Ⅳ－51

土地分級結果に基づく用途地域配置問題

東京大学工学部　学生員　○河合　毅治
東京大学工学部　正会員　　清水　英範
東京大学工学部　正会員　　中村　英夫

１．はじめに

用途地域指定は一般に、既存および計画決定済みの社会基盤施設等を所与として各土地が各用途地域に対して持つ適地度を検討する段階（土地分級）と、この結果をもとに計画面積や隣接条件等を考慮して実際に用途地域を配置する段階に分けられる。

本研究では、この用途地域の配置過程を計算機によって合理的に支援することを目的とし、この問題を最適化問題として定式化することにより効率的に解を得る方法について検討する。

２．定式化

用途地域の配置とは、用途地域（ｓ）毎に各土地（ｉ）に対して与えられる土地分級結果の行列を、種々の制約条件のもとに図１で示されるような０－１行列に変換することである。

（１）目的関数の定式化

目的関数の最適規範としてはは、用途地域の配置結果として得られる適地度の総和を最大化するものとする。すなわち式の形では、

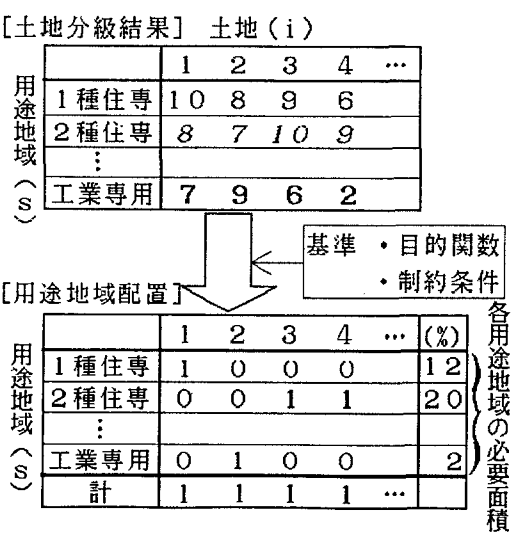

図１　用途地域配置の考え方

$$\min.\ f(x) = -\sum_i \sum_s (U_{is} x_{is})$$

ただし、U_{is}:土地ｉにおける用途地域ｓの適地度

x_{is}:土地ｉの

用途地域がｓならば　　1

用途地域がｓでないならば　0

となる。

（２）制約条件の定式化

ａ）考慮すべき条件

用途地域の配置にあたって考慮すべき主な制約条件は以下の通りである。

① 単一用途条件

各土地に与えられる用途地域は１種類である。

② 総面積条件

対象地域における各用途地域の総面積は上位計画によって定められている。

③ 隣接禁止条件

性質の異なった用途地域が隣接することによって、互いに悪影響を及ぼすことを防ぐ。

④ 最小面積条件

単一用途地域の一団もしくは性質の類似した複数の用途地域の集団に、面積の下限を設ける。

⑤ 形状条件

用途地域の一団あるいは集団に対して、極端に複雑な形や細長い形等を避ける。

ｂ）制約条件の定式化

これらの制約条件には、その条件の判断基準が比較的明確で定式化が容易なものと、判断基準が定性的で不明確なため定式化が困難なものとがある。

前者の例が①～③であり、以下のような定式化が可能である。

① 単一用途条件:$1-\sum_s x_{is}=0$

$x_{is}(1-x_{is})=0$

② 総面積条件　:$A_s-\sum_i a_i x_{is}=0$

③ 隣接禁止条件:$x_{is}x_{jt}=0$

ただし、A_s :用途地域 s の必要総面積

a_i :土地 i の面積

j :i に隣接した土地

t :s との隣接を禁止された用途地域

一方後者の条件については、最終的な判断を計画者に委ねるのが適当と考え、条件式にはその判断を補完する便宜的なものを与えるものとする。例えば、④の最小面積条件や⑤の形状条件では

