

## GIS への最適配置モデルの導入 ―システム開発と適用―

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 貞広幸雄

### 1. はじめに

近年、ソフトウェアの低価格化と空間データの普及に伴い、GIS の利用が多くの分野に広がりつつある。カーナビゲーションや、Google Earth に代表される地図コンテンツ、携帯電話への情報配信に代表される LBS(Location-Based Service)など、位置情報を含む様々なデータを利用したサービスは、ここ数年で急速に普及している。GIS はこうした位置情報を扱う最も基本的なプラットフォームであり、商用目的だけではなく、公的あるいは研究目的でも、空間現象を扱う際には必要不可欠な道具となっている。

一方、数理計画の一分野である空間的最適化問題においては、空間データを必然的に扱うにもかかわらず、GIS を利用した事例は必ずしも多いとは言い難い。施設配置計画や最短経路探索など、位置情報に基づいた最適化では、空間データの持つ座標情報に基づいた計算が行われる。ところが、こうした位置情報や位相情報の操作は、GIS の外部において個別のソフトウェアや独自のプログラムなどによって行われることが大半であり、複数のソフトウェアやプログラムをその都度組み合わせるといって、やや煩雑な作業を伴うことになる。

そこで本研究では、GIS と空間的最適化モデルをより円滑に結びつけるための試みの一つとして、都市施設配置計画立案支援を目的としたシステム構築とその適用を行う。この種のシステムは、その必要性はこれまでも十分認識されていたが、実際にシステムとして構築されている例は国内外を問わず極めて少数である。例えば、コンビニエンスストアに代表されるような小売店の出店計画や、宅急便の配送経路探索などが応用例として挙げられるが、実際に民間企業において用いられているシステムでは、空間的最適化モデルは限定的に用いられているに過ぎない。そこでここでは、GIS と空間的最適化モデルを、より汎用性の高いシステムとして結合することで、今後の応用可能性を探ることを目指す。

### 2. 最適化問題の概略

本研究では、容量・距離制約のある施設配置問題を扱う。具体的には、学校や公民館、警察署、消防署など、そのサービス受給者及び利用圏域の限られた公共施設を取り上げ、様々な制約条件下でその設置及び配置の最適化を検討する。

上記のような公共施設の場合、十分なサービスを提供するという条件下で、設置・運営費用を可能な限り抑制することが求められる。特に近年は、公共事業の効率化が重視されていることから、公共施設の設置数はできるだけ少なくすることが望ましい。そこでここでは、少ない施設でのサービス提供を目的とし、施設数を目的関数、容量と距離を主たる制約条件とした定式化を行う。空間的最適化問題としては極めて単純なものであるが、GIS との融合が本研究の主たる目的であることから、まずはこの簡単な問題から試みる。

具体的な定式化は以下の通りである。いま、地域  $S$  内に  $n$  個の点で表現される地点が存在するものと仮定し、地点  $P_i (i=1, \dots, n)$  の位置ベクトルを  $\mathbf{z}_i$  と表す。住民はこれらの離散的な点で表される地点にのみ居住しており、地点  $P_i$  の人口を  $p_i$  とする。住民に対してサービスを提供する施設もまた、これらの離散的な点にのみ立地可能であるものと仮定する。地点  $i$  に立地する施設の最大容量は  $c_i$ 、利用圏を表す限界到達距離は  $D_{\max}$  とする。

施設の利用可能性を示す二値関数を、

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } \|\mathbf{z}_i - \mathbf{z}_j\| \leq D_{\max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

と書く。また、地点  $i$  における施設の有無を  $x_i$ 、地点  $i$  の住民を地点  $j$  の施設に割り当てるか否かを示す二値関数を  $y_{ij}$  とする。

以上の設定のもとで、本研究で扱う施設配置問題の最も基本的な形を、次のように表現することができる。

$$\begin{aligned} & \min \sum_i z_i \\ & \text{s.t.} \\ & y_{ij} \leq \lambda_{ij} x_j, \forall i, j \\ & \sum_i y_{ij} p_i \leq c_i, \forall j \\ & \sum_j y_{ij} = 1, \forall i \\ & x_i \in \{0, 1\}, \forall i \\ & y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \end{aligned}$$

本研究では、この基本モデルに加え、以下のような拡張モデルも取り扱う。

1. 施設の効率的な運営を考慮し、最大容量と同時に最小容量も同時に与える
2. 地理的に不便な地域については、限界到達距離の制約条件を課さない
3. 施設の立地可能地点を  $n$  地点のうちの一部に限定する
4. 同一地点の住民でも、複数の異なる施設に割り当てることを認める
5. 施設数及び施設配置と同時に、住民の割当も最適化する

4については、最小施設数を先に導出し、その結果のもとで、施設までの距離を最小化する住民の割当を考えるという、2段階の最適化を実施する。

### 3. システムの概略

前節で述べた問題を、GISを基盤としてシステム化するために、本研究ではESRI社のArcGIS ver.9.2及び数理システム社のNUOPTを用いる。具体的には、人口分布や施設の位置、及び、距離の計算に用いる道路データ等の管理をArcGISで行い、NUOPTで利用可

