

## 都市計画およびその周辺分野における地域区分方法

### Regionalization Methods in Urban Planning and its Related Fields

増山 篤\*

Atsushi Masuyama

The main purpose of this paper is to review regionalization methods that have been developed and/or used in urban planning and its related fields. In many fields including urban planning, it is often required to divide a region into sub-regions in a manner such that the sub-regions are spatially contiguous and as homogeneous as possible. In literature, such division is referred to as regionalization and many types of regionalization methods have been proposed. This paper classifies the methods into broadly two types according to whether the number of sub-regions is predetermined, and further classifies into types. We discuss the advantages and disadvantages of each type and also discuss how studies on regionalization methods can be extended in the future.

**Keywords:** regionalization, homogeneity, spatial contiguity, literature review  
地域区分、均質性、空間的連坦性、文献レビュー

#### 1. はじめに

都市計画とその周辺分野 においては、一つの地域を、

- a) 空間的に連坦している
- b) その内部が最大限均質である

という二つの条件を満たすように部分地域に区分することがしばしば求められる。以下、前者 a) を「連坦性条件」、後者 b) を「均質性条件」と呼び、両者をあわせて「二条件」と呼ぶことにしよう。都市計画では、その一般向け概説書<sup>1)</sup>でも述べられているように、都市が施策を行う際には、地域特性や計画課題に応じて、行政区域を空間的に分割していくことが行われる。例えば、用途地域を指定するにあたって、土地利用がなるべく均質な地域へ区分していくことは、有効な分析と考えられる<sup>2)</sup>。

こうした必要性からか、我が国の都市計画とその周辺分野では、地域を区分するための方法に関する研究がなされてきた。国外に目を転じて、理想的には二条件を満たすものとして地域を区分するための方法に関する研究は行われてきた。むしろ、筆者の調べる限り、国外において研究の蓄積が進んできた<sup>3)</sup> ように見受けられる。しかし、我が国における研究では、必ずしも、これら国外での研究を含めた先行研究レビューを十分に行い、それを反映させてこなかったように見受けられる。この点は、地域を区分する方法に関する研究の今後のためには、改善されるべきだろう。未着手の研究課題を見出し、それぞれの研究成果の到達点や限界を明確にし、不必要な研究の重複を避ける(実際、本稿を準備するにあたって、分野を狭く絞らずに先行研究にあたってきたが、隔たった分野間では、類似研究の重複がみられ、ある分野で先に発表された研究内容が、別の分野で後に発表された研究内容を拡張した形になっていることがあった) ためには、ここで先行研究の十分な整理を行うことに意義があるだろう。

以上のことから、本稿では、まず、理想的には二条件を満たすものとして部分地域への区分を行うための方法に関する研究を、国内外を問わず、系統的に整理することを試みる。やや具体的に言うと、部分地域への区分を行う方法をいくつかのタイプへと分け、それぞれのタイプの特徴や長短を明らかにすることを試みる。

そして、地域を区分する方法に関して、今後どのような研究がありうるかを考える。

#### 2. 地域区分とその実行の難しさ

今、ある地域は、属性の与えられている空間単位からなるものとする。ここで、属性は、一般的にはベクトル(多変量)であるが、スカラー(単変量)の場合もあるものとする。何らかの分け方にしたがって空間単位のグループが生成されたとき、しばしば、グループ内で属性がどれ程均質であるかということが何らかの指標を用いて表される(多くの場合、偏差平方和を用いられる)。このような指標を、「均質性指標」と言うことにする。仮に、均質性指標は、その値が小さいほど、グループ内の属性が均質であることを表すような性質を持つものとしよう。このとき、連坦性および均質性条件はそれぞれ、以下の a)、b) のように言い改められよう。

- a) グループを構成する空間単位は互いに隣接している
- b) a) を満たすあらゆるグループ分けの中で、均質性指標が最小である

すると、二条件を満たすように一つの地域を部分地域に区分することは、これら a)、b) を満たす空間単位のグループへの分け方を見つける問題に帰着される。

英語圏での研究(例えば、Berry (1961)<sup>4)</sup>) をみていくと、そこでは、「regionalization」という単語が用いられているが、この単語は、第一義的には、文字通りに二条件を満たす空間単位のグループへの分け方を見つけることを表しているように思われる。

この第一義的な意味通りに regionalization を実行することは、少なくとも現時点では、非常に困難である。その理由は、二つ考えられる。一つ目は、空間単位のグループへの分け方の場合の数が、組み合わせ的に膨大である<sup>5)6)</sup> ということである。そのため、まず、あらゆる空間単位のグループへの分け方の中から、二条件を満たすものを風潰しに探すことは事実上不可能である。仮に、その膨大さを厭わず、風潰しに探すとしよう。そのような探索は、まず、連坦性条件を満たすグループへの分け方だけを列挙

\* 正会員・弘前大学人文学部(Hirosaki University, Faculty of Humanities)

し、次に、その中から均質性指標を最小化するものを探すという手順になるだろう。いざこの手順に従おうとすると、文字通り二条件を満たすことが困難となる二つ目の理由が浮かび上がる。その理由とは、あらゆる空間単位の分け方の中から、連坦性条件を満たすようなものだけを選択的に扱うことの難しさである。例えば、任意の空間単位のグループ分けが与えられたとき、それが連坦性条件を満たすものかどうかを代数演算によって判別する方法は、比較的最近まで明らかではなかった。現在では、近年になって提案された方法<sup>7,8)</sup>を用いることで、そうした判別が理論的には可能である。しかし、これらの方法は、空間単位数がさほど大きくない場合であっても、膨大な計算処理を必要とする。

このためか、「regionalization」に関する研究を再びみていくと、「regionalization」という単語は、先の第一義的な意味よりも幾分広い意味を持ち、微妙なニュアンスを含んでいるように見受けられる。理想的には二条件を満たすような空間単位のグループ分けができることを期待しつつも、現実的にはそのようなグループ分けが必ずしも見いだせないことは踏まえ、しかしそれでもやはり、二条件を満たすグループ分けに到達しようとするあらゆる試みを意味しているように見受けられる。このように幾分広く意味を捉え直した「regionalization」に対し、本稿では「地域区分」と訳語をあてる。そして、地域区分を行う方法を「地域区分方法」と呼ぶことにする。

