地域間の相互支援に着目した災害時人員供給能力の評価

Assessment of Personnel Supply Ability in Disaster with a Focus on Mutual Support between Regions

佐藤　千仁*
Kazuto SATO
*レジリエンス計画・地域計画科学研究室（指導教員：奥村誠 教授）

災害からの早期回復をする上で，災害時の緊急対応の人員確保は重要なテーマである．よって本研究では，ハザード発生の仕方が不確実であることを踏まえ，地域間の相互支援を念頭に対応人員が最も不足するワーストパターンに着目し人員供給能力を分析する．そして，宮城県の医療人員を対象に，災害の広がりと強度を変化させながらワーストパターンを求め，その変化を分析した．この結果，宮城県内の災害対応能力は，地域間の供給能力やアクセスの差，中心部の人口集中に依存していることが確認できた．

Key Words: 災害対応，レジリエンス，広域支援

1. はじめに

近年，災害からの早期回復で損失を最小化する，減災の観点が重要視され，災害時の緊急対応のための人員の確保が大きなテーマとなっている．

本研究では，災害発生後の地域間の支援を考慮した上での人員不足の発生パターンを分析，把握することを目的とする．特に，ハザードがどのような分布で発生するのかが不確実であることを踏まえ，最も影響が大きいワーストパターンにおいても対応のための人員が確保できるかどうかに着目して分析を行う

2. 災害後の対応人員不足の計算，評価方法

災害発生後の要対応地域内の需要に，地域内の供給と地域外からの支援で対応することを考える．

対象地域の単位となる地域をノード，その有向の接続をエッジとするネットワークを定義し，災害発生後に要対応となったノードを 0-1 変数δ_kの組$\boldsymbol{\delta}$で指定する．$\delta_k = 1$のノードの総和として，内部需要量 ID，内部供給量 IS，外部支援量 ES，および不足量 W を定義する．さらに$\boldsymbol{\delta}$から，要対応地域の内外をつなぐエッジを表すz_{ij}と，一定時間内に要対応ノードに到達可能なノードを表すy_kという 0-1 変数を得る．これらから，エッジ輸送量 EC と外部供給能力 OS を得て，その小さい方から ES を定める．

ワーストパターンは W を最大化する$\boldsymbol{\delta}$であり，次のような MIP（混合整数計画問題）で求めることができる．

$$\max_{\delta} W = ID - IS - ES$$

$$\text{s.t.} \quad ID = \alpha \Sigma_k P_k \delta_k, \quad IS = \Sigma_k S_k \delta_k$$

$$ES \geq (1-d)OS = (1-d)\Sigma_{k\in N} S_k y_k$$

$$ES \geq dES = d\gamma \Sigma_{ij\in E} C_{ij} z_{ij}$$

$$d \geq (\Sigma_{k\in N} S_k y_k - \gamma \Sigma_{ij\in E} C_{ij} z_{ij})/(\Sigma_{k\in N} S_k)$$

$$d - 1 \geq (\gamma \Sigma_{ij\in E} C_{ij} z_{ij} - \Sigma_{k\in N} S_k y_k)/(\gamma \Sigma_{ij\in E} C_{ij})$$

$$z_{ij} \geq \delta_i - \delta_j, z_{ij} \leq \delta_i, z_{ij} \leq 1 - \delta_j \qquad \forall ij \in E$$

$$y_k \leq \Sigma_{ij\in E} U_{ijk} z_{ij} \qquad \forall k \in N$$

$$y_k \leq (1 - \delta_k), \qquad \forall k \in N$$

$$y_k \geq (\Sigma_{ij\in E} U_{ijk} z_{ij})/(\Sigma_{ij\in E} U_{ijk}) - \delta_k, \qquad \forall k \in N$$

$$\Sigma_{k\in N} \delta_k \leq K$$

$$\delta_k, z_{ij}, y_k, d = \{0,1\} \qquad \forall k \in N,, \forall ij \in E$$

上記のモデルにおいて，Kは同時に要対応となるノード数の上限，αは人員需要量の係数のパラメータで，それぞれ災害の広がり，災害被害の強度に対応する．現実の地域のネットワークに対しKとαを変えながらワーストパターンを読み取ることで，地域における災害時の対応人員供給能力の評価ができると考える．

