

空間データ分析マシン (SDAM) を活用した 計量地理学の講義と実習

村山祐司・駒木伸比古*

はじめに

空間データ分析マシン「SDAM」
実習におけるSDAMの利用例

- 1 単独機能による実習利用例

- 2 複数の機能を組み合わせた実習利用例
おわりに

キーワード：計量地理学，空間データ分析マシン，SDAM，教育，教授法，ソフトウェア

はじめに

1950年代に合衆国で起こった計量革命は北米の地理学界を席卷し、1960年代には多くの大学で計量地理学の講義が開始された。日本でも、1970年代後半以降、主要大学で計量地理学の講義が組まれるようになった。今では地理学科を中心に、半期（2単位）ないしは通年（4単位）で、広く講義がなされている。

ところで、計量地理学の講義ではモデルや分析手法の説明が中心となりやすく、操作方法や研究への活用が学生に伝わりにくいことが指摘されてきた。また、たとえ講義によりモデルの原理を理解できたとしても、それだけでは知識の蓄積に留まってしまう。学生自身の研究に生かすためにも、実データの利用を通じた手法の実践が必要であろう。

しかしながら、コンピュータやソフトウェアなどを受講人数分準備するには費用や場所が問題となり、効果的な実習環境を整えられるとは限らない。また統計解析であればSPSS、SASといった統計パッケージや、Microsoft Excelなどの表計算ソフトを利用すれば良いが、これらは分析結果の地図化や空間データとリンクさせた地域分析はできない。一方で、ArcViewなどの商用GISは、データベースの管理やビジュアル化などには強いが、初期設定のままでは空間分析機能の装備が貧弱であり、高度な空間分析を行うにはプログラミングの知識が不可欠である。

これらの問題点を克服する方法として、川瀬（2002）はフリーウェアであるArcExplorer¹⁾やMANDARA²⁾を用いて、低予算で実現可能なGIS教育環境の整備、講義内容のあり方について紹介している。また、村山ほか（2000）は、同じく無償で入手可能なTNTLite³⁾を用いて、GISの基礎・応用解析実習を行っている。しかし、計量地理学の講義や実習を行うには空間分析機能が十分でなく、また動作環境が特殊であったり、操作がやや煩雑であるという問題点が指摘されている。

* 生命環境科学研究科大学院生

大学において計量地理学の効果的な教育を行うために、高度な技術を必要せず豊富に空間解析が可能な専用のソフトウェアの開発が望まれる。その際、次のような点が考慮されるべきである。

- ・ 学生が簡単に操作できること
- ・ 低価格であること（フリーウェアが最善）
- ・ 多様な空間データが取り込めること
- ・ 汎用性があること
- ・ 分析機能が充実していること

こうした問題点を解決するために開発されたツールが空間データ分析マシン「SDAM」である。

空間データ分析マシン「SDAM」

SDAMはWindows2000/XP上で動作するフリーソフトウェアである。筑波大学村山祐司研究室のウェブページ内の専用ページ⁴⁾で公開されており、自由にダウンロード可能である。SDAMは、以下のような多彩な機能を有している。

- * 地図作成：コロプレス図，円ドット図，カルトグラム
- * カーネル密度推定
- * 空間 / 属性検索
- * オーバーレイ
- * バッファー
- * ユニオン
- * TIN
- * ボロノイ
- * 凸包
- * 記述統計
- * 多変量解析：回帰分析，因子分析，クラスター分析
- * 探索的空間分析（ESDA）
- * ポイント・パターン分析：方格法，最近隣法，K関数法
- * 空間的自己相関分析：グローバル・モラン統計量，グローバル・ギアリ統計量，モラン・プロット，ローカル・モラン統計量，ローカルG統計量，ローカルG*統計量
- * 空間的相互作用分析：古典的重力モデル，発生制約型モデル，吸収制約型モデル，二重制約型モデル
- * 地理的加重回帰分析（GWR）

SDAMはGUI（グラフィカルユーザーインターフェース）を採用しているため、マウスにより簡単に操作でき、専門的な知識を必要としない。

実習におけるSDAMの利用例

本章では、SDAMの分析機能を紹介するとともに、実際のデータを用いた実習利用例を紹介する。なお東京都のデータを用いるが、地図データはESRI JAPAN⁵⁾にて提供されている「全国市区町村界データ⁶⁾」を、属性データは東京都総務局統計部ウェブページ内で公開されている「東京都社会指標⁷⁾」を利用した。

- 1 単独機能による実習利用例

1) 空間検索

GISの基本機能のひとつに、各フィーチャーの位置関係を把握する空間検索機能がある。SDAMは全9種類のオペレーターをサポートする⁸⁾。第1図は、都心3区のポリゴン内に立地する東京都区部における大学をcontains機能を用いて表示させた地図と、都心3区に接する東京都区部をintersect機能により示した地図である。このように、任意の条件を満たすフィーチャーを、瞬時かつ視覚的に検索することが可能である。