### 3. 地域区分方法の類型

これまでの先行研究にみられる地域区分方法には様々なものがある。それらをタイプに分類するとしよう。こうした分類は様々な観点から行われるが、地域区分を行うに先立って部分地域数が決まっているかどうかという観点から大きく二つのタイプに分けるとするのが、妥当な分け方の一つだろう。

今、何らかの要請に基づいて、地域区分を行うものとしてしよう。このとき、理想的には二条件が満たされるべきであろうということ、繰り返し述べた通りであるが、いくつかの部分地域に区分していくかということ(部分地域数)には一切触れなかった。一般に、部分地域数について二つの考え方ができるだろう。まず、部分地域数がどうしてもある決まった数でなければならないということはない、あるいは、適当と思われる部分地域数は事前には分からないと考えられる。一方で、極端に大きい部分地域数も、極端に小さい部分地域数も不自然であるから、部分地域数が収まるべき範囲は必ず決まり、そのため、然るべき部分地域数を事前におおよそ決めることができるとも考えられる。前者のような考え方の自然な延長線上にある地域区分方法は、その実行前で部分地域数は決まっておらず、その実行結果から然るべき数の部分地域が自然と見出されてくるようなものとなるだろう。一方、後者の考え方の延長線上にある地域区分方法は、実行前に部分地域数が決まっているものとなるだろう。また、然るべき部分地域数が全く見当もつかないものだったが、前者の考え方に基づくような地域区分方法を実行することで、然るべき部分地域数の見当ができてきたとしよう。このように部分地域数に見当がついたとなると、改めて、実行前に部分地域数が決まっている地域区分方法が採用

されよう。

これらのことから、本稿では、実行以前の段階で部分地域数が決まっているか否かによって、地域区分方法を大きく二つに分ける。実行前に部分地域数が決まっていない方法を、「部分地域数未定方法」(あるいは、略して「未定方法」と呼ぶことにする。後にみるように、未定方法は、その実行結果から、然るべき数の部分地域が見取られることが期待されているものが多い。一方、あらかじめ決まった数の部分地域を見出そうとする方法を、「既定部分地域数方法」(あるいは、「既定数方法」と呼ぶことにする。

#### 3.1 部分地域数未定方法

以下では、未定方法をさらにタイプ分けし、それぞれの特徴や長短をみていこう。

なお、予め、およそほとんどの未定方法が持つ共通の限界に触れておこう。未定方法は、その実行結果から部分地域を見て取るが、いくつかの部分地域を“見て取る”かということも、どこに部分地域を“見て取る”かということも、それを行う人の主観による。そのため、一般に、未定方法はそれを用いる人によって異なる部分地域を“見て取る”ことになる。

##### 3.1.1 属性による空間単位の分類

未定方法の代表的なものとして最初に挙げられるのは、次のような方法である。まず、空間的位置や隣接関係を一切考慮外におき、均質性指標がなるべく小さくなるように(あるいは、なるべく小さくなることを期待されるように)空間単位のグループ分けを行う。そして、互いに近い位置にあり(ひいては、互いに隣り合い)、なおかつ、同一グループに属する空間単位の集合があったとき、そのような集合に、その周辺に位置するいくつかの空間単位を含めたものが部分地域にあたりと解釈する。

ここでのグループ分けには、さまざまな方法が利用しうる。もっぱら用いられる方法は、クラスター分析法である。このようにクラスター分析法を用いる地域区分は、その分かりやすさのためか、空間分析のテキスト<sup>9,10)</sup>で取り上げられていることも多い。また、これまでの多くの都市計画研究においても、用いられている<sup>11), 12), 13), 14), 15), 16), 17), 18)</sup>。

クラスター分析法の他には、自己組織化マップ<sup>19)</sup>がグループ分けに用いられる<sup>20), 21)</sup>。クラスター分析法と比べ、利用例はずっと少ないが、より小さい均質性指標に達することができるという研究報告もある。また、各要素が百分率となるようなベクトル(例えば、空間単位が表す地区における土地利用構成比率)が属性である場合には、修正ウィーバー法<sup>22)</sup>およびそのルーツであるJ.C. Weaverによるオリジナルの方法<sup>23), 24)</sup>も、グループ分けに利用しうる。変わったところでは、AIC(赤池情報量規準)を利用したグループ分けが、提案・利用されている<sup>25)</sup>。この方法は、すぐ後の3.1.2節で「併合法」と名付ける方法の特徴を持つ。ただし、後述のように、併合法では互いに隣接し合う空間単位の集合のみが併合されるものとするのに対し、この方法では、併合される可能性のある空間単位の集合についてそのような制限は

ない。

### 3.1.2 属性の類似した隣接空間単位の併合

今、二条件を満たす空間単位のグループ分けが実現しているでしょう。このとき、同一グループ内では、空間的に隣接する空間単位同士は、類似した属性を持っていると期待される。そこで、もし互いに隣り合う（空間的に連担している）空間単位の集合が類似した属性を持っているならば、それら空間単位を併合し、そして、その併合結果を視覚的に表示することで、然るべき部分地域を見て取れると期待される。

ここで併合される可能性のある空間単位の集合の取り方は、何通りも考えられる。一般には、無数と言えほどの膨大な場合の数となる。我が国の都市計画およびその周辺分野では、互いに隣接し合う空間単位の集合を何通りか考え、それら集合に属する空間単位の属性が類似しているかどうかを何らかの基準に基づいて判別し、もし類似しているのであれば、空間単位の併合を行う方法がいくつも提案されてきた（ただし、必ずしも地域区分方法ではない）。以下では、このタイプの方法を「併合法」と呼ぶことにしよう。

