

## IV-324 土地区画整理設計のための対話型換地モデル

東京大学大学院 学生員 堤 盛人  
読売理工専門学校 正 員 川口有一郎

## 1. はじめに

土地区画整理事業はこれまで、数多くの計画的な市街地を創りだしてきた。このような区画整理の有効性は、地権者の所有地を換地として再配置することができるという特徴に起因している。そのため、この換地設計をいかに合理的に行うかは土地区画整理の計画策定における重要な課題である。このような観点から筆者らは既に、最適化過程という論理の枠組みでしかも実用的に区画整理の設計を行う方法、及びこれを実現するための設計支援システムを作成している<sup>1)</sup>。本研究は、そこで提案した手法を拡張することを目的としており、ここでは換地を街区へ割り当てる手順を対話型の換地モデルとして定式化し、これを用いてより改善された換地設計案を作成することを試みるものである。

## 2. 換地割当問題の定式化

換地割り当てとは、事業前の画地と新たな街区との組合せを求める作業である。換地設計の規範のうち、原位置換地及び地積の照応条件といったものは比較的に定量化が容易である。さらに、換地の位置や減歩率は地権者の最も注目する要素であるため、これらを目的関数として得られる解は、換地割当問題の第1次近似解として充分意味を持つものと言える。

以上の理由により本研究では、換地割り当ての初期案を作成する手順を簡略な最適化問題として扱うものとする。すなわち、 $i$ 画地が $j$ 街区に割り当てられるとき $x_{ij}=1$ 、そうでないとき $x_{ij}=0$ といった割当変数を導入し、次のような多目的計画問題として考える。

## 目的関数

「各画地の移動距離の総和を最小とする」

$$\min: f_1 = \sum_i \sum_j (L_{ij} x_{ij}) \quad \dots \textcircled{1}$$

$L_{ij}$ : 画地 $i$ と街区 $j$ の距離

「各画地毎の減歩率の分散を最小にする」

$$\min: f_2 = \sum_i \left( \sum_j \frac{r_i}{s_i e_j} x_{ij} - \bar{B} \right)^2 \quad \dots \textcircled{2}$$

$r_i$ : 画地 $i$ の権利価格  $s_i$ : 画地 $i$ の面積

$e_j$ : 街区 $j$ の単価  $\bar{B}$ :  $\bar{B} = 1 - (\text{平均減歩率})$

## 制約条件

割り当て制約

$$x_{ij} (1 - x_{ij}) = 0, \quad 1 - \sum_j x_{ij} = 0 \quad \dots \textcircled{3}$$

## 面積制約

$$\sum_i r_i x_{ij} - S_j e_j = 0 \quad \dots \textcircled{4}$$

$S_j$ : 街区 $j$ の面積  $r_i$ : 画地 $i$ の権利価格

$e_j$ : 街区 $j$ の単価

## 3. 対話型換地モデルとその解法

本研究では前節で定式化した最適化モデルの解を合理的かつ実用的に求めるために、次のような二つの方法を試みる。

その一つは、換地の総移動距離及び減歩率の分散といった目的関数相互の競合関係を適切に調整するために、A. P. Wierzbickiらの提案する対話型の多目的問題の解法を取り入れる。これは、意思決定者の判断を各目的に対する要求水準として導入し、これを逐次変更することによりいくつかのパレート解を求め、その中からより望ましい解を見いだそうとするものである。

いま一つの方法は、画地と街区の増加に伴いその組合せ数が指数関数的に増大し厳密解を求めることが困難であることから、神経回路網シミュレーションを用いて効率よく近似解を求めようとするものである。

## (1) 対話的なアプローチによる換地モデルの解法

「換地の総移動距離が0」といった理想的な状態を示す目標値を $f^*_i$ とし、解の探索において設計者がとりあえず実現したいと考える目標値を $f^{k_i}$ とする。いま、これらの目標値及び①、②式に示した目的関数を用いて次のような尺度を設定する。

$$F = w_1 (f_1 - f^*_1) + w_2 (f_2 - f^*_2) \quad \textcircled{5}$$

ただし、 $w_i = 1 / (f^{k_i} - f^*_i) \quad i = 1, 2$

このような尺度を新たな目的関数として得られる解は、与えられた目標値 $f^{k_i}$ に対する換地モデルの近似的なパレート解と考えることができる。そこで、(2)で述べる方法により容易にこの解を求めることができれば、目標値の設定とそれに基づく解の検討といった繰り返しのより、目標間の競合関係を客観的に調整することが可能となり、より望ましい割り当て解を見いだせるものと言える。