2) 属性検索

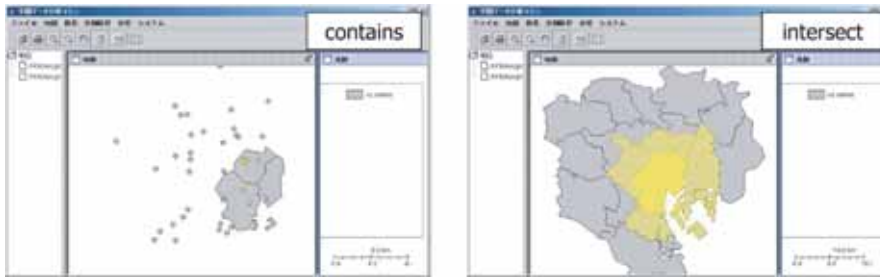
属性検索とは、属性値が、指定条件を満たすフィーチャーを選択する機能である。前述の空間検索と同様、GISの基本的機能である。第2図は、各市区町村における人口の閾値を20,000として条件検索を行った結果である。データからだけでは、条件を満たす地域の空間的特徴を判断できないが、属性検索機能を用いれば容易に理解できる。

3) 探索的空間データ分析 (Exploratory Spatial Data Analysis; ESDA)

個々の空間的事象は、その空間座標と属性によって把握される。しかし、これらの空間的従属性および空間的異質性が生じたプロセスやその形態を事前に特定できるとは限らない。すなわち、空間データから、これらの性質を発見的に確認する必要がある。このような課題に対しては、視覚化を通じて地理情報の特性を調べつつ適切な分析主題を通じていく、探索的空間データ分析（以降、ESDAと記述）が有効な手段の一つである（杉浦編，2003）。この方法により、地理学における基本である機能的なデータ分析思考を養なえる。第3図は、人口と事故発生件数の2軸プロットを示したものである。図に示すような線形回帰直線が予想されるが、一部でその回帰直線から大きくはずれる市区町村が存在する。統計学では、このようなデータは「誤差」として扱われるが、地理学では「残差」として重要視される。SDAMではグラフ上のポイントにカーソルを重ねると、地図上に赤く表示されるため、残差の大きな地域を瞬時に把握できる。また逆に、地図上の市区町村を選択すると、グラフ上のどの点に相当するかが表示される。

4) コロプレスマップ

コロプレスマップとは、都道府県や市区町村といった一定の区画内にて集計された数値を階級区分し、色やハッチなどによって表す主題図のことを指す。地理学において用いられる最も基本的な地図表現方法の一つである。この際、用いる値は割合などの相対値としなければならない。第4図は65



第1図 空間検索機能の利用例



第2図 属性検索機能の利用例

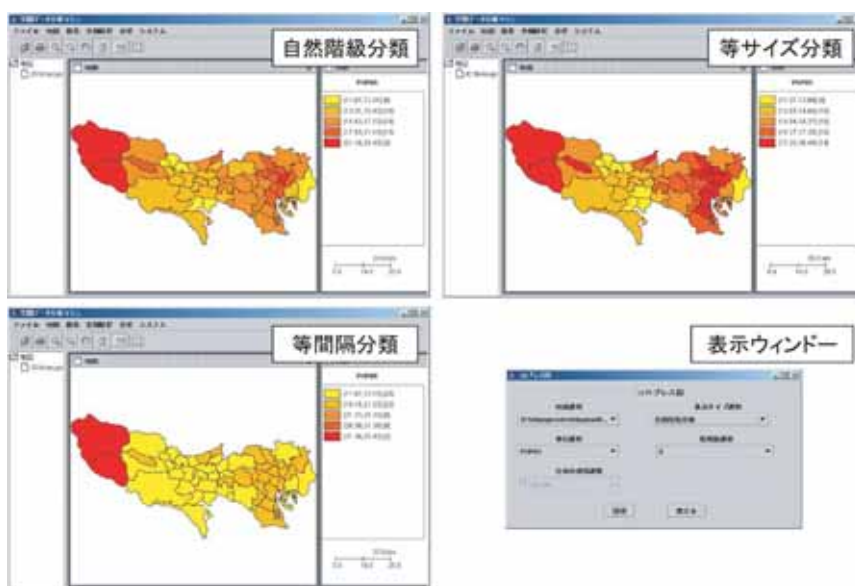


第3図 探索的空間データ分析 (ESDA) の利用例

歳以上人口割合を等間隔、等サイズ、自然階級分類にてそれぞれ示したものである。なお、階級数は可变的に設定できる。同じデータを用いても、表示方法を変えることで地図から受ける印象が変わることを理解するとともに、どの表現方法が適切かを学べる。