これまで提案されてきた併合法では、もっぱら、以下のようにして、隣接する空間単位同士を併合するかどうかを決定する。まず、各空間単位の属性は、何らかの確率分布の実現値と考える。そして、併合を行う場合と行わない場合それぞれに対して異なる確率モデルを想定し、各種モデル選択基準<sup>26)</sup>を用いて、前者の場合に対するモデルの方がデータに対してあてはまる場合には、併合を行う。逆の場合には、併合を行わない。

これまで、もっぱら AIC（赤池情報量基準）をモデル選択基準として用いる併合法が提案されてきた。AIC を用いる併合法として、まず玉川（1987）<sup>27)</sup> が挙げられる。この併合法には、その利用にあたって、いくつかの制約がある。まず、長方形領域が縦横にメッシュに分割され、なおかつ、個々のメッシュに与えられている属性が整数というデータに対してのみ利用可能である。また、併合される可能性のある空間単位の集合は、長方形（メッシュに分割されている長方形領域より小さい）を形作るものに限られる。さらに、併合される可能性のある空間単位の集合のすべてが、併合されるか、あるいは、併合されないかのどちらかに限定されている。言い換えれば、ある空間単位の集合に関しては併合が行われるが、（互いに疎な）別の集合に関しては併合が行われないということはない。この併合法に関する制約の一つを鑑み、続いて発表された研究<sup>28)</sup>では、メッシュの属性が連続量となるデータに対して利用可能な併合法を提案している。

中谷（1996）<sup>29)</sup>では、併合される可能性のある空間単位の集合がなす領域の形状について、高い自由度を認める方法を提案している。この方法では、隣り合う空間単位のいかなるペアも併合される可能性があるものとし、死亡率が類似した空間単位の集合同士を併合する。より具体的には、死亡という事象はポアソン分布にしたがうと考え、AIC を最も改善し、かつ、互いに隣り合う空間単位の集合の併合を繰り返す。こうした併合を AIC の改善がみられなくなるまで続ける（このような併合の繰り返しは、

3.2.2 節における「連担制約付き法」でのデンドログラム作成を途中まで実行することと何ら変わらない）。阪田・吉川（2001）<sup>30)</sup>、大佛・中山（2001）<sup>31)</sup>では、四分木にしたがうメッシュデータを対象とし、この四分木の末端のノードから根ノードへとたどっていくように併合される（四つのメッシュが“田”の字型に集まることを繰り返す）とした方法を提案している。なお、文献30)で提案されている方法では、各メッシュが持つ属性は、多項分布の実現値とみなしている。阪田・吉川（2002）<sup>32)</sup>では、属性に関して同様に仮定される一般的なポリゴンデータを対象とし、隣り合うポリゴンのいかなるペアも併合される併合法を提案している。ただし、併合によって形作られる領域は、多かれ少なかれコンパクトな形状でなければならないという制約を加えている。

伊藤（2002）<sup>33)</sup>から始まる一連の研究<sup>34),35)</sup>では、AIC に代わって MDL 基準を用いる併合法を提案している。文献33)で提案されている方法は、正方形メッシュからなるデータを対象とする。個々のメッシュには幾何分布の実現値が与えられていると考える。そして、正方形もしくは短辺長と長辺長の比が 1:2 となる長方形を形作るような併合のみを認めている。つまり、文献30)の併合法よりも、併合によって生じる領域の形状について、いくらか高い自由度を認める方法となっている。この後、文献34),35)では、メッシュの属性を実現させていると仮定している確率分布を幾何分布ではなく、多項分布とした場合について、文献33)で提案された方法を修正・拡張し、それを用いた実証分析例を紹介している。

併合法の実行結果は、属性が類似した空間単位がまとめられたものであるため、それを視覚的に表示したとき、（少なくとも併合法が行われない場合よりも）空間的パターンを把握しやすいという<sup>31)</sup>。そのため、一般に、未定方法を用いたときにどのような部分地域を見て取るかということは人によって異なるが、併合法に関しては、その異なり程度が小さいことが期待される。

### 3.1.3 その他の未定方法

ここからは、ここまで挙げた方法以外に未定方法と呼ぶようなものをみていこう。

#### 3.1.3.1 空間的エッジを検出する方法

今、二条件を満たすように空間単位がグループ分けされているとする。このとき、空間的に隣接し、なおかつ、異なる部分領域に属する空間単位間では、属性の“差”が大きくなると期待される。隣接する空間単位間で、属性の著しい“差”がみられる箇所を「空間的エッジ」と言うことにしよう。すると、空間的エッジを検出し、それを視覚的に表示することで、内部が均質な部分地域を浮き彫りとなることが期待できる。このように空間的エッジを検出する方法としては、Oden et al. (1993)<sup>36)</sup>が挙げられる。また、空間単位と空間単位の間空間的エッジを見出す方法ではないが、空間中でのある種の“急激な変化”を見出すことで、部分地域を見出すと試みる方法が提案されている<sup>37)</sup>。その方法は、各ポリゴンに土地利用カテゴリーが与えられているデータがあったとき、まず、任意の地点から一定半径の円内の土地利用構成

比を求め、次に、こうした地点を動かしていったときに構成比が急激に変化する箇所を見出すことで、土地利用構成比の点で特徴的な部分地域を浮き彫りにしようとするものである。

### 3.1.3.2 コロプレス地図表示、および、それに多変量解析法を組み合わせる方法

空間単位の持つ属性がスカラーであるとき、属性を区間に区分し、区分毎に異なる色(色相、明度、彩度)や模様を割り当てて視覚化を行うコロプレス地図表示によっても、均質な部分地域が見出されてくることが期待できる。より具体的には、同じように表現された空間単位が、互いに隣接する、あるいは、近い位置にあるとき、それら空間単位が部分地域をなすものとみなす。属性がベクトルの場合、主成分分析法や因子分析法といった多変量解析法を組み合わせる方法が考えられる。つまり、まず、ベクトル(属性)が持つ情報を可能な限り縮約したスカラー(例えば、主成分分析における第一主成分得点)を求め、次に、そのスカラーに基づいたコロプレス地図表示を行い、その後、先と同様にして均質な部分地域を見て取ろうとする方法である。木島・渡辺(1972)<sup>38)</sup>、Webster and Burrough (1972)<sup>39)</sup>は、このように多変量解析法を組み合わせた方法を、実際のデータに適用した結果を示している。なお、文献 39) は、ここで述べたように主成分分析法を用いた視覚的表示を行い、また、この後の3.2.2節における「ツリー法」を用いた結果も同時に示している。そして、第一主成分の寄与率は40%程度であるが、それを視覚化した結果から、ある程度まで自然に見て取れる部分地域への分割と「ツリー法」による空間単位のグループ分けが非常に近いものになるという結果を得ている。

