

施設閉鎖情報の移動距離削減効果

02602330 筑波大学 *宮川 雅至 MIYAGAWA Masashi
01102840 筑波大学 腰塚 武志 KOSHIZUKA Takeshi
01009480 筑波大学 大澤 義明 OHSAWA Yoshiaki

1 はじめに

災害時には被害を受けた施設に関する情報が十分に得られないことも多い。阪神・淡路大震災では電話の輻輳や故障のため病院間あるいは病院消防間の医療情報交換が非常に制限され、33%の医療機関が情報交換が不能で孤立した。その結果、重傷負傷者を搬送する際に、市内の医療機関の受入状況が把握できず直近の医療機関への搬入が繰り返され、大混乱に陥った [1]。

本研究では、施設が閉鎖された際に、施設閉鎖情報の提供が移動距離をどの程度減らせるのかを分析する。平面上の規則的配置（正方格子、三角格子、六角格子）を分析の対象とする。

2 k 次近隣距離

施設が閉鎖されずに残る確率を施設残存率と呼び p で表す。残存率 p は全ての施設に対して同一であり、施設の閉鎖は互いに独立であると仮定する。最も近い施設が閉鎖された場合には2番目に近い施設を利用し、2番目も利用できなければ3番目というように施設利用に対して単純な幾何分布を仮定する。

情報が得られるときと得られないときの施設への移動を図1に示す。○が閉鎖した施設、●が残った施設を表している。最寄り施設が利用できないとき、完全情報の場合には、最初から利用できる最も近い施設に向かうことができる。しかし、情報がなければ、施設に到着して初めて閉鎖されていることを知り、そこから別の施設に向かうことになる。さらに、移動先の施設も利用できなければ、また別の施設に向かうことになる。このように、閉鎖されずに残った施設に到達するまで、施設を順に辿るような移動を行うものとする。

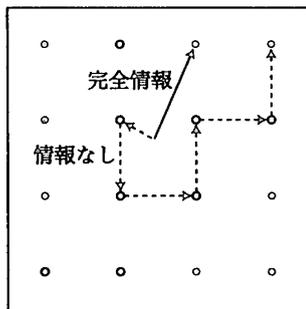


図 1: 情報提供と施設への移動 (正方格子)

2.1 完全情報

完全情報の場合、図2に示す施設が k 番目に近い領域 (k 次ボロノイ多角形) を用いることで、 k 次近隣距離分布 $f_k(r)$ ($k = 1, \dots, 7$) が解析的に求まる [2]。

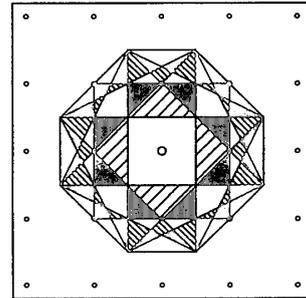


図 2: 施設が 1, 2, ..., 7 番目に近い領域 (正方格子)

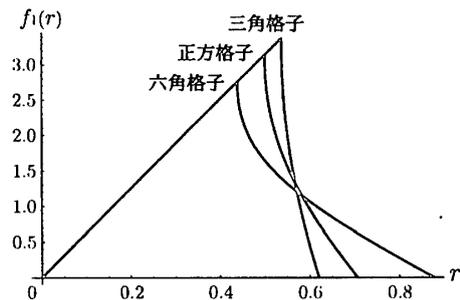


図 3: 最も近い施設までの距離分布

最も近い施設までの平均距離は三角格子が最小となるが、2番目は六角格子、3番目は三角格子が小さくなる。距離の標準偏差は1番目は三角格子、2, 3番目は六角格子が小さい。

2.2 情報なし

情報が得られない場合、 k 番目に訪れる施設までの距離 R_k は、施設間距離を a とすると、

$$R_k = R_1 + (k - 1)a \quad (1)$$

として求まる。ここで、正方格子、三角格子、六角格子の施設間距離 a は施設密度を ρ としてそれぞれ

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho}}, \quad a = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}\rho}}, \quad a = \frac{2}{\sqrt{3\sqrt{3}\rho}} \quad (2)$$

と表せる。 k 番目に訪れる施設までの距離分布 $f_k(r)$ は図3の最近隣距離分布を正の方向に $(k - 1)a$ だけ平行移動することで得られる。施設間距離 a は六角

格子が最も小さいため、 k が大きくなると六角格子の $f_k(r)$ が規則的配置の中で最も左側に位置するようになる。実際、2番目以降に訪れる施設までの平均距離は六角格子が最小となる。ただし、分布型は変化しないため、標準偏差は常に三角格子が最小となる。