5) カルトグラム

カルトグラムは前述のコロプレスマップとは異なり、数値を円や図形の大きさなどを変化させて絶対的な値として統計データを示す手法である。第5図は市区町村別人口を円ドット(円カルトグラ



第4図 コロプレスマップの表示



第5図 カルトグラムの表示

左：円カルトグラム，中：非連続カルトグラム，右：連続カルトグラム

ム)、非連続カルトグラム、連続カルトグラムによりそれぞれ地図化したものである。いずれも面積による表現方法であるが、それぞれ受ける印象が大きく異なる。

6) ポイント・パターン分析

ポイントパターン分析は点事象に関する分布傾向を定量的に示す手法であり、SDAMでは方格法、最近隣法、K関数法の3種類をサポートする。第6図は、東京区部に立地する大学の立地を最近隣法を用いて示したものである。最も近いポイント同士を結んだ結果が表示され、数値からだけでなく視覚的に分布傾向を把握できる。

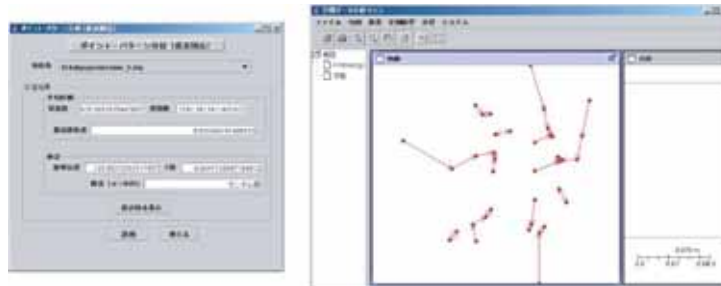
7) カーネル密度推定法

カーネル密度推定はノンパラメトリックな推定の一つであり、点パターンに一定幅のグリッドをかけ、ある一定のバンド幅内の点を検索し、カーネル密度関数により重み付けして各グリッドにおける点密度を計算する手法である。第7図はバンド幅を1 km、3 km、5 kmと変化させ、東京都区部に立地する大学分布のカーネル密度を表示したものである(グリッド幅は100m)。バンド幅が大きい

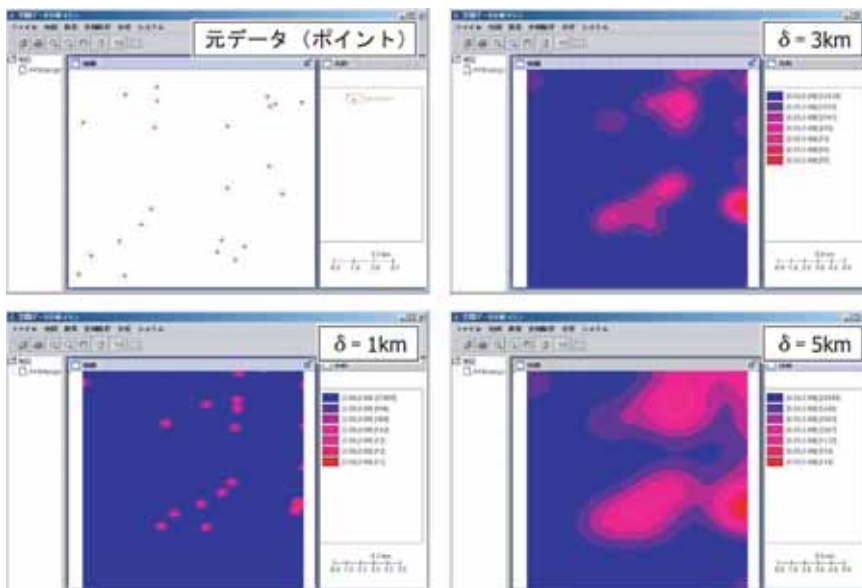
ほど地域全体のマクロな密度傾向を、そしてバンド幅が小さいほどミクロな立地傾向を導出する。この作業を通じて、カーネル密度推定におけるバンド幅の設定について、視覚的に学習することが可能となろう。

8) 空間的相互作用モデル

空間的相互作用モデルは、地区間の流動を機能的な結びつきととらえ、発地、着地、地区間の距離の3つの変数により示すモデルである。重力モデルやエントロピー最大化モデル、着地競争モデルなど、様々なモデルが展開されている。SDAMでは、古典的重力モデル、ポアソン重力モデルおよびエントロピー最大化モデルの計算が可能である。第8図は、張(1992)の分析方法にならい、店舗売場面積をパラメータとした発生制約モデルにより計算させた結果である。これらの結果はMicrosoft Excelファイル形式にエクスポート可能であり、実際の流入量とモデルによる予測流入量を比較することで、地域の特徴などを考察できる。