### 3.1.3.3 特徴的空間単位を中心としたグループ分け

空間的に特徴のある空間単位を中心として、地域区分を試みる方法が提案されている<sup>40), 41)</sup>。この方法は、空間単位の属性がスカラーであるときに限って用いられる。まず、周囲よりも大きな属性を持つ“頂点”のような空間単位、その逆の“谷底”のような空間単位、両者の性質を併せ持つ“鞍点”のような空間単位を見出す。次に、これら“頂点”、“谷底”、“鞍点”を中心とし、属性の“等値線”に沿うような空間単位のグループ分けの中で、均質性指標を最小化するものを見出す。

このようにして、見出される空間単位のグループを部分地域と見なすこともできる。ただ、微細な“頂点”、“谷底”、“鞍点”があったとき、グループを過剰に生成することになるため、適当な数の部分地域を見出そうとなると、これらグループから部分地域を“見て取る”ことが必要だろう。

## 3.2 既定部分地域数方法

3.1節と同様に、既定数方法もさらにいくつかのタイプに細分化し、それぞれの特徴や長短をみていこう。

### 3.2.1 属性と地理的座標による空間単位の分類

既定数方法と呼ぶ地域区分方法の一つとして、まず、空間

単位間の隣接関係は考慮外におき、属性および空間単位の所在を代表する地理的座標(例えば、空間単位が多角形的な閉じた領域である場合は、その重心の座標)が類似しているもの同士が同一グループになるように空間単位をグループへ分類し、その分類結果から部分地域を見出そうとする方法が挙げられる。このような方法で見出される各グループは属性が近いだけでなく、地理的な位置も互いに近い空間単位からなるため、個々のグループを部分地域とみなせよう。

空間単位のグループ分けには、いくつかの方法が利用している。これまでの研究では、少なくとも二つの方法の利用が提案されている。第一の方法は、クラスター分析法である。Wise et al. (1997)<sup>42)</sup>、Haining et al. (2000)<sup>43)</sup>は、非階層的クラスター分析法をここで述べているように利用するプログラムを開発している。また、Webster and Burrough (1972)<sup>44)</sup>でも、土壌データに対して、ここで述べているようにクラスター分析を利用した結果を示している。第二の方法は、最適化問題に帰着させる方法である。青木ら(1993)<sup>45)</sup>は、各グループ内での属性および地理的座標値のばらつきを最小化する問題を、ニューラルネットワークを利用して解くことで、地域区分を実行する方法を提案している。

グループ分けにどのような方法を用いるのであれ、このタイプの既定数方法が地域区分方法として不完全な点は、以下に挙げるような三点だろう。一つ目は、連坦性条件が必ずしも満たされないという点である。先述のように、このタイプの方法によって得られる各グループ(つまり、部分地域)は、地理的に互いに近い空間単位によって構成される。しかし、連坦性条件を満たされるという保証はなく、むしろ、一般には、各グループは空間的に連坦したものとはならない。二つ目は、このタイプの方法が満足させようとしている条件は、二条件とは微妙に食い違っているという点である。グループ分けを地理的座標値にも基づいて行うということは、第一義的には、各グループを(円形に近い)コンパクトに寄り集まったものに行うことである。空間的に連坦した状態に近い、あるいは、場合によっては空間的に連坦したグループ分けは、コンパクトなグループ分けを通じて間接的に実現される。三つ目は、属性に対して地理的座標値がどの程度の重みを持つかということ、これといった合理的根拠なしに決めざるを得ないという点である。グループ分けを行う際に、クラスター分析法を利用するのであれ、最適化問題に帰着させるのであれ、属性と地理的座標の間に適当なトレードオフ関係を定めることになる。しかしそのトレードオフの程度をどのように定めるかということに関しては、多かれ少なかれ分析者の恣意的判断に依らざるをえない。

### 3.2.2 ツリーグラフの切断に基づく方法

既定数方法に分類される地域区分方法の代表的なタイプとして、空間単位間の隣接関係および属性の近さに基づいて生成されたツリーグラフを利用する方法がある。このツリーグラフは、あらゆる部分ツリーが空間的に連坦した空間単位の集合に対応するようなものである。そのため、このツリーグラフを切断すると、連坦した空間単位のグループが得られる。そのため、こうした空

間単位のグループを部分地域とみなせば、ツリーの切断によって、連坦性条件を満たすような部分地域が必ず見出される。ツリーの切断箇所は、均質性指標をなるべく小さく、もしくは、相当程度小さくなることが期待されるように決める。

このタイプの地域区分方法を提案もしくは利用した既往研究は多い。それぞれの既往研究で生成されるツリーやツリー切断法は異なる。ただし、それら研究のいずれも、そこで生成されるツリーは、“特殊な”階層的クラスター分析を実行した際に得られるデンドログラムであるという点で共通している。通常の階層的クラスター分析法では、デンドログラムの生成過程において、任意の個体および個体の集合同士が併合しうるが、この“特殊な”階層的クラスター分析では、空間的に隣接する空間単位の集合同士のみが併合しうるものとする。このように制約された“特殊な”階層的クラスター分析法を、以下では、「連坦制約付き階層的クラスター分析法」(あるいは、略して「連坦制約付き法」)と言うことにする。