$$\sum_i (x_{is}x_{js})-w_s>0$$

ただし、w_s :計画者が与えるパラメータ

が考えられる。

どちらの性質の制約条件も、その条件に対する式は１つに限られないことは言うまでもない。そのため、様々な定式化に対して対応可能な汎用的かつ実用的な解法が要求される。

３．解法

（１）条件無し問題への変換

この問題は条件付き最適化問題となるので、乗数法を用いて条件無しの問題に変換する。乗数法とは、目的関数として拡張ラグランジュ関数

$$L(\mathbf{x})=(目的関数)+\lambda*(制約関数)$$

……ラグランジュ関数

$$+(R/2)*(制約関数)^2$$

……２次のペナルティ・パラメータ

を用いる方法である。[1]

この解法については、ニューラルネットワーク理論の中で発展したHopfieldモデルの応用を一つの方法として試みる。その理由は、非線形最適化問題の解法として一般的な降下法をこの問題に用いると、大量の演算を必要とするために計算機の記憶容量が不足したり、変数が離散的であるため収束するまでの挙動が不安定になる可能性があるからである。

（２）Hopfieldモデル[2]

このモデルは、複数の入力（V_j）と１つの出力（V_i）を持つ多数のユニットの結合を仮定し、各ユニットにおける入出力の関係を

$$u_i=\sum_j T_{ij}V_j+I_i$$

$$V_i=(1/2)(1+\tanh(u_i/\mu_0))$$

とすれば、Ｖの変化はLyapunov関数

$$E=-(1/2)\sum_i\sum_j T_{ij}V_iV_j-\sum_i I_iV_i$$

を減少させる方向となる性質を用いて最適化問題を効率的に解くものである。

（３）本問題への応用

ここでは、拡張ラグランジュ関数$L(\mathbf{x})$がLyapunov関数の形で表されることを示す。紙幅の都合上制約条件には総面積条件のみを考える。

この時$L(\mathbf{x})$は、

$$\begin{aligned}L(\mathbf{x})&=-\sum_i\sum_s U_{is}x_{is}+\sum_s\lambda_s(A_s-\sum_i a_ix_{is})\\&\quad+(R/2)\sum_s(A_s-\sum_i a_ix_{is})^2\\&=-(1/2)\sum_i\sum_s\sum_j\sum_t(-Ra_ia_j\delta_{st})x_{is}x_{jt}\\&\quad-\sum_i\sum_s(U_{is}+\lambda_sa_i+RA_sa_i)x_{is}+定数項\end{aligned}$$

ただし、δ_{st}:クロネッカーのデルタ

となり、

$$V_i=x_{is},\ T_{isjt}=-Ra_ia_j\delta_{st},\ I_{is}=U_{is}+\lambda_sa_i+RA_sa_i$$

とおけばLyapunov関数と同型になる。他の制約条件についても同様に表すことができる。

４．終わりに

本研究では、土地分級結果から用途地域を配置する過程を最適化問題として定式化し、乗数法とニューラルネットワーク理論とを用いることにより、効率的に解く方法を導いた。この方法の有用性を検討するために、現在までに５０×５０グリッド、４～５程度の用途地域を想定した簡単な数値実験を行っており、その結果は大方良好である。現在、東京大学測量研究室において横浜市港北区を対象として開発を行っている用途地域指定支援システム[3]にこの手法を統合し、より現実に近いケーススタディを進めている。なお本研究において提案した方法は用途地域指定のみでなく、空間計画に関わる種々の配置問題に広く応用が可能である。

最後に、Hopfieldモデルの応用については東京大学大学院の赤松隆氏（現　野村総合研究所）から多くの知見を得た。

［参考文献］

１）今野浩、山下浩：非線形計画法、日科技連、1978.3

２）中野馨、飯沼一元、他：入門と実習ニューロコンピュータ、技術評論社、1989.9

３）清水英範、厳網林、中村英夫：知識ベースに基づく用途地域指定支援システム、土木学会論文報告集Ⅳ、1990（投稿中）