第6図 ポイントパターン分析（最近隣法）の一例
左：計算結果，右：最近隣点表示



第7図 点分布のカーネル密度推定

9) 空間的自己相関

空間的自己相関とは、ある一つの地域属性に着目した近隣地域間での属性の共変動関係を示すものであり、計量的に属性データの地域の特徴を読み取ることができる。第9図は、市区町村ごとの人口データを用いてモランプロットを描き、第1象限にプロットされた市区町村を選択した結果である。東京都区部における外縁部に位置する市町村が、ほぼドーナツ状に選択された。このことから、人口分布は都心から同心円状に広がり、特に区部縁辺では隣接する市区と相関が高いことが視覚的にわかる。

10) ボロノイ

ボロノイ図とは、平面に点事象が分布している時に、各点（母点）から最も近い領域により平面が分割される図のことであり、地域内の理論的サービス圏などの策定に用いられる。第10図は、東京都区部それぞれの重心を母点としてボロノイ分割を行ったものである。実際の行政区分と理論的な行政区分を形状を比較すると、中央区や台東区のようにほとんど変わらない区と、杉並区や目黒区によ



第8図 空間的相互作用モデルの計算結果

左：入力ウィンドウ，右上：パラメータの表示，右下：実測値と予測値の表示



第9図 モランプロットと地図表示

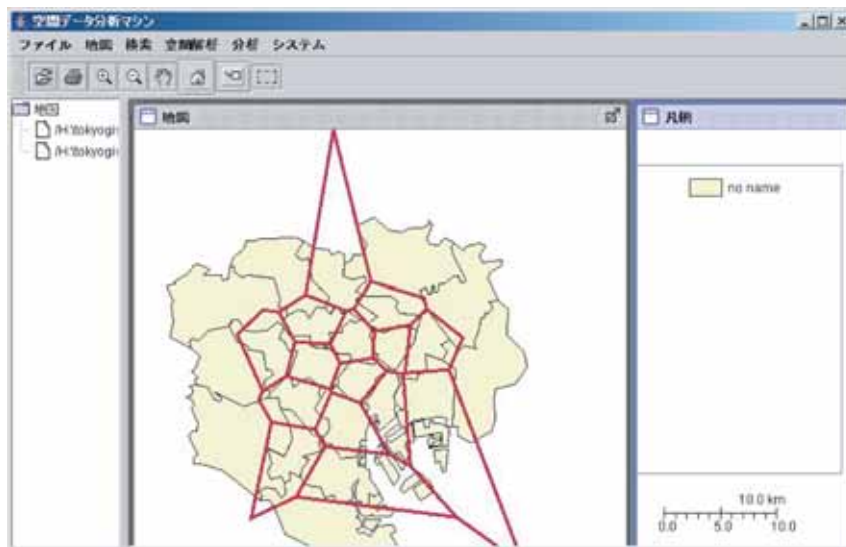
うに大きく異なる区がある。こうした違いがなぜ現れるかについて、歴史的、地形的背景を考察することも重要であろう。

- 2 複数の機能を組み合わせた実習利用例

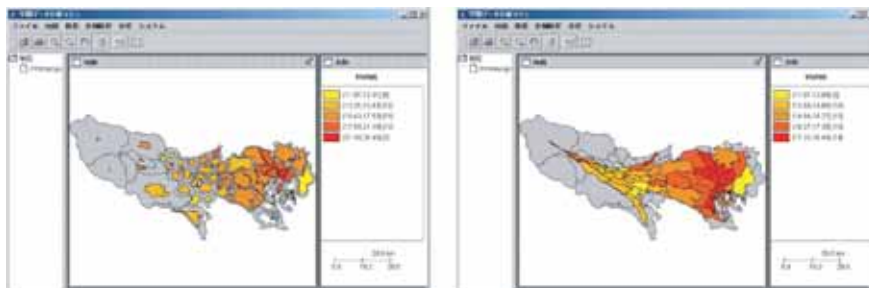
- 1では、SDAMの単独機能による実習例を紹介した。SDAMでは複数の機能を同時に作動させることにより、分析の幅を格段に広げることができる。

1) カルトグラムとコロプレスマップ

前述のように、コロプレスマップは相対量を、カルトグラムは絶対量を示すことができるが、時にはこれらを同時に表記したい場合もあるだろう。SDAMでは、連続・非連続カルトグラムに関してコロプレスマップとの同時表示が可能である。第11図は、東京都における人口をカルトグラムで、65歳以上人口率をコロプレスマップで示したものである。相対量と絶対量を表示することで、一枚の地図により多くの情報を盛り込める。



第10図 ポロノイ図の描画例



第11図 コロプレスマップとカルトグラムの同時表示
左：非連続カルトグラム，右：連続カルトグラム

2) バッファーとオーバーレイ

バッファーとは、ポイントやライン、ポリゴンといったフィーチャーから一定距離内の範囲を指し、理論的な商圈や駅勢圏などの策定に用いられる。バッファーと他のフィーチャーをオーバーレイさせることにより、距離に関する空間的關係を把握できる。第12図は、東京都区部に立地する大学から1 kmのバッファーを発生させ、国道および区境とオーバーレイさせた結果である。世田谷区や新宿区のように大学が国道に沿って分布する傾向にある区と、中野区や練馬区のようにそうでない区があることが一目瞭然である。