連坦制約付き法に基づく地域区分は、クラスター分析法を援用し、なおかつ、連坦性条件を満たすためにはどのようにすればよいかということを考えたとき、ある程度自然に発想されるものだろう。以下、このタイプの方法を「ツリー法」と呼ぶことにしよう。そこで生成されるツリーが連坦制約付き法におけるデンドログラムであることが明確な既往研究は、かなり以前まで遡ることができ、なおかつ、その数も多い。以下では、それら研究を挙げていこう。

Spence (1968)<sup>46)</sup>、Webster and Burrough (1972b)<sup>44)</sup>、Fisher (1980)<sup>47)</sup>、Perruchet (1983)<sup>48)</sup>、および、文献 18), 44) は、いずれも、連坦制約付き法でツリーを生成していることがはっきりとしているツリー法を実行し、その結果を示している。Ferligoj and Batagelj (1982)<sup>49)</sup> は、階層のおよび非階層的クラスター分析法をそれぞれ拡張し、連坦性条件を満たす地域区分方法を提案しているが、そこで階層的クラスター分析法が拡張されたものは、ここで言うツリー法である。Openshaw (1973)<sup>50)</sup> では、一種のツリー法を、計算機を用いて実行する上で時間計算量および空間計算量を明らかにしている。通常の階層的クラスター分析には、いくつかの種類があるが<sup>51)</sup>、Guo (2008)<sup>52)</sup> は、これら一つ一つを連坦制約付き法に拡張し、ツリーを生成するアルゴリズム、および、そのアルゴリズムを実行するのに要する時間計算量を明らかにしている。そして、これらツリー法を、REDCAP (Regionalization with Dynamically Constrained Agglomerative Clustering and Partitioning) と総称している。

一方、生成・利用されるツリーが、連坦制約付き法によるデンドログラムであることが自明ではないツリー法を提案した研究もある。Maravalle and Simeone (1995)<sup>53)</sup>、Assunção et al. (2008)<sup>54)</sup> がそれにあたる。これらはいずれも、まず、空間単位をノードに見立て、次に、空間単位が隣接しているときにノード間にリンクが張られうるものとし、そして、隣接する空間単位間での属性の非類似度を、リンクの“長さ”とする(非類似度は何らかの形で定義する)。このようなノード、リンク、長さの定義に基づき、最短距離木 (Minimum Spanning Tree) を張る。この最短距離木と連

坦制約付き法との関係は一見分かりにくいと思われるが、文献 52) は、この最短距離木は、連坦制約付き法の一つによって生成されるデンドログラムと本質的に同じであることを示している。

ツリーの切断箇所の決め方は、大きく分けて二つある。一つは、通常の階層的クラスター分析と同様に、(ツリーと本質的に同一である) 連坦制約付き法によるデンドログラムを“一定の高さ”で切断する方法である。つまり、このような切断で得られる部分ツリーに対応する空間単位のグループは、ある一定の(属性の)非類似度以下で併合されていった空間単位からなる。生成・利用されるツリーが、連坦制約付き法によるデンドログラムであることが明らかな研究の多くでは、こうしてツリーの切断箇所が決められることが多い。具体的には、文献 18), 44), 46), 47), 48) が、そのようにツリーを切断している。

もう一つのツリーの切断箇所の決め方は、あらゆる切断の中で、均質性指標をなるべく小さくするものを選ぶという方法である。前々段落で述べたような最短距離木を張る研究<sup>53), 54)</sup> では、ツリー法が階層的クラスター分析法の拡張であるということがほとんど意識されないためか、こうしたツリー切断箇所の決め方を採る。また文献 52) における REDCAP は、階層的クラスター分析法の拡張であることが明らかだが、ツリーの切断場所を“一定の高さ”としていない。

均質性条件を考えると、これら二種類のツリー切断箇所の決め方のうち、後者を採るべきだろう。先述のように、文献 52), 53), 54) において、任意の場所でツリーを切断しうるツリー法が、何種か提案されてきた。これらのどれがより小さい均質性指標を与えるかと考えると、文献 52) での結果をみる限り、REDCAP の一種と思われる。文献 52) では、REDCAP のうちの何種類かが、文献 54) における方法よりも、著しく小さい均質性指標に達するという結果を示しているためである。

ツリー法は、その性質上、必ず連坦性条件を満たす地域区分方法である。したがって、その長短は、均質性条件の点から判断されることになろう。

実践的には、ツリー法は、均質性条件の点で優れた地域区分方法と思われる。連坦性条件を必ず満たす地域区分方法としては、このすぐ後で紹介・説明する AZP (より正確には、地域区分方法としての AZP) がある。これも後に詳述するが、AZP とツリー法を同一データに対して適用した研究<sup>54)</sup> をみると、ツリー法は AZP に比べ、より小さな均質性指標に達する。

ただし、ツリー法は、それが均質性指標を最小化させることを期待させる理論的根拠を持たない。一般に、階層的クラスター分析においても、デンドログラム切断後に得られる個体のグループが、あらゆるグループ分けの中で、均質性指標を最小にするものとは限らない。このことを考えれば、ツリー法で得られる空間単位のグループ分けも、一般には、均質性指標を最小化するものではないと考えられる。

文献 53) で提案された方法は、この点を考慮して拡張されたツリー法となっている。この方法は、まずツリーの切断を行った後、そこで得られる空間単位のグループに対して改善を加えていく。具体的には、次の節で扱う AZP のように、隣り合うグルー

づ間での空間単位の“交換”、“引き渡し”を、均質性指標がこれ以上小さくなくなるまで繰り返す。このようなツリー法の拡張によって、均質性指標がさらに小さくなることは疑いない。ただ、これによって均質性指標の最小値に達するのか、また、達しないとしても、どの程度まで均質性指標が小さくなっていくのか、今のところ（少なくとも筆者の知る限り）明らかではない。

