

## 1 はじめに

災害に脆弱な日本においては、道路の途絶が生じても迅速かつ確実に被災者を搬送できる災害に強い道路網整備が重要であると考えられる。そこで、本研究では災害による道路の途絶リスクと、都市にて享受できる機会の両方を定量的に把握する道路網評価指標を提案する。さらに、同指標を用いて限られた予算制約の下で新規道路と医療施設の最適な投資組合せを求める計画モデルの構築をする。

## 2 評価指標の構築

### 2.1 連結信頼性を考慮したアクセシビリティ指標

本研究では、道路の途絶リスクを考慮した評価をするために都市間の道路網は (I) 経路数が多いほど評価が高い、(II) 経路の距離が短いほど評価が高い、(III) 経路が複数ある場合、重複度が長いほど評価が低くなるという3つが評価基準になるものと考えた。

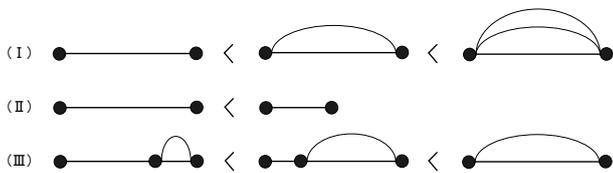


図 2.1 評価基準

また、距離  $l$  の都市  $ij$  間のリンク信頼度は上記の評価基準を満たすように、単位距離当たりの道路が機能する確率  $r$  を与え、式(2.1)と定義する。ここで  $r=1.00$  は道路の途絶リスクを考慮しない場合と考えられる。

$$P_{ij,l} = r^l \quad (2.1)$$

本研究では、土地利用と交通の両要素の複合的効果を定量的に把握することができるポテンシャル型アクセシビリティ指標の考え方を導入する。式(2.1)は道路の途絶リスクを考慮するために、ポテンシャル型アクセシビリティの交通抵抗項に、連結信頼性の概念を導入した指標 (Connective-Potential Accessibility Index : CPAI) である。

$$CPAI_i = \sum_{j=1}^n D_j \times R_{ij} \quad (2.2)$$

$$D_j = g(S_j) \quad (2.3)$$

$$R_{ij} = \sum_{a_{ij} \in 2^{A_{ij}}} P(a_{ij}) \cdot \left\{ \min_{k \in a_{ij}} \exp(-\alpha \cdot d_k) \right\} \quad (2.4)$$

式(2.2)は都市の機会を表しており、医療施設の機会とし

て病床数を用いる。式(2.3)は連結信頼性に距離を考慮した交通抵抗である。また、本研究ではネットワーク全体の評価指標として、ネットワーク内の各都市の CPAI の総和 (Total Connective-Potential Accessibility Index : TCPAI) を式(2.5)にて表す。

$$TCPAI = \sum_{i=1}^n CPAI_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_j \times R_{ij} \quad (2.5)$$

### 2.2 京都府近郊ネットワークにおける評価

図 2.1 に示す主要道路からなる現状の京都府近郊ネットワークを対象とし、各都市の評価を行った。高速道路は十分耐震化が施され途絶が生じないものと仮定した。

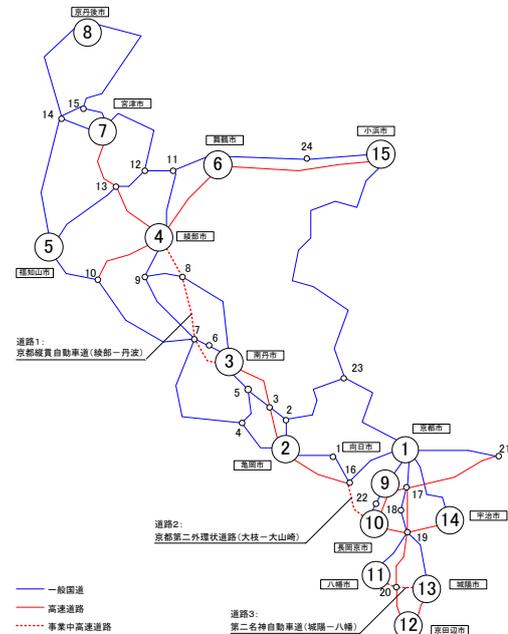


図 2.1 京都府近郊ネットワーク

表 2.1 各都市の CPAI 低下率

番号	地名	人口 (千人)	病床数 (床)	機会充実度 (床/千人)	CPAI の低下率 (%)
1	京都市	1467	14966	10.2	-39.6
2	亀岡市	93	408	4.4	-48.7
3	南丹市	36	624	17.3	-54.6
4	綾部市	37	301	8.1	-51.5
5	福知山市	80	587	7.3	-48.8
6	舞鶴市	91	1178	12.9	-52.0
7	宮津市	22	27	1.2	-52.2
8	京丹後市	63	520	8.3	-49.3
9	向日市	55	201	3.7	-37.6
10	長岡京市	75	1358	18.1	-36.9
11	八幡市	74	548	7.4	-41.6
12	京田辺市	65	569	8.8	-31.9
13	城陽市	81	908	11.2	-34.9
14	宇治市	165	2769	16.8	-35.9
15	小浜市	31	490	15.8	-61.3

