

平成22年5月20日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20710115

研究課題名（和文）k次近隣距離分布を用いた施設配置の頑健性評価

研究課題名（英文）Evaluating reliability of facility location using the kth nearest distance distribution

研究代表者

宮川 雅至（MIYAGAWA MASASHI）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・助教

研究者番号：50400627

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、閉鎖に対する施設配置の頑健性を評価することにある。まず、住民からk番目に近い施設までの距離の分布（k次近隣距離分布）を規則的配置とランダム配置に対して導いた。これを用いて、施設閉鎖によって利用可能な施設までの距離がどの程度増加するのかを分析した。また、実際の公共施設配置を用いて、道路距離の下でのk次近隣距離分布を計測し、連続平面上の直線距離や直交距離に基づくモデルが、ある程度現実にも適用可能であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to evaluate the reliability of facility location when some of the facilities are closed. The distribution of the distance from customers to the kth nearest facility is derived for regular and random patterns of facilities. As an application of the kth nearest distance, we examine the distance to the nearest open facility when some of the facilities are closed. The kth nearest distance distribution on a road network is also obtained to confirm that the distance on a continuous plane gives an estimate for the network distance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：都市工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：施設配置，頑健性，距離分布，空間解析，最適配置，モデル分析

1. 研究開始当初の背景

病院や消防署など緊急対応型の施設は、住民に対して常に安定的にサービスを提供することが求められる。したがって、ある施設が災害や混雑によってサービスを提供でき

ない場合においても、別の施設が対応するというバックアップ機能の確保が必要である。このような視点から施設配置の評価を行うためには、利用者の最寄りだけでなく2番目、3番目に近い施設までの距離をも考慮しなけ

ればならない。

研究代表者である宮川は【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, 1-23, 2004】において, 施設の立地場所として規則的配置(正方格子, 三角格子, 六角格子)とランダム配置を考え, 1~7番目に近い施設までの k 次近隣距離分布を解析的に導いた。 k 次近隣距離分布とは, 利用者から k 番目に近い施設までの距離の密度関数であり, どの程度の距離を移動する人が何人いるかを示すものである。この k 次近隣距離分布を用いて, 施設が閉鎖された場合に利用可能な施設までの距離がどの程度増加するのかを分析した。規則的配置やランダム配置での分析が実際の配置に適用できることも確認した。さらに, 【宮川雅至: 規則的配置における k 次近隣距離, 第63回形の科学シンポジウム, 22(1), 39-40, 2007】では8番目以降の k 次近隣距離に関して, 宮川他(2004)で求めたものよりも良い上限値・下限値を与えた。

本研究では, これら k 次近隣距離分布とその上限値・下限値を用いて, 宮川他(2004)のモデルを発展させる形で, 閉鎖を考慮した施設配置モデルを構築する。そして, モデルを実際の公共施設に適用し, 配置の頑健性を評価する。

2. 研究の目的

本研究は, 利用者から k 番目に近い施設までの距離の分布(k 次近隣距離分布)を用いて施設配置の頑健性を評価することにより, 不確実性に強い都市の設計に資することを目的とする。

すなわち, 施設配置の頑健性を評価するための基礎モデルを提供する。規則的配置とランダム配置という単純なパターンを対象としているが, 実際の公共施設の配置はこれらの中間とみなせることが多い。効率の良い配置の代表として規則的配置, 効率の悪い配置の代表としてランダム配置, という両極端に対する厳密な結果は, 実際の施設配置に対する基本的かつ汎用的なベンチマークとなり得る。

また, 閉鎖を伴わない通常の施設配置問題においては, 人口分布が一様であるという条件の下で, 三角格子状配置が最適であることが知られている【Iri, M., Murota, K., and Ohya, T.: A fast Voronoi diagram algorithm with applications to geographical optimization problems, In Throft-Christensen, P., editors, Proceedings of the 11th IFIP Conference on System Modelling and Optimization, 273-288, Springer-Verlag, Berlin, 1984】。この三角格子の最適性が施設閉鎖を考慮した場合にも