3. 宮城県のネットワークの設定

医療人員を例に，宮城県の災害時対応能力を評価するため，**図 1** のようなネットワークを設定する．まず，県内の 39 の市区町村を北から順に並べて県内ノードとし，要対応ノードを選ぶ対象とする．さらに隣接する 12 の県外市区町村を県外ノードとする．また，平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 [1)]より，市区町村境に道路が存在する市区町村間に 270 個の有向のエッジを設定する．

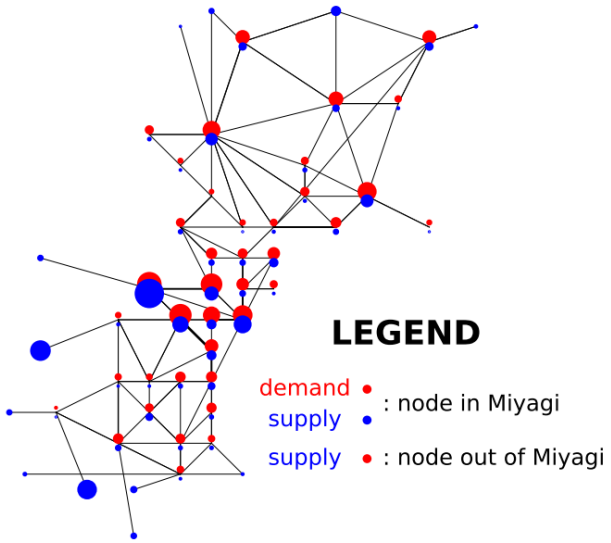

図 1 宮城県のネットワークの概略図

各ノードの供給量S_iは医師数 [2] を与える．需要量は，年代別人口で決まる医療需要量に比例するように与える．また，エッジの輸送量は市区町村間毎に道路容量[1]を集計した値に比例させて与える．

4.　宮城県のワーストパターン分析

Kとαを変えながらワーストパターンを分析した．宮城県では仙台市内における需要量と供給量がともに大きなノードが要対応になるか否かで，ワーストパターンは大きく変化する．そこで，青葉区，宮城野区，泉区，太白区のいずれも選択されていない場合をフェーズ 1，一部のみ選択される場合をフェーズ 2，全て選択される場合をフェーズ 3 と区別することとした．

まず，αを 1.00 から 3.50 まで 0.05 刻みで変化させたワーストパターンを，$K = 2,6,14,30$に対して求めた結果をそれぞれ**図 2,3,4,5** に示した．これらの図では，横軸にαをとり，北から並べたノードについて，$\delta_k = 1$（要対応）を赤，$y_k = 1$（支援）を青で表示した．また，フェーズ 1,2,3 をそれぞれ赤,緑,青の矢印で示した．

結果として，Kがいずれの場合でも，αの値が小さいときには北部のノードから多く選ばれており，αの値が大きくなると南北の中間のノードが選ばれている．また，$K = 2$では，αの値に対しフェーズ 1 が長く続いている一方，$K = 6,14,30$と大きくなるにつれ，フェーズ 1 と 2，フェーズ 2 と 3 の境界を与えるαの値が小さくなっていることが分かる．

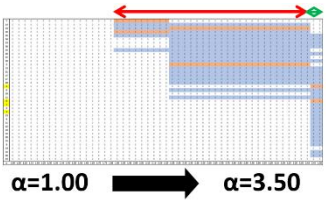

図 2 αによる変化($K = 2$)

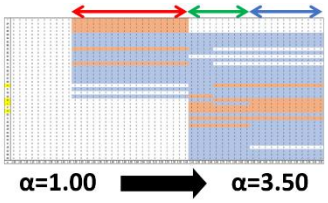

図 3 αによる変化($K = 6$)

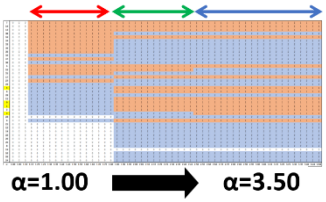

図 4 αによる変化($K = 14$)

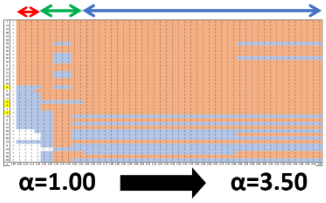

図 5 αによる変化($K = 30$)

次に，Kを 1 から 39 まで変化させたワーストパターンを，$\alpha = 1.50, 2.00, 3.00$に対して求めた結果をそれぞれ**図 6,7,8** に示した．

