

1 はじめに

災害の多いわが国において、道路網に途絶が生じても確実かつ迅速に被災者を搬送するためには、まず発着地間の経路が確保される必要がある。また、医師の不足や偏在が問題となっている昨今では、医師を適正に配置するための評価方法が必要である。そこで本研究では、道路網の形状による都市間の連結性と都市で享受できる機会を併せて定量的に把握する道路網評価指標を提案する。また、同指標を用いて、総数の限られた医師をネットワークに最適に配置する計画モデルを構築する。

2 アクセシビリティ指標の構築

2.1 非重複経路を考慮したアクセシビリティ指標

本研究では土地利用と交通の両要素を併せて定量的に把握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。都市の機会を医師数 D_j を考える。また交通抵抗は、「ネットワーク内の各 OD ペア間にリンク重複のない経路が N 本存在する時、 $N-1$ 本のリンク途絶時にも全ての OD ペア間は連結している」という N -edge-connected network の概念を援用し、都市 ij 間の非重複経路本数 n_{ij} により連結性を評価する。提案指標の評価概念としては、(1)非重複経路本数が多い方が評価が高い。(2)経路の所要時間が短いほど評価が高い。(3)搬送先の都市に医師が多いほど評価が高い、となる。これをふまえ、交通抵抗を、

$$F_{ij}(t) = 1 - \exp(-\alpha n_{ij}(t)) \quad (式 2.1)$$

とする。ここで α は複数経路確保の重要度を考慮するパラメータである。また、また、救急医療の場では所要時間の短い経路が高く評価されるべきである。そこで時間に関する重みづけとして、カーラーの救命曲線の多量出血時の曲線を参考に、救命率 $f(t)$ として表の値を設定する。

表 2.1 救命率 $f(t)$

| t (分) | ≤ 10 | ≤ 20 | ≤ 30 | ≤ 40 | ≤ 50 | ≤ 60 | ≤ 70 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $f(t)$ | 1 | 0.92 | 0.50 | 0.31 | 0.17 | 0.07 | 0 |

以上をふまえ、次の4つの指標を提案する。

$$A_{ij}(t_i) = D_j \times \{1 - \exp(-\alpha n_{ij}(t_i))\} \quad (式 2.2)$$

$$A_i(t_i) = \sum_j D_j \times \{1 - \exp(-\alpha n_{ij}(t_i))\} \quad (式 2.3)$$

$$AI_i = \sum_t \{A_i(t_i) - A_i(t_{i-1})\} \times f(t_i) \quad (式 2.4)$$

$$AAI = \sum_i AI_i / N \quad (式 2.5)$$

(式 2.2)は都市 ij 間の所定時間におけるアクセシビリティ指標、(式 2.3)は都市 i の所定時間におけるアクセシビリティ指標である。また(式 2.4)は救命率で時間に関して重みづけしたもので、都市 i のアクセシビリティ指標とする。さらに(式 2.5)は(式 2.4)をネットワーク内で平均したもので、ネットワーク全体を評価する指標である。

2.2 指標を用いた重要リンク特定

途絶によりネットワークのアクセシビリティに大きく悪影響を及ぼすリンクを重要リンクとし、重要度を(式 2.6)により算出する。 AAI_a はリンク a 途絶時の AAI である。 $\Delta AAI_a = AAI - AAI_a$ (式 2.6)

2.3 丹後医療圏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京都府丹後医療圏ネットワークを対象とし、各都市の評価を行い、重要リンクを特定する。セントロイドの情報を表 2.1 に示す。



図 2.1 丹後医療圏ネットワーク

表 2.2 セントロイドの情報

| 都市No. | Bゾーン名 | 常住人口 | 外科医師数 |
|-------|---------|-------|-------|
| 1 | 京丹後市4区 | 6545 | 0 |
| 2 | 与謝郡伊根町 | 2718 | 0 |
| 3 | 京丹後市3区 | 15361 | 0 |
| 4 | 京丹後市5区 | 5705 | 3 |
| 5 | 宮津市1区 | 2344 | 0 |
| 6 | 京丹後市1区 | 13258 | 4 |
| 7 | 京丹後市6区 | 11097 | 3 |
| 8 | 京丹後市2区 | 10757 | 0 |
| 9 | 与謝郡岩滝町 | 6539 | 9 |
| 10 | 宮津市2区 | 3926 | 0 |
| 11 | 与謝郡野田川町 | 10841 | 0 |
| 12 | 宮津市3区 | 15242 | 0 |
| 13 | 与謝郡加悦町 | 7526 | 0 |