### 3.2.3 AZP (Automatic Zoning Procedure)

連坦性条件を満たしつつ、なおかつ、他の条件にもなるべく適うように空間単位をグループ分けする方法としては、以下に述べるような、逐次改善による方法も考えられる。その方法では、まず、連坦性条件を満たすような空間の初期グループ分けをランダムに生成する。次に、“他の条件”の点で改善が可能であり、なおかつ、連坦性条件に反しない限り、隣り合うグループ間で空間単位の“交換”、“引き渡し”が可能であるかどうかを調べる。もし、“交換”や“引き渡し”が可能であれば、それを実行した上で、さらに“他の条件”の点で改善するような“交換”や“引き渡し”があるかどうかを調べる。以下、“他の条件”の点でそれ以上改善できなくなるまで、これを繰り返していく。

筆者の調べる限り、このタイプの方法の萌芽は、Nagel (1965)<sup>55)</sup>にまで遡ることができる。ただ、このタイプの方法が明確な形となって現れている研究は、Openshaw (1977)<sup>56)</sup>が最も初期のものであろう。文献 56) は、このタイプの方法を AZP (Automatic Zoning Procedure) と名付けている。AZP における“他の条件”を均質性条件とすることで、これを地域区分方法として利用できる。以下では、単に「AZP」と書いても、特に断りのない限り、地域区分方法として利用される AZP を意味するものとする。なお、文献 56)の後、文献 49) が、非階層的クラスター分析法を、連坦性条件を満たす地域区分方法へと拡張しているが、これは本質的に AZP と同じものである（掲載誌名から判断するに、文献 56) とは全く独立して行われた研究と考えられる）。

AZP によって得られる空間単位のグループ分けは、その方法の性質上、一種の“局所最適”なグループ分けであり、均質性条件を満たす（均質性指標が最小となる）グループ分けも、無論、局所最適である。そのため、AZP によって得られるグループ分けは、均質性条件が満たされるための必要条件を満たしたものとなっている。このことだけから考えると、AZP は、二条件を満たす地域区分方法である可能性がある。ただ、実際にはそうではない。

一般に、局所最適となるような空間単位のグループ分けは何通りも存在しうる。もし何通りも存在するとしたら、AZP は、その一つの局所最適に偶発的に行き着くものであるから、必ずしも均質性条件が満たされるとは限らない。むしろ、平均的には、決して均質性指標が小さくはないグループ分けになるかもしれない。実際、文献 54) では、実際のデータへの適用結果から、そこで提案されているツリー法の方が、AZP よりも、かなり小さい均質性指標に達するを示している。ちなみに、先述のように、文献 52) で提案されている REDCAP (と呼ばれる地域区分方法)の多くは、文献 54) のツリー法に比べ、さらに小さな均質性指

標に達する。このようにみえていくと、AZP は、なおさら均質性条件の点で必ずしも優れない方法と考えられる。

なお、AZP が、均質性条件の点で必ずしも優れたパフォーマンスを示さないのは、均質性指標が決して小さくはなく、均質性指標が局所最適となるような空間単位のグループ分けに陥りがちなためと考えられる。そこで、Openshaw and Rao (1995)<sup>57)</sup>では、焼きなまし法を併用することで、より小さい均質性指標に達せられるように、AZP の拡張を試みている。当然、この拡張された AZP は、拡張前よりも、小さな均質性指標を与えるグループ分けに達する。ただし、ツリー法（中でも REDCAP）を上回り、均質性条件を満たすような空間単位のグループ分けを得られるかどうかは、（筆者らが先行研究を調べた限りでは）明らかになっていない。

### 3.2.4 その他の既定数方法

Taylor (1969)<sup>58)</sup>では、今まで挙げてきたタイプのいずれでもない既定数方法を提案している。まず、部分地域の“核”と見なしうる空間単位を選びだす。ここで、この空間単位の数は、見出そうとしている部分地域の数と等しい。また、部分地域の“核”となる空間単位は、その“核”から“一定の距離範囲”内にあり、なおかつ、同じような（“核”の属性値との差が“一定の閾値”以内）属性値を持つ空間単位の面積の総和が大きいものである。かみ砕いて言い換えれば、一定半径の円内で、似通った属性値を持っている空間単位が、その円の大部分を占めるとき、その円の中心に位置するものが、“核”となる。このような“核”を見出した後、連坦性条件を満たしつつ、“核”から始めて、その“核”と近い属性値を持つ空間単位を順次“核”と同じグループに組み入れていき、最終的な空間単位のグループ分けを得る。

この方法の問題点は、分析者が決めなければならないパラメータが多いということであろう。先の段落で書いた“一定の距離範囲”、“一定の閾値”は、特に理論的根拠なく、分析者が多かれ少なかれ主観的に決めざるを得ない。当然、これらをどのように決めるかにより、最終的に得られる空間単位のグループ分けは異なったものとなる。

## 4. まとめと今後の課題

本稿では、地域区分を行う方法をタイプに分け、それぞれの特徴や長短をみてきた。そのレビュー結果のうち、特に我が国の都市計画およびその周辺分野に関連するものをまとめておこう。

まず、実行前の段階で部分地域数が決まっていない未定方法についてみてみよう。我が国の都市計画とその周辺分野での研究において、実際に地域区分を行う際には、クラスター分析法によって空間単位を属性に基づいて分類し、その分類結果から部分地域を見て取るという方法が用いられてきた。一方、我が国の都市計画とその周辺分野での研究では、本稿で「併合法」と名付けた方法を提案する研究が数多くなされてきた。

次に、ある決まった数の部分地域へと区分していく既定数方法についてみてみよう。このタイプの方法は、我が国よりも国外で研究が進んできた。既定数方法の中でも、本稿で「ツリー法」と

名付けた方法、および、文献 56) によって開発された AZP (より正確には、地域区分方法として用いる AZP) は、連坦性条件を満たす。二条件のうちの一つを常に満たすという意味で、ツリー法と AZP は、地域区分方法として好ましい性質を有していると言える。均質性条件の点からツリー法と AZP を比較すると、文献 54) における結果などから、AZP よりもツリー法の方が、均質性指標を小さくする空間単位のグループ分けに達すると考えられる。特に、文献 52) における REDCAP (と呼ばれるツリー法) の一種が、小さな均質性指標に達するものと考えられる。ただし、AZP による空間単位のグループ分けは、均質性条件が満たされるための必要条件を満たすものであり、少なくともこの点は AZP の好ましい性質として挙げるができる。