成立するかどうかを検証することには, 理想的な配置に関する共通の理解を得るという意義がある。

本研究で提案するモデルは単純であるがゆえに, これを基礎としてより複雑な要因を考慮した分析への発展性を有している。また, 災害時の情報提供や施設の耐震補強など様々な政策の効果を, このモデルを用いて評価することもできる。このように, 本研究は不確実性に強い頑健な都市の設計に資することが期待できる。

3. 研究の方法

(1) k 次近隣距離分布の導出

規則的配置とランダム配置を対象として, 直線距離・直交距離の下での k 次近隣距離分布を解析的に導く。そして, k 番目に近い施設までの距離の平均値や標準偏差を比較する。また, k が大きい場合には, 距離分布の解析的表現が困難であるため, 代わりに k 次近隣距離の上限値・下限値を求める。

(2) 閉鎖を伴う施設配置モデルの構築

k 次近隣距離分布を用いて, 施設閉鎖によって利用可能な施設までの距離がどの程度増加するのかを分析する。そして, 施設までの距離の平均値や標準偏差を評価指標として, 規則的配置とランダム配置の比較を行い, 頑健な施設配置を明らかにする。

(3) 実際の施設配置の頑健性評価

実際の公共施設の位置データ, および地域の人口データ, 道路ネットワークデータを用いて, 道路距離の下での k 次近隣距離分布を求める。そして, 規則的配置やランダム配置のモデルから得られた結果と比較することにより, 配置の頑健性を評価する。

4. 研究成果

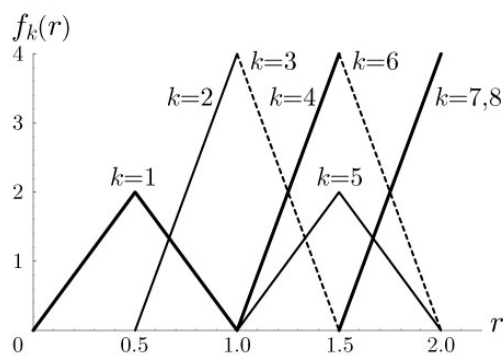
(1) k 次近隣距離分布の導出

規則的配置とランダム配置を対象として, k 次近隣距離分布を解析的に導いた。その際, 利用者から施設までの距離の計測には, 代表的な距離である直線距離と直交距離を採用した。直線距離は距離に関係したモデルで最も頻繁に使われており, 空間の隔たりを表現するものとして重要な意味を持っている。一方, 直交距離は京都や札幌のような格子状の道路網を有する都市での距離を表現するのに適している。

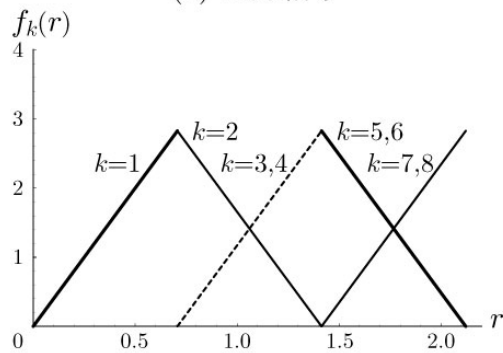
直線距離の下での k 次近隣距離分布は, 3種類の規則的配置(正方格子, 三角格子, 六角格子)の1~7番目が宮川他(2004)にて求められているので, 8番目以降の距離に関して, これまで得られている上限値・下限値の改善を試みた。この上限値・下限値は既存研究で得られているものに比べて良いことが

確認できた。ランダム配置に関しては、一般の k に対して [Dacey, M.F.: Order distance in an inhomogeneous random point pattern, Canadian Geographer, 9, 144-153, 1965] にて距離分布が求められているので、これを用いた。