$\alpha = 1.50$では，Kの値に対しフェーズ 1,2 のみが出現している．$\alpha = 2.00$では，Kが大きくなるにつれ，フェーズ 1,2,3 の順に出現しており，$\alpha = 3.00$では，フェーズの境界となるKの値が小さくなっている．

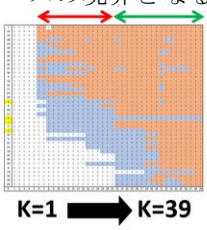

図 6 Kによる変化 ($\alpha = 1.50$)

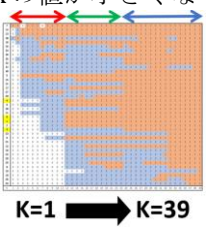

図 7 Kによる変化 ($\alpha = 2.00$)

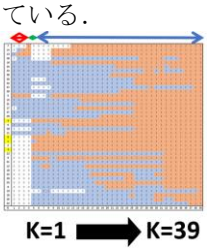

図 8 Kによる変化 ($\alpha = 3.00$)

以上の変化の原因を考察するため，ワーストパターン時の不足量 W，内部需要量 ID，内部供給量 IS，外部支援量 ES の値を，横軸K，縦軸αの平面上の色分け図として **図 9,10,11,12** に示した．また，**図 3~6** に対応する$K = 2,6,14,30$に白線を引き，フェーズ 1 と 2，2 と 3 の境界をそれぞれ赤と黒の点でプロットした．**図 9** より，K，αが大きいほど W の値は大きくなり，その増加の割合はフェーズが進むにつれ大きくなっている．また，**図 10,11,12** より，フェーズ 1 と 2，2 と 3 の境界では ID と IS が大幅に増加している一方，ES はフェーズ間の数値変化が小さいことが読み取れる．

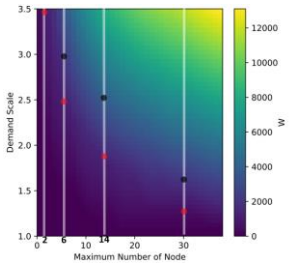

図 9 人員不足量 W

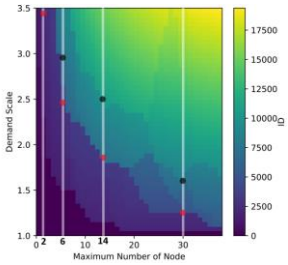

図 10 内部需要量 ID

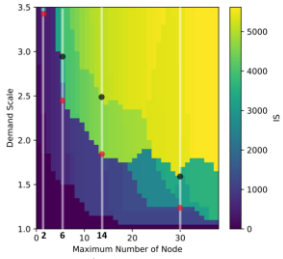

図 11 内部供給量 IS

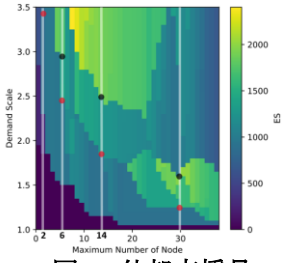

図 12 外部支援量 ES

以上から，宮城県の災害時の対応人員供給能力を評価する上で重要と思われる以下の知見が得られた．

① 北部は内部の供給量が小さく，大きな供給量をもつ地域から離れており支援を受けにくいため，狭い範囲の小規模な災害でも人員不足が生じやすい．

② 人口の大きな中心部では，内部の供給量も大きく，強度の小さな災害では不足が生じにくい．しかし，災害の広がりや強度が大きくなると，支援側から受援側にシフトし，大きな人員不足を生じる．

③ 南部は内部の供給量は小さいが，大きな供給量のある地域からの支援が得やすいため，人員不足を生じにくい．

5.　おわりに

本研究では，地域間の相互支援を考慮して災害時の対応人員不足が最大化されるパターンを求め，その変化傾向を分析した．これにより，宮城県の災害対応能力の不足が，地域間の供給能力やアクセスの差，中心部の人口集中に依存していることが確認できた．

今後は，対応能力の不足を効率的に解消する対応策，他地域との比較や，災害時と平時の効率性のバランスに着目した研究を行う方針である．

参考文献

1)　国土交通省：平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査　集計表

2)　日本医師会：地域医療情報システム https://jmap.jp/（参照 2023-02-07）

(2023 年 2 月 7 日提出)