以上のようにみていくと、我が国の都市計画とその周辺分野において、今後も地域区分方法に関する研究を行うとなると、(何らかの意味で好ましい性質を有する) 地域区分方法のバリエーションを豊富にしていくということが一つの方向性として考えられる。冒頭に述べたように、地域区分に先立って、部分地域数はある程度決まるとも、決まっていなくても考えることができ、それゆえ、地域区分を行う場面によって、未定方法が求められることもあれば、既定数方法が求められることもあるだろう。一方で、我が国で開発されてきた地域区分方法は(未定方法の一種である) 併合法がほとんどであり、既定数方法に関する研究はあまり見られない。そこで、例えば、既定数方法に関する今後の研究課題としてどのようなものか考えてみよう。本稿で行ってきた地域区分方法のタイプ分け、および、各タイプについてみてきた特徴や長短を踏まえると、連坦性条件を満たし、なおかつ、ツリー法や AZP よりも小さい均質性指標に達するような方法を開発していくという研究課題が考えられる。

また、こうした研究課題がどのように遂行されるか考えてみよう。本稿では、これまで提案・利用されてきた地域区分方法を、一通りタイプ分けしてきたが、よくよく振り返ってみると、必ずしも、あるタイプに明確に分類されるものばかりではなかった。例えば、文献 29) による方法は、併合法の一種へ分類したが、ツリー法の要素も持ち合わせている。また、文献 53) による方法は、基本的にツリー法であるが、AZP の要素も持ち合わせている。なぜ、このように複数のタイプの方法の特徴を併せ持つような方法があるかと考えてみると、ここまで見てきたように、各タイプの地域区分方法はそのいずれも、それを利用することで二条件を満たす(あるいは、それに近い) 部分地域が見つげられると期待できる尤もな理由があり、そのため、それぞれの長所を組み合わせたような方法が考えられたものと思われる。すると、本稿で行った地域区分方法のタイプ分け結果に基づき、いくつかのタイプの方法を、それぞれの利点を引き出すように組み合わせた方法を考えることで、上記の研究課題が遂行される可能性はあるだろう。

## 謝辞

本稿第1章に関して、真鍋 陸太郎 氏から貴重なコメントをいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 高見沢 実 (2000) 初学者のための都市工学入門, 鹿島出版会(東京) .
- 2) 吉川 徹 (1992) 土地利用解析手法に関する一連の研究, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻博士論文
- 3) Duque, J.C., Ramos, R., Surinach, J. (2007) Supervised Regionalization Methods: A Survey, *International Regional Science Review*, 30(3), 195-220.
- 4) Berry, B. (1961) Method for deriving multifactor uniform regions, *Przeglad Geograficzny*, 33, 263-282.
- 5) Cliff, A.D., Haggett, P. (1970) On the efficiency of alternative aggregations in region-building problems, *Environment and Planning*, 2, 285-294.
- 6) Keane, M. (1975) The size of the region-building problem, *Environment and Planning A*, 7, 575-577.
- 7) Williams, J.C. (2002) A Zero-One Programming Model for Contiguous Land Acquisition, *Geographical Analysis*, 34(4), 330-349.
- 8) Shirabe, T. (2005) A Model of Contiguity for Spatial Unit Allocation, *Geographical Analysis*, 37(1), 2-16.
- 9) Bailey, T.C., Gatrell, A.C. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*, Longman: Harlow.
- 10) O'Sullivan, D., Unwin, D.J. (2003) *Geographic Information Analysis*, John Wiley and Sons: Hoboken.
- 11) 増田 聡 (1983) クラスタ法による首都圏内地方中心都市の従業者分布構造の分析, *都市計画論文集*, 18, 55-60.
- 12) 玉川 英則 (1984) 都市内における土地利用パターン及びその変化の計量的分析—高崎市域並びに昭和35年DID内を対象として—, *都市計画論文集*, 19, 343-348.
- 13) 中出 文平 (1985) 東京都区部都心及び隣接地域の土地建物利用についての考察, *日本不動産学会学術講演梗概集*, 1, 197-200.
- 14) 沖島 章浩, 大西 隆, 栗田 治 (1991) マンハッタン都市構造の分析, *都市計画論文集*, 26, 481-486.
- 15) 肥田野 登, 山村 能郎 (1992) 住宅地における容積率規制が地価の地域間波及に及ぼす影響, *都市計画論文集*, 27, 127-132.
- 16) 小泉 秀樹 (1993) 商業地域内居住地の近年の変容実態と計画課題, *都市計画論文集*, 28, 829-834.
- 17) 後藤 寛 (1998) 自治体財政からみた首都圏の地域構造, *都市計画論文集*, 33, 115-120.
- 18) 東海林 洋介, 貞広 幸雄 (1998) 道路網に基づいた地区分類手法, *地理情報システム学会講演論文集*, 7, 285-288.
- 19) コホネン, T. 著/徳高 平蔵, 堀尾 恵一, 大北 正昭, 大藪 又茂, 藤村 喜久郎 訳 (2005) 自己組織化マップ, シュプリンガーフェアラーク東京 (東京) .
- 20) Openshaw, S. (1994) Neuro classification of spatial data, in Hewitson, B.C. and Crane, R.G eds. *Neural Nets: Applications in Geography*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 53-70.
- 21) 桐村 喬 (2007) 小地域の地理的クラスタリング—外れ値処理と空間的スムージング—, *GIS—理論と応用*, 15(2), 33-44.
- 22) 土井 喜久一 (1970) ウィーバーの組合せ分析法の再検討と修正, *人文地理*, 22(5・6), 1-18.
- 23) Weaver, J.C. (1954) Crop-combination regions in the Middle West, *Geographical Review*, 44, 175-200.
- 24) Weaver, J.C. (1954) Crop-Combination Regions for 1919 and 1929 in the Middle West, *Geographical Review*, 44, 560-572.
- 25) 吉川 徹 (1999) 東京都多摩地区南部の鉄道沿線の通勤時間