## (2) Hopfieldモデルによる近似解法

画地と街区の組合せを表す割当て変数 $x_{ij}$ を神経回路網を構成するユニットとみなせば、換地割り当てモデルは相互結合型のニューラルネットワークモデルと考えられる。そこで、(1)で設定した目的関数と③、④式で示される制約条件を乗数法により条件無しの問題に変換し、Hopfieldのエネルギー関数 $E$ を次のように作成する。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \sum_t T_{ijst} V_{ij} V_{st} - \sum_i \sum_j I_{ij} V_{ij}$$

$$V_{ij} = x_{ij}$$

$$T_{ijst} = \left\{ w_2 \frac{r_i r_s}{s_i s_j e_i e_j} \delta_{is} (1 - \delta_{jt}) + w_2 \frac{R_s}{2} \delta_{is} (1 - \delta_{jt}) + w_4 \frac{R_s r_i r_s}{2} \delta_{jt} (1 - \delta_{is}) \right\} \times (-2)$$

$$I_{ij} = - \left\{ w_1 L_{ij} + w_1 \left( \frac{r_i^2}{s_i^2 e_j^2} - 2\bar{B} \cdot \frac{r_i}{s_i e_j} \right) + w_2 (-\mu - R_s) + w_4 \left( r_i \lambda_j - R_s r_i s_j e_j + \frac{R_s r_i^2}{2} \right) \right\}$$

$\delta$ : クローネッカーのデルタ

$\mu, \lambda$ : ラグランジュ乗数  $R_s, R_i$ : ペナルティ・パラメータ

(2つの制約に対して、各々共通のパラメータを用いる)

Hopfieldモデルではこのようなエネルギー関数の値が減少する方向にユニットが変化することが分かっている。そのため、模擬冷却法を用いてユニットの状態を非同期的に次のように変化させることによって近似解を求めることができる。

<ユニットの内部状態>

$$u_{ij}(k) = \sum_s \sum_t T_{ijst} V_{st}(k) + I_{ij}$$

<ユニットの出力状態>

$$V_{ij}(k+1) = \frac{1}{2} \left( 1 + \tanh \left( \frac{u_{ij}(k)}{\theta} \right) \right)$$

## 4. 提案する換地割り当ての方法と適用

換地設計においては、もとより定量化が困難な側面も多く存在するから、換地モデルの解をそのまま設計案として採用することができないのは当然である。そこで、本研究では図2に示すように換地モデルを用いて設計者と計算機とを適切に組み合わせることにより第1次案、第2次案、・・・と設計案を改善する過程で望ましい設計解を見いだす方法を作成している。

写真1はこのような方法を千葉県八千代市の区画整理地区において適用して例であり、換地割り当て結果の一部を示したものである。

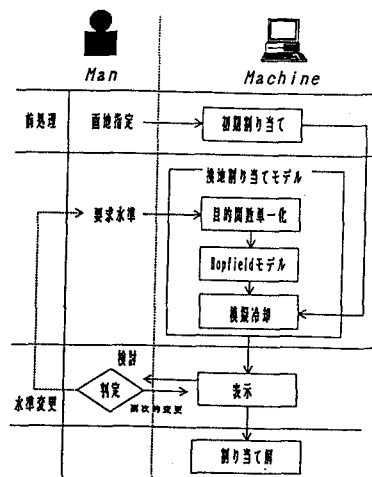


図1 対話型による換地割り当ての方法



(a)画地と新街区のオーバーレイ

(b)割り当て解の図解表示

写真1 換地割り当ての結果(一部)

## 5. 結語

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

①換地を街区へ割り当てる手順を対話型の最適化モデルとして定式化し、これを効率よく解くためのアルゴリズムを作成した。②これを実行するための計算機支援システムを実際に作成し、その適用を試みた。

本研究には、神経回路網を用いた近似解法における解の不安定性等の残された課題も多いが、今後さらに検討を行う予定である。なお、Hopfieldモデルの応用については岐阜大学の清水英範助教から多くの知見を得たことを記して謝意を表す。

参考文献 1)川口,中村,柴崎:土地区画整理設計支援システムの開発,土木学会論文集No425/IV-14, pp.193-202, 1991.1