3) ポイントパターン分析とオーバーレイ

- 1の6)では、各ポイントの最近隣点を矢印にて結んだが、この線は他の地理的事象を反映してはいないだろうか。そこで、この矢印を国道のラインデータとオーバーレイさせてみた(第13図)。すると、矢印が放射環状型の道路網と重なった。このように、ポイント(点事象)の分布パターンは他の地理的事象を反映していることが多く、様々な種類のデータとオーバーレイさせることにより、分布パターンを規定する条件を考察することができよう。

4) TINとボロノイ

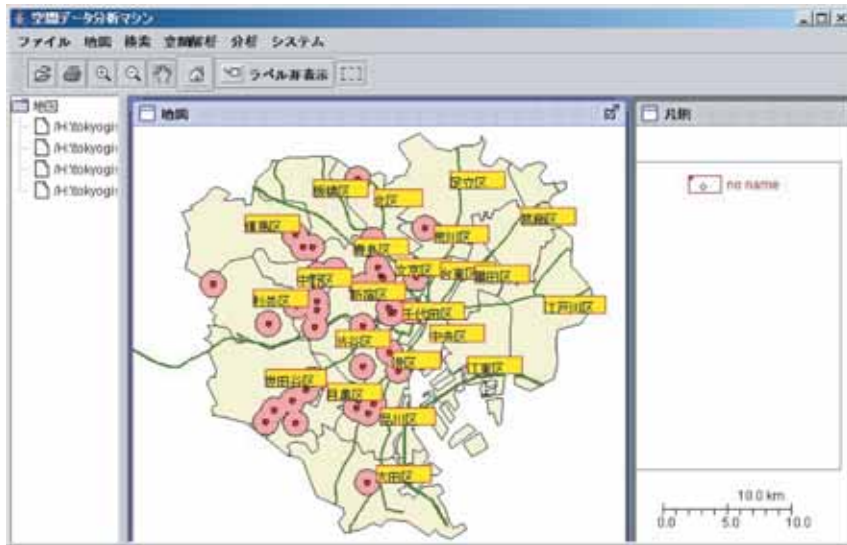
TIN (Triangulated Irregular Network; 不規則三角形網) は地形などの三次元モデルを表現するとき用いられ、点事象をある一定の基準により結んで描かれる三角網である。また、- 1の10)で紹介したボロノイは、TINの一種であるドロネ三角網の相対グラフとして知られている。そこで、TINとボロノイ図をオーバーレイさせてみた(第14図)。これらが双対グラフであることが明瞭であり、これらがどのような規則に基づき描画されるかが理解できる。

5) 因子分析とクラスター分析を用いた地域類型

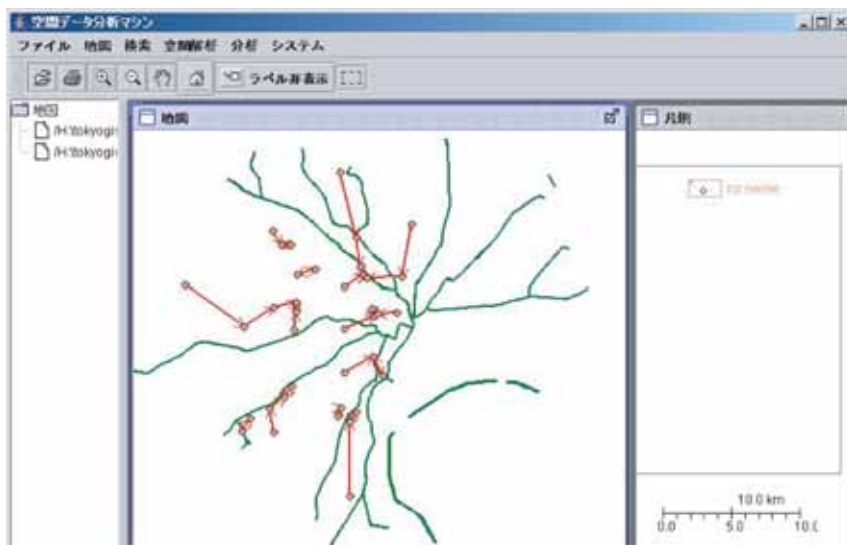
計量地理学の分野では、地区ごとの社会・経済に関する様々な変数を用いて地域類型が行われてきた。この際、単に変数をそのまま用いるのではなく、因子分析を用いて変数をグループ化し、各地区における因子得点を用いたクラスター分析により地域の類型化が行われる。第15図にこれらの分析手順をSDAMの画面を用いて示した。従来では、因子分析およびクラスター分析を統計ソフトウェアにより行い、その後に別のソフトウェア(もしくは手書き)にて地図化してきた。しかし、SDAMでは一連の作業を一括して行なえるため、学生にとって分析手順を把握しやすい。また、デンドログラムと地図がリンクしているため、クラスター分析を行う際に問題となる切断箇所について、インタラクティブに判断することが可能である。