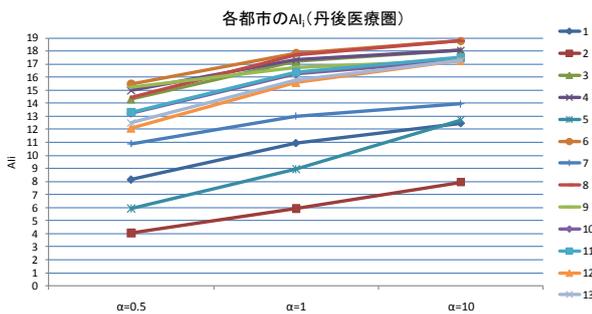


図 2.2 各都市の AI_i

図 2.2 より、都市 2 の AI_2 が特に小さい。都市 2 はネットワークの端に位置する都市であり、医師の存在する都市への 20 分以内の経路が存在していないことが確認されている。また重要リンクは図 2.1 において、 ΔAAI_α 値が上位 5%、20% のものをそれぞれ赤、橙色に着色している。重要なリンクとして、都市 5 から都市 9 にかけてのものがある。このリンクは、 AI_i 値の小さな都市 2 および都市 5 にとってネットワーク内の医師にたどりつくために非常に重要な箇所といえる。また、丹後医療圏外のリンクは、丹後医療圏内の都市間のアクセシビリティに大きな影響は与えないことがわかる。

3 医師配置計画モデルの構築

3.1 モデルの定式化

AAI を目的関数とし、最適な医師配置を決定する最適化問題は以下のように定式化される。

$$\text{Max } AAI = \sum_i AI_i / N \quad (式 3.1)$$

$$\text{Subject to } \sum_j D_j = D_{total} \quad i \in V \quad (式 3.2)$$

$$AI_i \geq AI_{min} \quad \forall i \in V \quad (式 3.3)$$

$$\frac{D_k}{\sum_i M_i \times P_{ij}} \geq (D/M)_{min} \quad (式 3.4)$$

決定変数は各都市に配置される医師数 D_j であり、(式 3.2)

は総医師数の制約、(式 3.3) は都市の AI_i の最小値保障、(式 3.4) は需要が集中しすぎないよう医師数とその都市に集まる人口の比を制約している。本モデルは凸計画問題である。

3.2 丹後医療圏ネットワークへの適用

図 3.1 は(式 3.3) で保障する AI_i 最小値を $AI_{min} = 0$ から 0.1 ずつ増加させたときの目的関数 AAI および D_j の変化である。

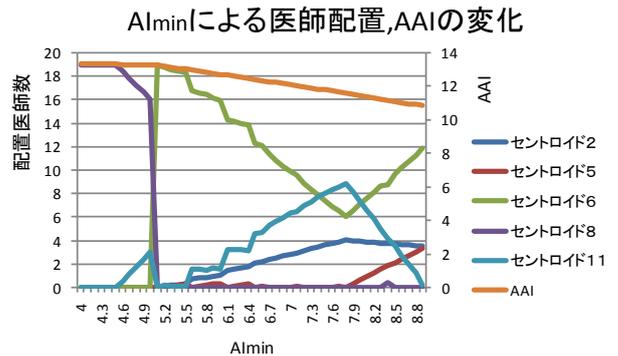


図 3.1 AI_{min} による医師配置、目的関数値の変化

AI_{min} が小さい時にはセントロイド 8 に医師を配置することで AAI は最高値をとる。 AI_{min} を増加させるにつれ、8 に配置していた医師がセントロイド 6 へと移り、同時にセントロイド 2, 11 へも徐々に配置され始める。最終的にはセントロイド 2, 5, 6, 8, 11 に医師が配置される。 AAI を最大にしていた配置はネットワーク中央部に集中配置であるが、都市間の公平性が增大するにつれて医師の配置はネットワークの外側へと広がることになる。

4 終わりに

本研究では、非重複経路を考慮した、都市間連結性と都市の機会を併せて評価する指標、および同指標を用いた医師配置計画モデルの構築を行い、次のような知見を得た。

- (1) 提案した指標によりネットワークの形状による都市のアクセシビリティが評価でき、さらに重要リンクを特定することができる。
- (2) ネットワークのアクセシビリティを最も高めるのは中央集中配置時である。
- (3) 都市間の公平性を考慮することにより、医師配置は分散し、ネットワークのアクセシビリティは下がる。