

# GIS への空間的最適化エンジンの組込開発

田辺 隆人, 佐藤 誠, 多田 明功, 藤井 浩一, 貞広 幸雄, 貞広 斎子

## An optimization tool for GIS

Takahito TANABE and Makoto SATO and Akinori TADA and Kouichi FUJII  
and Yukio SADAHIRO and Saiko SADAHIRO

### Abstract

We propose a optimal facility location system incorporated in a general-purpose GIS system. The optimal location is obtained by solving a mathematical programming problem whose parameters/constraints are given by GIS system embedded interface. By using the GIS system operation, the users easily display the result of the optimization. Moreover, the output is customizable to help the users check the feasibility and validity of the result. Lastly, we refer to the unexplored potential of the 'synergy' of the GIS and mathematical programming, intuitive visualization front-end and decision making tool.

**Keywords:** 数理計画(Mathematical Programming), 都市計画(City Planning), 空間的最適化(Spatial Optimization), 施設配置(Facility Location)

### 1. はじめに

近年, コンピュータの進化によって大規模データに対する解析手法の幅は非常に大きくなっている. GIS に含まれる情報の量も増加の一途を辿っており, 様々な統計処理によって解析が行われている. 解析であるならば統計処理が万能であるが, マーケティング戦略や施設配置等のいわゆる意思決定を行う際には, 人間の勘に頼ったり膨多田 明功:

〒160-0022 新宿区新宿 2-4-3 フォーシーズンビル 10F 株式会社数理システム 数理計画部

Tel : 03-3358-1701(代表)

E-mail : tadaa@msi.co.jp

大な時間を費やしたりするケースが少なくない. 現状では意思決定のアプローチとして, シミュレーションが主流である. シミュレーションは, 意思決定の解の候補を列挙(ないしはそれ自体を自動生成)し, その中で最もよい解を採用する. 例えば施設配置問題の場合であれば, 配置する座標(緯度経度)を予め人間の手で決定し, 統計処理を行い評価するということの繰り返しを行う.

意思決定の方法としては数理計画による最適化を行うことが有用ではあるが, GIS に対して充実したインターフェースが存在しないのが現状である. 実際 GIS の情報を用いて最適化を行う際には, 別アプリケーションの最適化ソルバー

を立ち上げて行う方法が想像される．ここで提案するのは，GIS からシームレスに最適化を行うことができるシステムである．人が行うべきことは，各種条件の入力のみで，あとは機械がその条件下において解を自動で検出する．

今回紹介するシステムでは，施設配置問題に対して「容量制約」「距離制約」を考慮しながら「建設する施設数を最小化」する施設配置問題を扱う．これによって様々な公共施設・商業施設，例えば警察・消防所・公民館・郵便局・学校・病院・銀行・店舗等の配置計画を考慮することができる．

また，今回のシステムでは最適化部分は別モジュールとして切り離されて開発されている．これによって最適化部分の条件の変更を容易に取り込み，様々な問題に応用・対応することができる．例えば学校であれば，通学距離を考慮するために，各家庭から最寄の学校までの距離を一定以内に抑えたいという制約が考えられるが，ごみ処理場であれば，各家庭からの距離を一定以上離したいという制約が考えられる．

さらに，多様な制約条件を最適化問題に組み込み，GIS からどの条件をアクティブにするかを選択できるようにすることによって，より汎用的なシステムが構築できると考えられる．

## 2. システム構成

GIS 部分には ESRI 社の ArcGIS，最適化ソルバーは数理システムの NUOPT を用いた．ユーザは GIS 上で操作することになるため，システムの制御部分の開発は GIS 側（ArcGIS 付属の VBA）で，最適化部分は別途モデリング言語（NUOPT 付属の SIMPLE）で開発を行った．GIS とのインターフェースは最適化部分を実行ファイル（exe 形式）にし，ファイルでデータの受け渡しをする仕様になっている．今回作成したシステムではその他データ加工プログラムも存在する．

以下の図 1 は，本システムのイメージである．

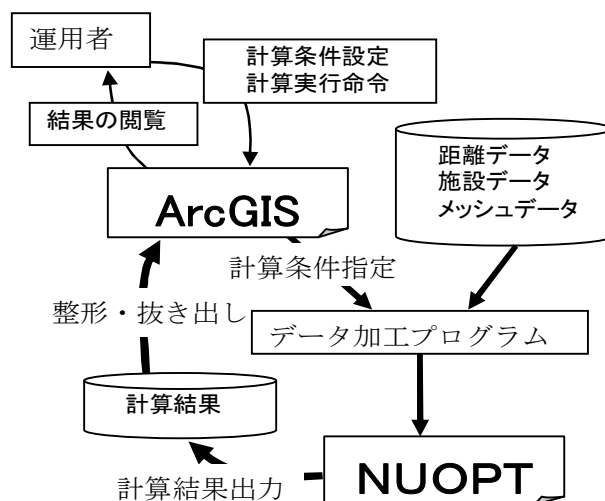


図 1. システム構成図

## 3. 施設配置問題の定式化

本章では，空間的最適化問題としての施設配置問題を定式化する．なお，施設配置問題は，数理計画の混合整数計画問題の代表例の一つである．問題設定は次の通りである．

ある地域に対し，施設の建設計画を考える．その際，メッシュ単位で人口を考え，その地域内の各メッシュから地域内の各施設のどこか一箇所にアクセスするものとする．後述する制約条件を満たすもとで，建設する施設数を最小化するような施設配置問題を考える．