能な形に変換する。NUOPT は最適化計算の後、その結果を ArcGIS に渡し、ArcGIS は地図上でそれを表示する、という手順である。この全体の過程は、ArcGIS に装備されている VBA を利用したマクロコマンドとして実装しており、GUI による操作で実行することができる。

#### 4. 実行例

上記システムを実際に利用した例を以下に示す。首都圏に位置する A 市を対象地域とし、一辺 100m のメッシュデータ及び道路ネットワークデータを用意、メッシュデータには人口データを付加している。限界到達距離及び施設容量を様々に変えながら、A 市における公共施設配置計画を考える。

図 1 は、限界到達距離及び施設容量の異なる条件下での計算結果の例である。ここでは、施設の位置及びその利用圏が ArcGIS 上で図示されている。

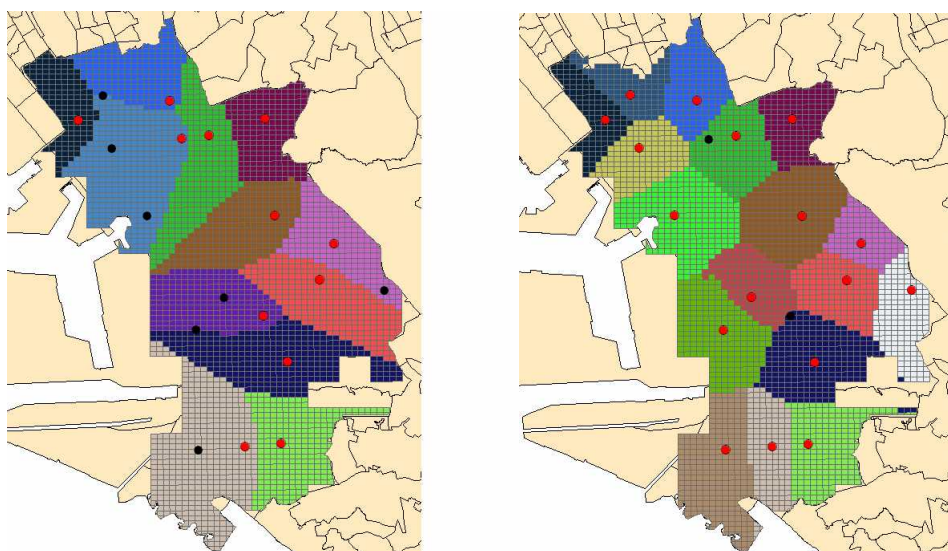


図 1 配置する施設の位置及び利用圏（赤い点が施設の設置地点を示す）

図 2 は、各施設までの利用距離及び利用者数を図化した例である。

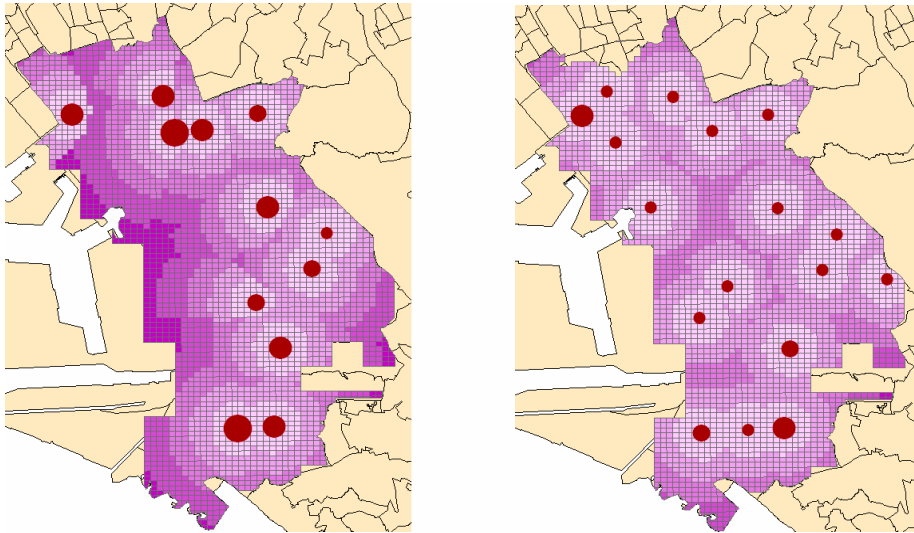


図2 施設までの利用距離及び利用者数

## 5. おわりに

本研究では、GIS と空間的最適化モデルを統合する試みの一つとして、ArcGIS 及び NUOPT を用いたシステムの開発とその適用を行った。GIS は、空間情報を扱う基盤システムとして、既に多くの公的機関や民間企業で利用されている。一方、空間的最適化に対する需要も以前から多く存在するが、空間情報を扱うにも関わらず、GIS との親和性は未だに高いとは言えない。二つのシステムを個別に利用し、情報の受け渡しを手作業で行うため、実際の政策立案などで用いるには未だに障害が大きい。本研究のような試みが今後様々な分野において行われることを期待したい。