6) 方格法とコロプレスマップ

ポイントパターン分析の方格法では、任意のメッシュを作成して計算を行う。なお、メッシュは地域を一定の法則に基づき等しく分割するため、点事象の分布を把握する際の基準として有効とされる。そこで、都区部に立地する大学のポイントデータに1 kmメッシュをかけ、さらに1世帯あたりの人員を示すコロプレスマップとオーバーレイさせた(第16図)。単にポイントデータとコロプレスマップをオーバーレイさせるだけでも大学が1世帯あたり人数の少ない地区を指向する傾向は読み取れるが、メッシュをかけることで、より大学の分布傾向が明瞭となる。



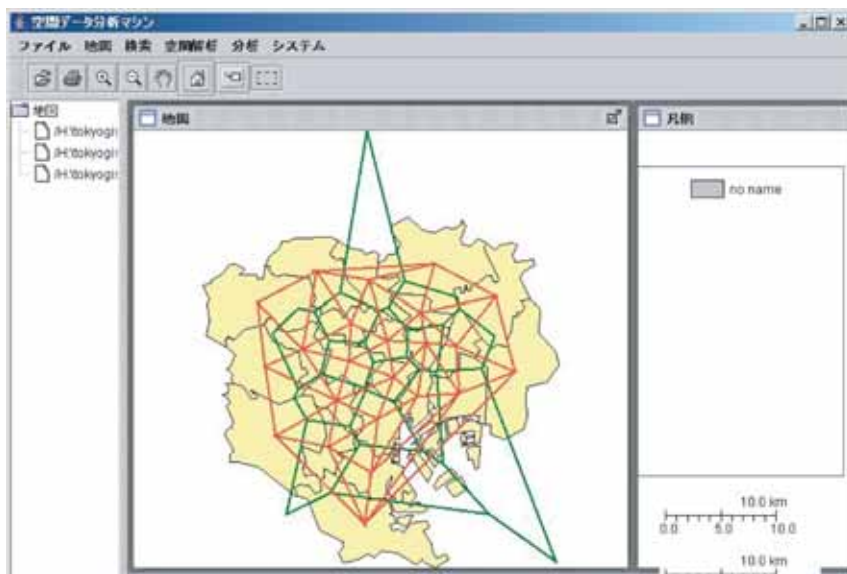
第12図 バッファとオーバーレイによる組み合わせ解析の例



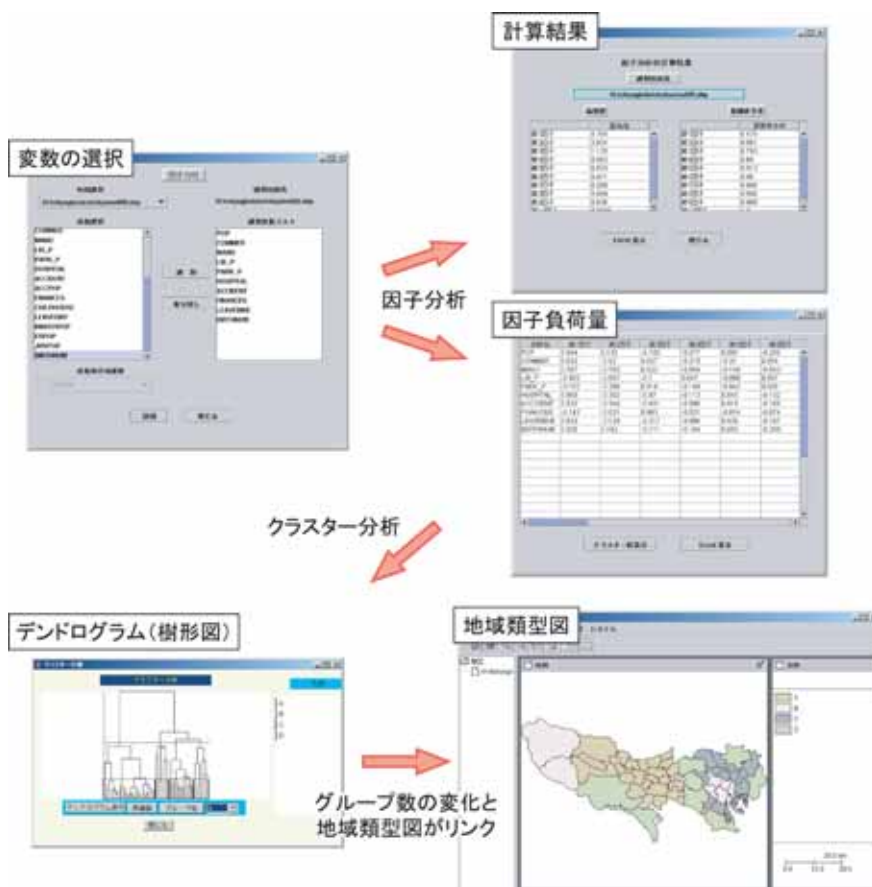
第13図 ポイントパターン分析とオーバーレイ

7) 重回帰分析と地理的加重回帰法 (Geographically Weighted Regression; GWR)

