Ⅳ-237　施設配置の最適化問題における提案手法の評価

熊本工業大学　正　天本　徳浩　　九州大学　正　樗木　武　　ＪＲ西日本　正　鈴木　常夫

１．はじめに　住環境改善において、都市公園整備の果たす役割が大きな割合を占めていることはいうまでもない。そこで、都市公園の整備が推進されるわけだが、単に公園を造成してゆくだけでは予算の効率的な運用がなされているとはいえない。そういう観点から公園を整備してゆく上で、考慮しなければならない重要な項目がいくつか上げられる。まず、他の都市施設でも同じであるが、利用されるかどうか需要予測をする必要がある。さらに予算内で、どこまで整備できるのかあるいは目標の整備水準に達するためにはいくらの予算が必要であるかについて概算を出す必要がある。以上のことを推定するためには、公園の配置場所、配置する公園の規模、公園の平面設計について計画しなければならない。そして、公園整備を計画する一般的な順序として配置場所と規模をまず決定して、その後に平面設計がなされている。ここでは、最適化手法の評価をするという意味において単一規模公園の配置場所決定問題について考察する。

２．最適配置問題の定義　公園を利用するということは、利用者にとって何らかの利益が得られるものと考察される。理論的には、住民の公園までの移動に要する費用と公園を利用することによって得られる便益を比較し、便益の方が大きければ住民は公園を利用するものと定義できる。式で表すと次のように表現できる。

$$u = B - \lambda x \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで、u：純便益、B：公園を利用することにより得られる便益、λ：単位距離当たりの移動費用、x：公園までの距離である。このuが０より大きければ住民は公園を利用し、０以下になれば住民は公園を利用しない。そこで、uが０より大きくなる住民が全体に占める割合をできるだけ高くすることを最適配置の目的とする。具体的な問題の設定としては、以下のように考える。建設を行うための候補地はあらかじめ数カ所に設定される。また、候補地においては、建設するしないの０－１変数のみによって制御される。さらに、候補地と利用者の位置関係を演算処理する上で便利なように、対象区域をメッシュにより分割し考慮する。式で表すと次のようになる。

$$\mathrm{max.}\quad Z=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad \text{(目的関数)} \quad (2)$$

$$\text{または、}\mathrm{max.}\ Z=\sum_{i=1}^{N} n_i \cdot \overline{Y_i} \cdots\cdots (3)$$

$$\text{ただし、}Y_{ij}=\max_{k=1\sim M}\{S_{ijk}(x)\cdot D_k\} \cdot (4)$$

$$\overline{Y_{ij}}=\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \cdots\cdots\cdots (5)$$

$$\mathrm{sub.}\ C \geqq \sum_{k=1}^{M} D_k \cdot c_k \cdot \text{(予算制約)} \quad (6)$$

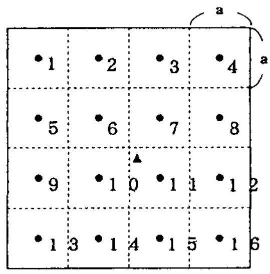
ここで、S_{ijk}（x）：利用者ｉｊの候補地ｋに対する利用確率、ｘ：利用者と候補地の距離、n_i：メッシュｉの利用対象者数、Ｃ：建設予算、D_k（決定変数）：候補地ｋのダミー変数（１　ｏｒ　０）、c_k：候補地ｋの建設コスト、Ｍ：既存の公園と候補地の合計数、Ｎ：メッシュの個数である。

３．最適解（近似解）の探索手法　式（１）～（５）で構成される数学モデルはＮＰ完全問題であり、組合せ最適化問題として解くことになる。しかし、厳密な最適解を得ようとすれば、問題解決のために分枝限定法などの解法をいかに工夫したとしても膨大な演算労力が要求され、従ってその適用に自ずから限界があると考えられる。ところが、幸いなことに、大規模な組み合わせ最適化問題では、厳密な最適解を必ず求めなくても、適当な近似最適解で十分である場合が多い。また、近似最適解ならば、大規模な問題でも、実用的に扱い得る可能性がある。そこで、より実用的な近似解法により問題を解決することにし、ここでは欲張り法（greedy method）の考えに基づいて問題を解くことを提案する。欲張り法は、０－１型ナップザック問題などにおいて、ある限られた量の中で物を選択する場合に、できるだけ効率よく目的を達成するための近似解を求める１つの方法である。考え方は、候補地の中から順次建設を決定していく場合、できるだけ目的関数を多く増加させるものから選択していくというものである。ここで、目的関数つまり便益を増加させることだけを考慮すれば、便益変動量（まだ建設が決定していない候補地で、そこに建設を決定した場合の目的

