】繰り返し番号N=1を設定。
- 【Step1】各リンクに一様乱数  $Y1_i$  を発生させる。
- 【Step2】 $Y1_i < \gamma_a$  ならば、異なる一様乱数  $Y2_i$  を発生させ、 $(1 - \beta_a Y2_i) s_a$  としてリンクaのリンク容量  $s_a$  を減少させる。  
( $\gamma_a$ :リンク機能低下確率,  $\beta_a$ :容量低下比率)
- 【Step3】Nの容量低下時ネットワークにおける最大受け入れ可能交通量を算出。
- 【Step4】 $N < N_{max}$  ならば  $N=N+1$  として【Step1】へ、 $N < N_{max}$  でなければ計算終了。

$$R(\mu_r) = \sum_{N=1}^{N_{max}} \delta_N^{\mu_r} / N_{max}$$

$R(\mu_r)$ : 容量信頼性  
 $\delta_N^{\mu_r}$ : N回目計算時のネットワーク容量比率が容量  $\mu_r$  以上であるときは1, そうでなければ0となるダミー変数

容量信頼性指標

8

### ネットワーク容量モデルの解法

$$\text{Max}_{(x, \theta)} Z \equiv \theta^T \cdot \mathbf{q}$$

s.t.

$$\mathbf{x}^*(\theta) = \Delta \cdot \{(\Omega \cdot \mathbf{q} \otimes \theta) \otimes \mathbf{P}(\Delta^T \cdot \mathbf{t}(\mathbf{x}^*))\} \leq \mathbf{s}$$

$$0 \leq \theta \leq 1$$

$$\text{Max}_{(x, \theta)} Z \equiv \theta^T \cdot \mathbf{q}$$

s.t.

$$\mathbf{x}^*(\theta) \equiv \mathbf{x}^*(\theta_0) + \nabla_{\theta} \mathbf{x}^*(\theta_0)^T \theta \leq \tilde{\mathbf{s}}$$

$$0 \leq \theta \leq 1$$

9

### ネットワーク容量モデルの解法

- Gap関数の定義  

$$g(\theta) = \mathbf{x}^* - \Delta \cdot \{(\Omega \cdot \mathbf{q} \otimes \theta) \otimes \mathbf{P}(\Delta^T \cdot \mathbf{t}(\mathbf{x}^*))\}$$
- リンク交通量の $\theta$ に関する変化量を下記のように定義

$$\nabla_{\theta} \mathbf{x}^*(\theta) = \lim_{\theta \rightarrow \theta_0} \frac{\mathbf{x}^*(\theta) - \mathbf{x}^*(\theta_0)}{\theta - \theta_0} = -(\nabla_{\mathbf{x}} g(\theta_0))^{-1} \cdot \nabla_{\theta} g(\theta_0)$$

$$\nabla_{\mathbf{x}} g(\theta_0) = \mathbf{I} - \Delta \cdot [(\Omega \cdot \mathbf{q} \otimes \theta) \cdot \mathbf{I}_{(1|t|)} \otimes \mathbf{I}] \cdot \nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P} \cdot \Delta^T \cdot \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t}$$

$$\nabla_{\theta} g(\theta_0) = -\Delta \cdot (\mathbf{P} \otimes (\Omega \cdot \nabla_{\theta} \mathbf{q}))$$

$\theta$ の変化による $\mathbf{x}$ の変化量を上記の感度分析により取得。  
 リンク容量を超えない $\theta$ を求める。

10

### 仮想ネットワークにおける算出結果

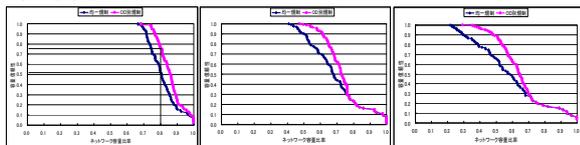
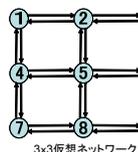
◆設定条件◆

- ✓リンク数: 24
- ✓ノード数: 9
- ✓リンク容量(片方向): 10

各OD需要	ODペア数(種)	リンク機能低下確率	容量低下比率	経行回数(回)
Case1	10	0.3	0.3	100
Case2	10	0.3	0.5	100
Case3	10	0.3	0.7	100

※ODペア: ノード1→9, 2→8, 3→7, 4→6

◆容量信頼性◆



OD別の乗数を設定することでネットワークの効率性は高まる

11

### 実ネットワークにおける適用計算

◆設定条件◆

- ✓リンク数: 110
- ✓ノード数: 33  
(セントロイド: 9)
- ✓リンク機能低下確率: 0.3
- ✓容量低下比率: 0.5



12

### 実ネットワークにおける適用計算

◆被災を想定した場合における道路交通状況◆

被災を想定した場合の容量利用率

ネットワーク容量比率

被災を想定した場合のネットワーク

被災を想定した場合のクリティカルリンク

多少のリンク機能低下  
容量が大きくネットワーク容量...  
ある要求水準を与...の水準を満たす確率  
災害に対して脆弱

混雑度レベル(低)

クリティカルリンク

13

### 防災対策シナリオ評価

◆設定条件◆

- リンク数: 122
- ノード数: 35 (セントロイド: 9)

代替経路の設定条件

発ノード	着ノード	ゼロフロー時の旅行時間	交通容量
17	2	9.5	6000
34	2	7.5	5000
35	5	5.5	5000
34	7	8.5	5000
35	8	4	5000
2	17	9.5	6000
35	22	3.3	5000
35	32	3.3	5000
2	34	7.5	5000
7	34	8.5	5000
5	35	5.5	5000
8	35	4	5000
22	35	3.3	5000
32	35	3.3	5000

シナリオ設定時の道路ネットワーク

14

### 防災対策シナリオ評価

整備有無による容量利用率比較

整備なし

整備あり

ネットワーク容量比率

道路整備により...

防災対策シナリオ設定(道路整備)

脆弱性が解消

- より多くの交通需要を受け入れ代替性あり
- 道路ネットワークの性能向上
- 道路ネットワークの有効かつ効果的活用効果あり

整備ありの場合のクリティカルリンク

15

### 平常時における整備有無の比較

◆平常時における整備有無の比較◆

整備なしの場合の混雑度レベル

整備ありの場合の混雑度レベル

防災対策シナリオ(道路整備)を設定することで、平常時の混雑も大きく軽減

平常時においても効果が期待できる

16

### まとめ

- ネットワーク容量の概念を用いた道路ネットワーク防災性能評価方法の提案
- 仮想ネットワークにおける性能検証
- 実ネットワークにおける適用計算

### 今後の課題

- 計算に多大な時間を要する
- 他の交通規制施策についての試行計算

17