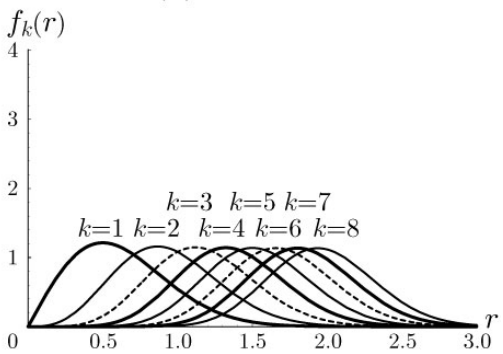
直交距離の下での k 次近隣距離分布は、ランダム配置の 1 番目が [Larson, R.C., Odoni, A.R.: Urban Operations Research, Prentice-Hall, 1981] で得られているのみである。したがって、2 種類の規則的配置 (正方格子, ダイヤ格子) の 1-8 番目まで, およびランダム配置の一般の k に対する k 次近隣距離分布を新たに導出した (図 1)。また, 解析的表現が困難な高次の距離に関しては, 距離分布の代わりに上限値・下限値を求めた。



(a) 正方格子



(b) ダイヤ格子



(c) ランダム

図 1: 直交距離の下での k 次近隣距離分布

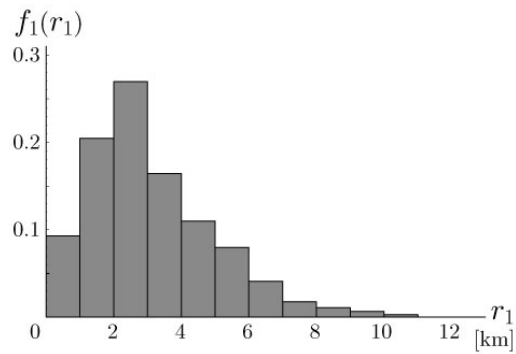
(2)閉鎖を伴う施設配置モデルの構築

求めた k 次近隣距離分布を用いて, 閉鎖を伴う施設配置モデルを構築した。施設が独立に閉鎖される状況を考える。住民は日常的に最寄りの施設を利用することとし, 最寄りが閉鎖された場合には 2 番目に近い施設, 2 番目も閉鎖された場合には 3 番目に近い施設, というように施設利用に関して単純な幾何分布を仮定する。そして, 住民が k 番目に近い施設を利用することになる状況を明らかにした上で, 利用可能な施設までの平均距離を求めた。これにより, 施設閉鎖率や施設密度が平均距離に及ぼす影響を理論的に把握することができた。

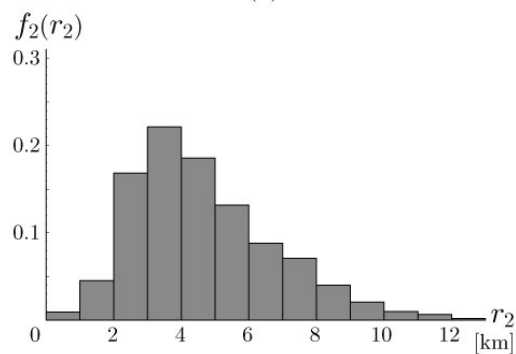
さらに, 施設までの平均距離を規則的配置とランダム配置で比較することによって, 頑健な配置を明らかにした。直線距離の場合, 68%以上の施設が閉鎖されずに残るならば, 三角格子状配置が望ましい配置であることが分かった。直交距離の場合には, 73%以上の施設が残るならば, ダイヤ格子状配置が望ましい配置となることが分かった。

(3)実際の施設配置の頑健性評価

構築した施設配置モデルを実際の施設配置に適用するために, 公共施設の位置データ, 道路ネットワークデータなどの地理情報データ, および作成済みの最短経路探索プログラムを用いて, 道路距離の下での k 次近隣距離分布を計測した。



(a)



(b)