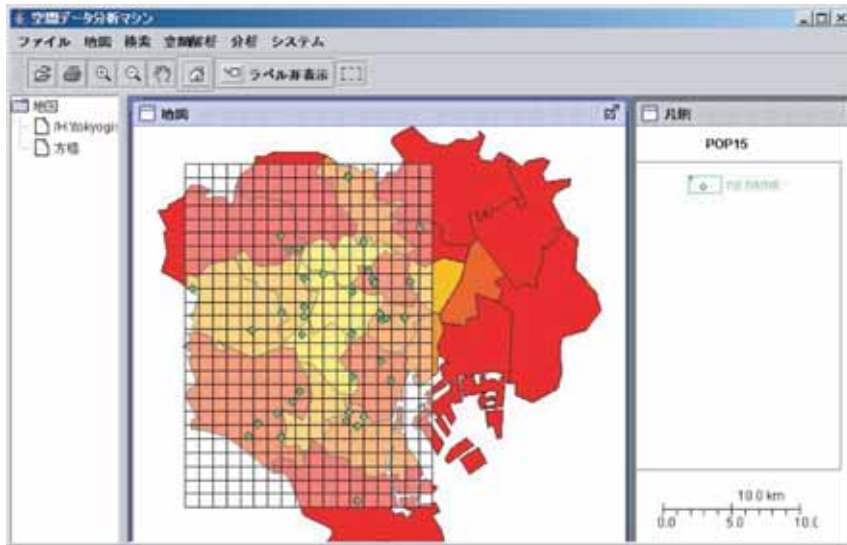
地理的加重回帰法 (以降GWRとする) は、通常の回帰分析では空間データに内在する重要な空間的差異を無視してしまう可能性を解決すべく発案された分析方法である。SDAMでは、通常の回帰分析とGWRの両者が可能である。そこで同じデータを用いて比較することで、GWRの意義について学習できよう。第17図は、病院数を被説明変数に、人口および発生事件数を説明変数として通常の重回帰分析およびGWRを行い、その残差をそれぞれ地図化したものである。両者を比較すると、決定係数はGWRの方が大きく、残差値のレンジはGWRの方が小さい。したがって、GWRは通常の回



第14図 TINとボロノイ図

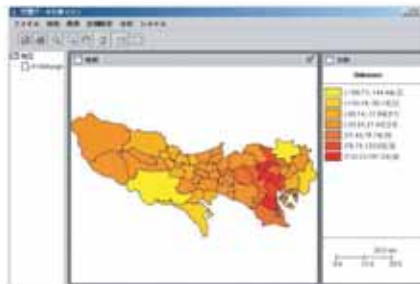


第15図 地域類型化の手順と可視化

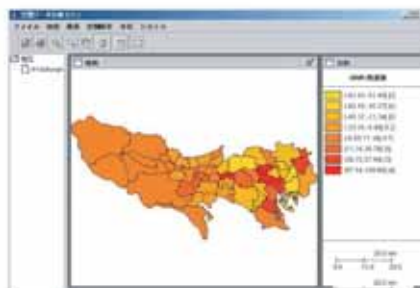


第16図 方格法とコロプレスマップ

【通常の回帰分析】



【地理的加重回帰分析(GWR)】



第17図 重回帰分析とGWRの比較

帰分析よりも事象を良く説明しているといえ、そこから病院数と発生事件数との関係の背景には地理的条件が存在することがわかる。

おわりに

本稿では大学の計量地理学の講義におけるSDAMの意義を述べ、実習利用例を紹介した。いずれにおいても、操作には高度な知識は必要ない。また、SDAMは基本的な地図描画機能も備えているため、計量地理学の講義のみならず、地理学の実習において広く活用できよう。

最後に、SDAMを講義および実習に利用する注意点について述べたい。まず、SDAMではシェープファイルは作成できない。事例地域や属性データを自由に選択し、オリジナルなGISデータを分析することは困難である。したがって、実習の際には教員があらかじめ他のGISソフトウェアを用いてGISデータ(シェープファイル形式)を作成しなければならない。また、高度な知識を必要とせず分析ができることはSDAMの長所であるが、逆に言えば、知識はなくともボタン操作で結果を出力できてしまう。分析手法の選択ミスや、分析結果の解釈ミスなどといったものが発生する可能性がある。このような事態を妨げるためにも、実習と密接に連携した講義が求められる。