各定式化にて使用する集合・添字，定数（パラメータ），変数は以下の通りである．

### 集合・添字

$Me$  : アクセス可能メッシュ集合．添字は  $i$

$Um$  : アクセス困難メッシュ集合．添字は  $j$

$Fa$  : 施設の全候補集合．添字は  $k$

$Re$  : アクセス可能メッシュと施設候補地の集合．

$(i, k) \in Re \Leftrightarrow$  アクセス可能メッシュ  $i$  に所属する人は，施設  $k$  に通うことができる

### 定数（パラメータ）

$np_i$  : 各アクセス可能メッシュ  $i$  に対するアクセス対象人口

$up_j$  : 各アクセス困難メッシュ  $j$  に対するアクセス対象人口

$cl_k$  : 各施設  $k$  に対する容量下限

$cu_k$  : 各施設  $k$  に対する容量上限

$du_{jk}$  : 各アクセス困難メッシュ  $j$  から各施設  $k$  までの距離

$ud$  : アクセス困難メッシュに対する最大アクセス距離

変数 (0-1 変数)

$x_{ik}$  : 各アクセス可能メッシュ  $i$  が各施設  $k$  にアクセスするならば 1, そうでないならば 0 をとる

$y_{jk}$  : 各アクセス困難メッシュ  $j$  が各施設  $k$  にアクセスするならば 1, そうでないならば 0 をとる

$z_k$  : 各施設  $k$  が存在するならば 1, 存在しないならば 0 をとる

なお, アクセス可能メッシュとは, そのメッシュに対してアクセス可能距離 (ユーザが与えることができる) 以内の施設が少なくとも一つ存在するメッシュのことをいう. また, アクセス困難メッシュとは, そのメッシュに対し, アクセス可能距離以内の施設が一つも存在しないメッシュのことをいう.

これらの集合・添字, 定数, 変数を用いて, 対象とする施設配置問題 (P) を次のように定式化する.

$$(P) \quad \begin{aligned} & \min \sum_k z_k & (1) \\ & s.t. \quad x_{ik} \leq z_k, \forall (i,k) \in Re & (2-1) \\ & \quad y_{jk} \leq z_k, \forall j \in Um, k \in Fa & (2-2) \\ & \quad \left. \begin{aligned} cl_k \cdot z_k &\leq \sum_{i,(i,k) \in Re} np_i \cdot x_{ik} + \sum_j up_j \cdot y_{jk} \\ &\leq cu_k \cdot z_k, \forall k \in Fa \end{aligned} \right\} & (3) \\ & \sum_{k,(i,k) \in Re} x_{ik} = 1, \forall i \in Me & (4-1) \\ & \sum_k y_{jk} = 1, \forall j \in Um & (4-2) \\ & \sum_k du_{jk} \cdot y_{jk} \leq ud, \forall j \in Um & (5) \\ & x_{ik} \in \{0,1\}, \forall (i,k) \in Re & (6-1) \\ & y_{jk} \in \{0,1\}, \forall j \in Um, k \in Fa & (6-2) \\ & z_k \in \{0,1\}, \forall k \in Fa & (6-3) \end{aligned}$$

問題 (P) の制約条件は, 以下の (a) ~ (e) に大別することができる.

- (a) 施設が存在しなければ, その施設へはアクセスすることはできない ((2-1), (2-2) 式)
- (b) 施設の容量下限・容量上限を満たさなければならない ((3) 式)
- (c) 各メッシュには一箇所アクセスする施設が存在する ((4-1), (4-2) 式)
- (d) アクセス困難メッシュは, 最大アクセス距離以内の施設にアクセスする ((5) 式)
- (e) 変数  $x, y, z$  は 0-1 変数である ((6-1), (6-2), (6-3) 式)

問題 (P) では, 制約条件 (a) ~ (e) のもと, 建設する施設数を最小化する問題を対象とした. この問題にさらに, 「最適テリトリ分割の考慮」という条件を考慮する問題 (P') を考える.

例えばある地域の避難所の設置問題では, 避難所の数とともに, 同じ地区の人々は同じ避難所に行くといった条件も存在する. 問題 (P) のように施設数にのみ着目すると, このような条件を反映することができない. このようなケースを鑑みて, 施設数の最小化と最適なテリトリ分割, この両者を考慮した問題 (P') を, 次の 4 章で扱っていく.

なお, 問題 (P') は, 問題 (P) の目的関数 (1) に, 各メッシュのアクセス距離の総和に関する項を追加することにより定式化することができる.

#### 4. 最適化実行および実行結果例

本章では, 問題 (P') に基づいた本システムの実行および実行結果例について紹介する.