関数の増加量）の最も大きな候補地から建設を決定していけばよいこととなるが、制約条件として、建設費用の予算制約があることからそれぞれの候補地の建設費用も考慮しなければならない。そこで（便益変動量／建設費用）が１つの判断規準となる。便益変動量が大きく、建設費用が小さいほど効率がよくなるわけであるから、（便益変動量／建設費用）が大きい場所から建設を決定し、制約条件の範囲におさまる分だけ建設予定公園の選定を行えばよい。このように１番良さそうなところから順次決定していくことから、欲張り法の名の由来がある。本法の考え方はきわめて簡単であるが、多くの場合に良い解を与えることが経験的に確かめられている。

４．例題による提案手法の検証　前節の提案手法がこの場合においても妥当であることを証明するために例題を設定し、分枝限定法により厳密な最適解を求め、その解と提案手法によって求めた解を比較・検討し、その評価を行なう。また、分枝限定法と本手法の計算速度も比較した。設定した例題は、図－１の通りであり、4Km四方の対象地域を想定している。黒丸で記した位置が公園の候補地である。また中央付近の三角印の位置を都心として想定している。メッシュの単位は、1Kmメッシュを縦横に5分割した200mメッシュとしている。公園と利用者の関係を表すものは距離による便益関数（利用確立）とし、対象地域の人口分布は都心部をピークとして、都心部からの距離に応じて減衰しているものと想定する。同様に、公園の建設費用も都心をピークに周辺ほど安くなるようにしている。それぞれの関数を、Ｙ（Ｘ，ａ，ｂ）＝ｅｘｐ（－ａX^b）と定義しパラメータを変えて２種類づつ示している。人口分布・建設費用分布については一様分布も想定している（表－１）。制約予算については300, 600, 900を設定した。以上の組み合わせに基づき合計54通りの配置計算を行った。すべてのパターンの最適解と近似解の比の比較を図－２に表す。すべての近似解が真の最適解の95%以上の値である。次に最適解と近似解を求めるための計算時間の比較は図－３に示す。結果より、最適解を求めるための分枝限定法の計算時間は制約条件により左右されることがわかる。これは、制約条件により限定される枝が少なくなるため計算の対象となる組み合わせが少なくなり、結果として計算時間が短縮されたものである。近似解を求める提案手法の場合は制約条件による計算時間の違いはみられず、安定的に短時間で解を求めている。このことから推察されることは、候補地の数や、配置対象領域の面積が大きくなり、問題規模が大きくなると分枝限定法による最適解の算出時間は急激に長くなるということである。逆に提案手法は問題が大きくなっても計算時間はそれほど影響を受けないといえる。以上のことから、提案した近似解法で得られた解は、最適解にかなり近い値が得られ、計算時間もかなり短縮できることがわかる。

５．おわりに　この提案手法により近似解を短時間で求めることができ実用的であるといえる。今後は制約条件が複数ある場合どうするのか、施設候補地が千鳥やランダムに位置する場合に近似解に変動がないかをチェックする必要がある。



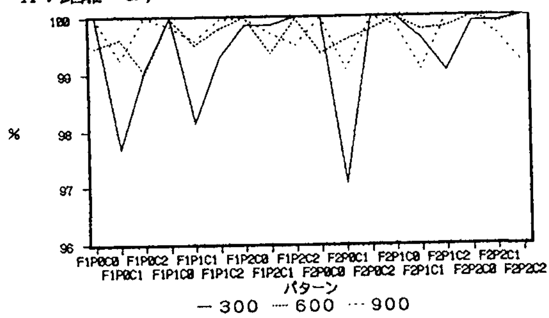
• 公園候補地
▲ 都市中心

図－１　提案手法検証のための例題

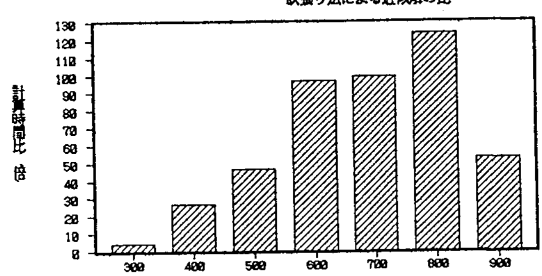
表－１関数定義　Y(X,a,b)=exp(-aX^b)

	便益関数（F）	人口分布（P）	建設費用（C）
0	---------	定数	定数
1	Y(X,1.0,1.0)	Y(X,0.25,1.0)	Y(X,0.05,2.0)
2	Y(X,2.0,1.0)	Y(X,0.5,1.0)	Y(X,0.1,2.0)

Ｘ：距離　ａ，ｂ：パラメータ



図－２　分枝限定法による最適解と欲張り法による近似解の比



図－３　計算時間の比較（M780）　制約予算
欲張り法（近似解）分枝限定法（最適解）　分枝限定／欲張り