表 2.1 より京都府北部は低下率が高く、京都府北部は低下率が比較的低い。これは、京都府北部は高速道路で連結されている都市が少ないために、道路の途絶リスク

を考慮した場合に隣接する都市の機会を享受できなくなる確率が高くなるためだと考えられる。

### 3 道路網・医療施設計画モデルの構築

#### 3.1 モデルの定式化

TCPAI を目的関数とし、新規道路と医療施設の投資組合せを決定する最適化問題は以下のように定式化される。

$$\max.. \quad TCPAI = \sum_i CPAI_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad (3.1)$$

subject to

$$TC \geq \mathbf{x} \cdot \mathbf{c}_x + \mathbf{y} \cdot \mathbf{c}_y \quad (3.2)$$

$$e_j^* \geq e_j \quad (3.3)$$

$$Gini \geq 2 \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^i \frac{W_j}{n\mu} + \sum_{j=i+1}^n \frac{W_j}{n\mu} \right) \right\} \quad (3.4)$$

$\mathbf{x}$  : 投資対象道路の決定変数ベクトル

$\mathbf{y}$  : 投資対象都市の決定変数ベクトル

式(3.2)は道路と医療施設へ予算制約、式(3.3)は投資に対する都市の機会の向上は都市規模に見合った規模で実施されるという制約、式(3.4)はジニ係数によって都市間の不平等さの制約を表している。本モデルは離散的組合せ最適化問題となるので、近似解法として遺伝的アルゴリズムを用いて決定変数を求める。

#### 3.2 京都府近郊ネットワークへの適用

投資対象道路は図 3.1 に示す 3 つの現在事業中の高速道路とし、投資対象都市は都市の機会充実度が 10 以下の都市とする。ここで、以下のようなシナリオを想定し最適解を求めた。

- ・投資対象道路は、1 本のみ開通した場合、2 本開通した場合。
- ・医療施設への投資は 500 床を投資するとし、投資対象都市へ[1]500 床の病院を 1 都市に建設する場合、[2]250 床の病院を 2 都市に建設する場合の 2 通りとする。

表 3.2, 表 3.3, に各 Case の最適解と、TCPAI 値増加率を示す。

道路の途絶を考慮しない場合、道路へ投資するよりも医療施設へ投資するほうが TCPAI 値が高くなり、2 都市よりも 1 都市へ投資するほうが、ネットワークの評価が高くなることからわかる。道路は都市の機会が集中している京都府南部に高速を建設するほうが TCPAI 値が高い。

しかしながら、道路の途絶を考慮する場合では医療施設よりも道路へ投資するほうが TCPAI 値が高くなることがあり、道路 2 よりも道路 1 へ投資するほうがネットワ

表 3.2 道路の途絶を考慮しない (r=1.00)

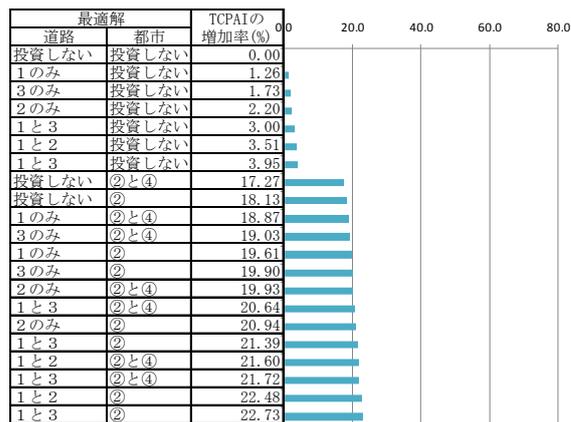
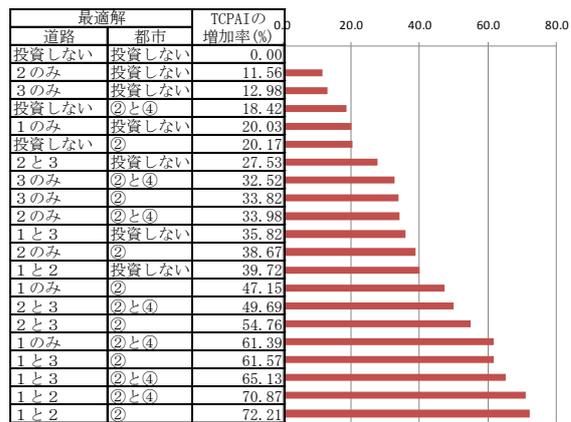


表 3.3 道路の途絶を考慮する (r=0.95)



ークの評価が高くなる、また、道路 1 と 2 の組合せが高く評価されることから、都市の機会が高い京都府南部と都市の機会が低い京都府北部が道路 1 と 2 により、連結が高くなったためだと考えられる。

以上より、道路の途絶を考慮する場合、しない場合において投資する道路と医療施設の最適な組合せが異なることが明らかになった。また、病院の規模、数によっても TCPAI 値が異なることが確認された。さらに、亀岡市は道路の途絶リスクは医療施設の投資を行うのに妥当な都市であると推測される。

#### 4 終わりに

本研究では、災害による道路の途絶リスクと都市の機会の享受を考慮した評価指標、および同指標を用いた道路網・医療施設計画モデルの構築を行い、次のような知見を得た。

- ・評価指標により、現状ネットワークにおいて道路の途絶に対して脆弱な地域を特定できる。
- ・道路の途絶リスクを考慮しない場合とする場合では、最適な道路と医療施設への投資組合せが異なり、途絶を考慮する場合は道路の評価が高くなることがある。