対象地域は東京都中央区とし, 扱うメッシュは, 第 3 次地域区画の 2 分の 1 地域メッシュ (第 4 次メッシュとする) を縦横に 5×5 分割したメッシュ (約 100m 四方) を最小単位とするメッシュである. また建設する施設の候補地は, 対象地域内の各第 4 次メッシュの中心部とし, 計 41 箇所存在する.

各種パラメータは, 図 2 の画面により入力する.

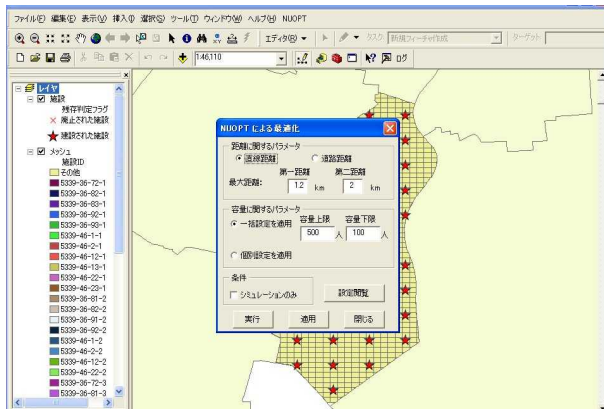


図 2. パラメータ入力画面

ここでは、各種パラメータ値は、アクセス可能距離を 1.2[km]、アクセス困難メッシュに対する最大アクセス距離を 2[km]、各施設の容量下限を 100[人]、容量上限を 500[人] としている。なお、その他のパラメータに各メッシュのアクセス対象人口があるが、これに関しても入力ファイルにて用意するものとする。

また、各メッシュから各施設までの距離は、地表面距離(直線距離)と道路距離が選択可能だが、ここでは、地表面距離により算出した値を用いる。

図 2 の画面の「実行」ボタンの押下により、問題 (P) に関する最適化計算が行われ、計算が終了すると、図 3 に示すような結果が出力される。

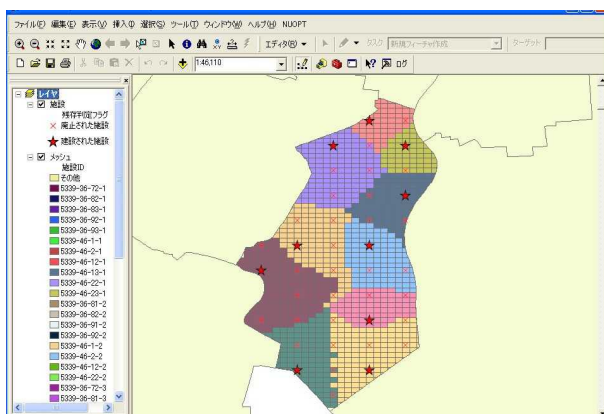


図 3. 施設配置問題の結果例

図 3 では、最小施設数は 10 となり、そのもとの最適テリトリ分割の結果が示されている。各施設の容量制約等の制約条件を考慮しているため、テリトリ分割が単純なボロノイ分割とは

異なることが、図より読み取ることができる。

また、この結果を違った側面から解析することも可能である。図 4 では、各メッシュのアクセス距離分布について示す。

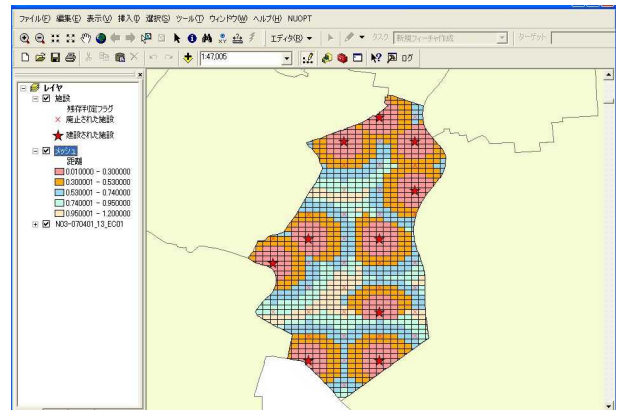


図 4. 各メッシュのアクセス距離分布

例えば図 4 の結果と各メッシュの人口分布を組み合わせることにより、アクセス距離と人口分布の相関関係を視覚的に分析することができる。

今回は、あくまでも実行の一例を示したに過ぎないが、このように適宜パラメータを入力して実行すると、シームレスに、なおかつ容易に数理計画による意思決定を行うことができる。

## 5. おわりに

本論文では、GIS への数理計画エンジンの組込開発を、施設配置問題をモチーフとして紹介した。施設配置問題以外にも、配送スケジューリング問題や人員割当問題等、数理計画問題の中には、GIS との組合せが有益であると思われる問題も数多く存在する。

今後の展開としては、GIS 上から多様な数理計画問題を解ける汎用的なアドオンを作成したい。またあわせて、個別の数理計画問題に特化した GIS との融合システムの開発も行っていきたい。

## 参考文献

村山祐司・柴崎亮介 (2008) 『シリーズ GIS 第 4 巻 ビジネス・行政のための GIS』, 朝倉書店。