図 2: 病院までの距離分布

図2は茨城県つくば市における最も近い病院、および2番目に近い病院までの距離分布である。

そして、規則的配置やランダム配置のk次近隣距離分布と比較することにより、直線距離や直交距離に基づくモデルがある程度、現実に適用可能であることを確認した。

さらに、施設が閉鎖された場合に、住民から利用可能な施設までの平均距離がどの程度増加するのかを、施設の閉鎖パターンを様々に変化させたシミュレーションを用いて分析した。実際の施設配置における平均距離は、規則的配置やランダム配置のモデルから見積もり可能であることが分かった。

(4)閉鎖情報の提供効果の計測

災害発生直後のような混乱した状況では、施設閉鎖に関する情報が十分に得られないことも多い。情報が得られる場合には、利用者は居住地から直接、最寄りの利用可能な施設へ向かうことができる。しかし、情報が得られない場合には、利用可能な施設を探し回らなければならない。そこで、閉鎖情報が得られない状況を記述するモデルを新たに構築し、住民から利用可能な施設までの平均距離を求めた。

そして、閉鎖情報が得られる場合と得られない場合とを比較することで、情報の提供効果を計測した。その結果、閉鎖情報を提供することで住民の移動距離を大きく減らすことができることが分かった。例えば、規則的配置に対しては、施設閉鎖率が20%のとき情報が得られる場合の平均距離は得られない場合の70~75%、閉鎖率が50%のとき44~49%、閉鎖率が80%のとき27~31%となる。ランダム配置に対しては、情報が得られる場合の平均距離は得られない場合の89%、67%、39%となる。

また、閉鎖情報が得られるかどうかで最適な配置パターンが異なることが明らかになった。すなわち、情報が得られる場合には三角格子が最適となるが、情報が得られない場合には正方格子や六角格子も最適になる場合があることが明らかになった。

(5)研究成果の位置付けと今後の展望

以上の研究成果は、不確実性に強い都市を設計するための基礎となる。構築したモデルを用いれば、施設閉鎖による損失の大きさを移動距離の増分として見積もることができる。また、施設の補強や増設、閉鎖情報の提供など様々な政策の効果を実量的に把握することもできる。都市計画のための予算は限られているため、これらの成果は政策の優先順位を決定するための有用な資料となる。

本研究の主題であるk次近隣距離分布は最近隣距離分布の一般化である。最近隣距離分

布はこれまで施設配置だけでなく、平面上の点分布パターンの解析に用いられてきた[Cressie, N.: Statistics for Spatial Data. John Wiley & Sons, New York, 1993]. したがって、k次近隣距離分布を点分布パターン解析へ応用することも期待できる。

今後取り組むべき研究課題としては、施設だけでなくアクセスとしての道路が閉鎖される可能性も含めて一体的に頑健性を評価すること、病院と診療所のように施設の規模や階層構造を分析対象に含めること、人口分布が一様でない場合を考慮すること、などが挙げられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ①. Miyagawa, M.: Effect of Facility Closing Information on Travel Distance, Journal of the Operations Research Society of Japan, 52, 468-476, 2009. [査読有]
- ②. Miyagawa, M.: Order Distance in Regular Point Patterns, Geographical Analysis, 41, 252-262, 2009. [査読有]
- ③. Miyagawa, M.: Analysis of Facility Location Using Ordered Rectilinear Distance in Regular Point Patterns, FORMA, 23, 89-95, 2008. [査読有]

[学会発表] (計3件)

- ①. Miyagawa, M.: Order Distance in Regular Point Patterns, 23rd European Conference on Operational Research, 2009年7月8日, グスタフ・シュトレゼマン研修所(ドイツ).
- ②. 宮川雅至: 高次の直交距離を用いた施設配置の分析, 都市のORワークショップ, 2008年12月21日, 南山大学.
- ③. Miyagawa, M.: Analysis of Facility Location Using Order Rectilinear Distance in Regular Point Patterns, 11th International Symposium on Locational Decisions, 2008年6月27日, カリフォルニア大学サンタバーバラ校(米国).

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮川 雅至 (MIYAGAWA MASASHI)
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・助教
研究者番号: 50400627