3 施設閉鎖時のアクセス距離

施設が一様にかつ独立に閉鎖される場合、利用可能な最寄り施設までの平均距離 $E(R)$ は k 番目に近い施設を利用する確率が $(1-p)^{k-1}p$ であるから、 k 次近隣距離の平均値 $E_k(R)$ を用いて次式で表される：

$$E(R) = p \sum_{k=1}^{\infty} (1-p)^{k-1} E_k(R) \quad (3)$$

3.1 完全情報

完全情報の場合、7番目までの $E_k(R)$ の厳密な値とそれ以降の高次の距離については上限値と下限値を用いることにより、式(3)から平均距離 $E(R)$ の上限値と下限値が求まる。図4は平均距離の三角格子の上限値、および正方形・六角格子の下限値を表している。施設残存率が68.7%以上のときには三角格子の平均距離が正方形や六角格子の平均距離よりも小さいことが分かる。また、公平性の指標として標準偏差で三角格子が最小となる範囲を求めると、88.8%以上となる。

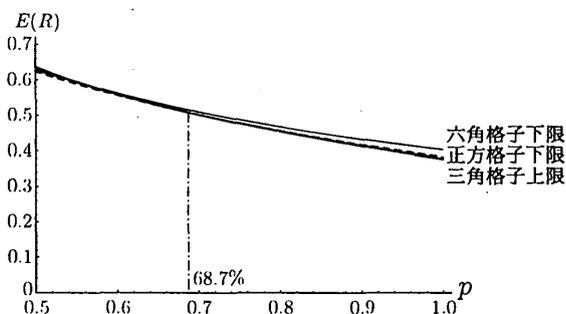


図4: 施設閉鎖時の平均距離 (完全情報)

3.2 情報なし

情報が得られない場合、式(3)に各配置における $E_k(R)$ を代入すれば、平均距離 $E(R)$ が求まる。図5より、残存率が93.2%以上であれば三角格子、85.3%以上93.2%未満であれば正方形、85.3%未満であれば六角格子の平均距離が最も小さくなることが読み取れる。残存率が小さくなると六角格子が効率の良い配置になることは、六角格子の k 次近隣距離分布が k が大きいときに他の配置よりも左側に位置することを考えれば納得できる。したがって、平均値だけでなくメディアンや四分位点を効率性の指標とした場合でも同じことがいえる。

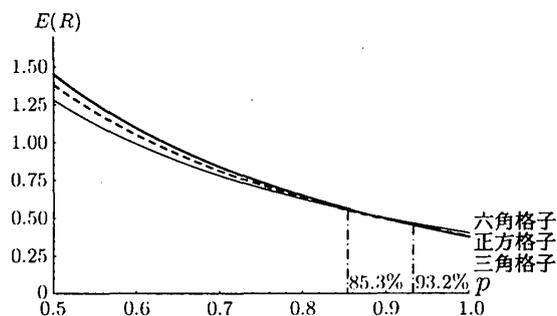


図5: 施設閉鎖時の平均距離 (情報なし)

4 情報の効果

完全情報の場合と情報なしの場合の平均距離を比較したものが図6である。ただし、完全情報の平均距離は上限値のみを示した。すべての施設が利用できる場合 ($p = 1.0$)、完全情報と情報なしの平均距離は一致し、 p が小さくなるに従って、両者の差が大きくなることが確認できる。50%の施設が利用できない場合 ($p = 0.5$)、完全情報の平均距離は情報なしに比べて、正方形46.2%、三角格子43.8%、六角格子50.2%となっている。施設閉鎖情報の提供によって、移動距離を約半分に抑えられることが分かる。

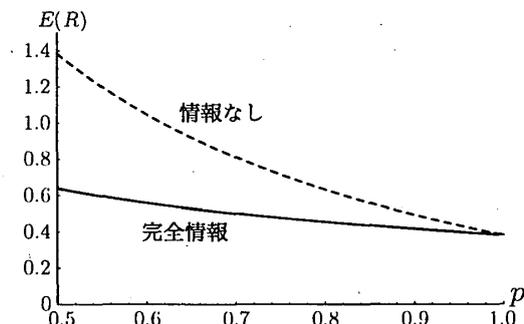


図6: 情報提供による平均距離の削減効果 (正方形)

5 おわりに

本研究で得られた知見は次の2点である。

- (1) 施設が閉鎖され、情報が得られない場合には三角格子状配置が常に最適とは限らないことを示した。
- (2) 完全情報の場合と情報が得られない場合とを比較することにより、施設閉鎖情報の提供効果を評価した。

参考文献

- [1] 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, 編: 都市安全システムの機能と体制. 阪神・淡路大震災調査報告, 丸善, 1999.
- [2] 宮川雅至, 大澤義明, 腰塚武志: 施設の開設・閉鎖に伴う移動距離変化と頑健な規則的配置, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 47, pp.1-24, 2004.