本研究を遂行するにあたって、日本学術振興会科学研究費基盤研究A「地理情報科学の教授法の確立 - 大学でいかに効果的にGISを教えるか」(代表者:村山祐司,平成17年度)および日本学術振興会科学研究費基盤研究B「学校教育・社会教育における地理情報システムの利用に関する研究」(代表者:伊藤 悟,金沢大学教授,平成16・17年度)を使用しました。SDAMのプログラム代成にあたっては、尾野久二氏にご協力いただきました。

注

- 1) ESRI社 (<http://www.esri.com>) から無償提供されているGISデータ閲覧ソフトウェアであり、<http://www.esri.com/products/arcexplorer/index.shtml> からダウンロード可能である。
- 2) 埼玉大学教育学部の谷 謙二研究室 (<http://www5f.biglobe.ne.jp/~ktani/>) にて開発されたGISソフトウェアである。シェアウェア版と無料版の2種類があり、無料版には一部機能の制限などがある。<http://www5c.biglobe.ne.jp/~mandara/> にて公開されている。
- 3) MicroImage社 (<http://www.microimages.com/>) から無償で提供されているGISソフトウェアであり、株式会社オープンGIS (<http://www.opengis.co.jp/>) が日本での代理店となっている。データのエキスポートおよびデータサイズの制限を除けば、シェアウェアであるTNTMipsと機能に違いはない。<http://www.microimages.com/tntlite/> からダウンロード可能である。
- 4) <http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/teacher/murayama/sdam/>
- 5) <http://www.esri.com/>
- 6) http://www.esri.com/gis_data/japanshp/japanshp.html
- 7) <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/ssihyou/ss-index.htm>
- 8) contains (ターゲット・レイヤーのフィーチャーをサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが含む場合、該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), contained (ターゲット・レイヤーのフィーチャーをサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが含む場合、該当のサブジェクト・レイヤーのフィーチャーを選択する), cross (異なる図形タイプのターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが交差して共通部分を持つ場合に、該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), disjoint (ターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが交差も接触もせず、かつ共通部分も持たない場合に、該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), equals (ターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが等しい場合に、該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), intersects (ターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが交差して共通部分を持つ場合に、該当のターゲット・レイ

ヤーのフィーチャーを選択する), overlaps (同じ図形タイプのターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・レイヤーのフィーチャーの境界が接し,かつ重なり合う場合に,該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), touches (ターゲット・レイヤーのフィーチャーとサブジェクト・

レイヤーのフィーチャーの境界が接する場合に,該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する), within (ターゲット・レイヤーのフィーチャーをサブジェクト・レイヤーのフィーチャーが含む場合に,該当のターゲット・レイヤーのフィーチャーを選択する)

参考文献

川瀬正樹 (2002): 大学教育におけるGIS環境の構築
低予算で実現するGIS教育 . 人文地理学研究,
26, 125-149 .
杉浦芳夫編 (2003): 『地理空間分析』朝倉書店 . 202p .
張 長平 (1992): 買物行動モデルによる東京都区部

における小売業の均衡的立地パターンとその動態分
析 . 地理学評論, 65A, 395-418 .
村山祐司・横山 智 (2000): 大学におけるGIS教育
地理学専攻学生を対象とする実習 . 人文地理学
研究, 24, 77-97 .

Availability of SDAM in Quantitative Geography

MURAYAMA Yuji and KOMAKI Nobuhiko *

Beginning in the 1960s, we saw the development of quantitative and theoretical geography and a research shift away from “spatial structure” toward “spatial processes.” Today, we are reaching the point where we will move away from “spatial processes” toward research that emphasizes “spatial forecast, control, and management.” Sophisticated methods to support spatial decision-making, for example, genetic algorithms, hedonic approaches, hierarchical analysis (AHP), multi-standard evaluation methods, etc., are being developed in rapid succession and are being incorporated into GIS. An intensive effort must be made to using the techniques to make this a powerful tool and to become intricately involved in quantitative and theoretical geography.

Given this background, this paper discusses the availability of the *Spatial Data Analysis Machine* (SDAM) in the course of quantitative geography at the undergraduate level. SDAM was developed in the Division of Spatial Information Science, University of Tsukuba. The functions of this system built by only open sources, include the mapping, spatial search, TIN, overlay, point pattern analysis, spatial autocorrelation, multivariate analysis such as regression analysis, factor analysis and cluster analysis, neural network, tessellation, and so on. Especially spatial interaction model and geographical weighted regression analysis are useful for analytical human geography.

Key words: Quantitative Geography, Spatial Data Analysis Machine, SDAM, Education, Teaching Method, Software

* Graduate student, doctoral program in life and environmental sciences