- 分布の地域的差異の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, 81-82.
- 26) 小西 貞則、北川 源四郎 (2004) 情報量規準, 朝倉書店 (東京) .
- 27) 玉川 英則 (1987) 土地利用比率の同質性からみた最適メッシュ規模に関する考察, 都市計画論文集, 22, 229-234.
- 28) 樋口 忠彦、玉川 英則、アグス ブディ プルノモ イサク (1988) 連続変量の最適メッシュ区分について—メンタルマップを用いてのケーススタディー—, 都市計画論文集, 23, 37-42.
- 29) 中谷 友樹 (1996) 死亡率地図における空間単位の情報量統計学的評価—地理情報システムによる疾病地図解析システムの構築に向けて—, GIS—理論と応用, 4(1), 52-60.
- 30) 阪田 知彦、吉川 徹 (2001) GIS 建物データとメッシュシステムに立脚した東京都区部における延べ床面積規模別事業所系建築物の地理的分布の分析, 日本建築学会計画系論文集, 545, 189-196.
- 31) 大佛 俊泰、中山 大樹 (2001) 空間的クラスターと情報量損失を考慮した空間データの視覚化, 地理情報システム学会講演論文集, 10, 159-162.
- 32) 阪田 知彦、吉川 徹 (2002) 小地域集計データによる地域クラスタリングにおける幾何学的制約とパラメータ推定の安定性の関係について, GIS—理論と応用, 10(2), 9-17.
- 33) 伊藤 香織 (2002) 時空間を特徴づける領域分割の最適化に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 556, 341-348.
- 34) 伊藤 香織 (2002) ダマスクス旧市街における建築物規模の構成と分布, 都市計画論文集, 37, 91-96.
- 35) 伊藤 香織 (2004) 東京都区部の空間を特徴づける業種構成特化エリアの分布とその変化, 都市計画論文集, 39(3), 841-846.
- 36) Oden, N. L., R. R. Sokal, M.-J. Fortin, and H. Goebel (1993) Categorical wombling: Detecting regions of significant change in spatially located categorical variables, *Geographical Analysis*, 25, 315-336.
- 37) 吉川 徹 (1993) 土地利用構成比関数: ミクロな土地利用混合を把握する一手法, GIS—理論と応用, 1, 109-119.
- 38) 木島 安史、渡辺 仁史 (1972) アーバンダイメンション その1・因子分析による地域分類の方法に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 197, 51-57.
- 39) Webster, R., Burrough, P.A. (1972) Computer-based soil mapping of small areas from sample data I. classification and ordination, *Journal of Soil Science*, 23(2), 210-221.
- 40) 増山 篤 (2005) 一つの空間的領域を複数の均質部分領域へ分割する方法, 都市計画論文集, 40(3), 145-150.
- 41) 増山 篤 (2005) 空間的クラスタリングを実行する効率的な計算法の提案, 日本不動産学会学術講演梗概集, 21, 65-68.
- 42) Wise, S., Haining, R., Ma, J. (1997) Regionalisation tools for the exploratory spatial analysis of health data, in Fisher, M. and Getis, A. eds. *Recent Developments in Spatial Analysis - Spatial Statistics, Behavioural Modelling and Neurocomputing*, Berlin: Springer. 83-100.
- 43) Haining, R., Wise, S., Ma, J. (2000) Designing and implementing software for spatial statistical analysis in a GIS environment, *Journal of Geographical Systems*, 2, 257-286.
- 44) Webster, R., Burrough, P.A. (1972) Computer-based soil mapping of small areas from sample data II. Classification Smoothing, *Journal of Soil Science*, 23(2), 222-234.
- 45) 青木 義次、永井 明子、大佛 俊泰 (1993) ニューラルネットワークによる地域分類法, GIS—理論と応用, 1, 11-21.
- 46) Spence, N.A. (1968) A Multifactor Uniform Regionalization of British Counties on the Basis of Employment Data for 1961, *Regional Studies*, 2, 87-104.
- 47) Fisher, M.M. (1980) Regional Taxonomy: A Comparison of Some Hierarchic and Non-Hierarchic Strategies, *Regional Science and Urban Economics*, 10, 503-507.
- 48) Perruchet, C. (1983) Constrained agglomerative hierarchical classification, *Pattern Recognition*.
- 49) Ferligoj, A., Batagelj, V. (1982) Clustering with relational Constraint, *Psychometrika*, 47(4), 413-426.
- 50) Openshaw, S. (1973) A Regionalisation Program for Large Data Sets, *Computer Applications*, 3/4, 136-147.
- 51) Romesburg, H.C. 著/西田 英郎・佐藤 嗣二訳 (1992) 「クラスター分析」, 内田老鶴圃 (東京) .
- 52) Guo, D. (2008) Regionalization with dynamically constrained agglomerative clustering and partitioning (REDCAP), *International Journal of Geographical Information Science*, 22(7), 801-823.
- 53) Maravalle, M., Simeone, B. (1995) A Spanning Tree Heuristic for Regional Clustering, *Communications in Statistics -Theory and Methods-*, 24(3), 625-639.
- 54) Assunção, R.M., Neves, M.C., Câmara, G and Da Costa Freitas, C. (2006) Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning tree, *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 797-811.
- 55) Nagel, S.S. (1965) Simplified bipartisan computer redistricting, *Stanford Law Review*, 17, 863-899.
- 56) Openshaw, S. (1977) A geographical solution to scale and aggregation problems in region-building, partitioning and spatial modeling, *Transactions of the Institute of British Geographers (New Series)*, 2, 459-472.
- 57) Openshaw, S., Rao, L. (1995) Algorithms for re-engineering 1991 Census geography, *Environment and Planning A*, 27, 425-446.
- 58) Taylor, P.J. (1969) The Location Variable in Taxonomy, *Geographical Analysis*, 1, 181-195.