

人口分析における GIS の可能性

武者忠彦¹・江崎雄治²・西岡八郎³・青木賢人⁴・小口 高⁵

I はじめに

わが国では、近年における情報技術の急速な進歩に歩調を合わせるように GIS (地理情報システム) の重要性が高まっており、とくに行政、ビジネス、環境保護などの分野で顕著である。学術分野においても、自然科学を中心に GIS の応用領域が広がりつつあり、人口研究も例外ではない。

GIS は、空間的に広がりをもつデータを扱う。このうち、建築物、道路、地形といった物体に関する空間データは、リモートセンシング技術の進展などによって比較的容易に入手可能になった。このため、GIS を援用した空間分析では、この種のデータを対象とするものが先行した。一方で、社会経済的データは一般に地域全体の集計値として与えられているものが多く GIS での利用が難しいが、人口データは利用可能性が比較的高い。

人口を扱う研究分野の主たる課題は、地域的・時系列的に人口分布が形成される過程の分析と、分布の地域的・時系列的パターンの変化をもたらす諸要素の解明である (ウーズ, 1983)。人口分布パターンの直接的な形成要因となる出生・死亡・移動の実態や、その規定要因を解明するためには、まず人口の空間分布やその変化の把握が重要となり、ここに GIS が援用される第一義的な理由がある。

GIS が普及する以前においても、地域メッシュ統計や細密数値情報などを用いて人口分布を空間的かつ定量的に分析する試みがおこなわれていた (大友, 1978; 浅見, 1982; 川上, 1988)。最近においても谷内 (1992, 1995) が、東京と京阪神の大都市圏における基準地域メッシュ別の都市人口分布を 1880 年代まで溯って推計し、その地図化を通じて都市の空間的拡大過程を明らかにした。また、デジタル・マッピングによって不定形な図形に基づく人口地図を作成した笹山 (1983) は、アナログ地図から GIS への過渡期における研究として注目される。

久保 (1990) は、メッシュデータの利用から今日的な GIS による解析への転換期における諸問題を、海外の動向と比較しながら整理している。そのなかで、日本ではメッシュ型の空間データの整

1 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程

2 専修大学文学部

3 国立社会保障・人口問題研究所

4 金沢大学文学部

5 東京大学空間情報科学研究センター

備が先行し、ベクター型データの整備が遅れたことを指摘している。またメッシュデータの特質として、図形情報量が少ないために地図化が容易であるが、情報の精度が低く、その克服に要する作業量が多いことをあげている。このような制約により、上述した既往研究においても、対象地域を狭めたり、分析手法を簡便なものにする必要があった。しかし、今日の GIS が持つ空間データの効率的な入力・蓄積・検索・分析機能は、多量のデータ処理と分析結果の地図化を容易にしたため、人口の空間分析に大きな可能性を与えた。その結果、GIS を援用した人口研究が、様々な分野で試みられるようになった。

以下、本稿では GIS を援用した人口分析の動向を、その応用的研究領域まで視野に入れて整理する。その主たる目的は、研究動向の概括的な整理をおこなうとともに、GIS の導入によって何が進歩したのかを示し、さらに GIS を援用した人口分析に関する今後の課題を提示することである。第 1 章では、空間データ・空間単位と人口分析との関係を扱う。その理由は、空間データの出所や質、有効性が GIS を用いた人口分析の方法論と直接的に関係するからである。続く第 2 章と第 3 章では、実際に GIS を援用した人口分析の事例をまとめる。このうち第 2 章では、人口推計など人口そのものを対象とする研究を整理し、第 3 章では、都市計画とマーケティングという 2 つの分野を例に、人口データを用いて新たな情報を抽出する応用的な研究をまとめる。最後の第 4 章では、人口分析における GIS 導入の意義と今後の課題を議論する。

II 空間データ・空間単位と人口分析

人口分析に限らず、GIS を用いて空間分析をおこなう際には、空間データ整備の問題が重要である。近年、統計データや地図のデジタル化が急速に進んできたとはいえ、一般に GIS プロジェクトの総費用の 7～8 割が初期のデータ入力に投入されるという現状(柴崎・巖, 1997)では、データの入手が依然として大きな問題になる。この状況を打開するために、現在では官学の各方面で、空間データの共用による利用の効率化が進められている¹⁾。一方、小地域統計など様々なスケールでの空間データ整備が急速に進み、GIS によりデータ集計の自由度が飛躍的に高まったため、研究目的に対するデータの有効性を議論する試みも行われるようになった。ウーズ(1993)によれば、人口研究は本質的に経験的もしくは帰納的であるから、データの出所、質、および有効性が、分析のメカニズムと同程度に重要である。したがって、人口分析ではデータの有効性を左右する空間単位(データ集計単位)の問題を無視できない。そこで本章では、GIS による人口分析のための効率的なデータ利用に関する研究と、空間単位問題を中心とするデータの有効性に関する研究を概観する。

1. 空間データの効率的利用

空間データの利用を効率化する方法には、データの標準化、共用、統合などがあるが、それらを制度化した例が、わが国の「センサス・マッピング・システム(CMS)」である。CMS は、1990 年の

国勢調査における基本単位区の導入に合わせて開発された地理情報システムである。CMS の 1990 年のデータは、基本単位区別の男女・年齢別人口を、町丁・字等に足し上げた形式で提供されており(大林, 1996), 小地域統計の高度な分析に利用できる。さらに 2000 年のデータは、ArcView をはじめとした一般ユーザ向け GIS ソフトでもすぐに利用可能な形式となっている。

CMS では分析の背景となる電子地図をユーザ側が準備することに特徴がある。合衆国の人口センサスに基づく GIS である TIGER(タイガー)システム²⁾では、統計部局が道路、河川などの主要な背景地図情報を統計情報とセットで提供しているが、わが国の統計局は、基本単位区別の統計データと境域の座標データのみを提供している。わが国では民間企業が電子地図を整備しているため、地図情報の欠如が一概に問題とはいえないが、インターネットによって電子地図やセンサス・データが広く提供されることが望ましい(楊井, 1999)。大友(2000)は、CMS のデータに人口データだけでなく事業所・企業統計調査などの結果が付加されれば、様々なシミュレーションに柔軟に対応できると指摘している。

一方、データの共用化による効率的利用の例として、「インターネット GIS」(小口, 2000; プリュール, 2001)があげられる。今日多くの人々に利用されているインターネットを介した空間データの提供は、データの効率的な利用に大きな可能性を与える。高阪(1999)によれば、情報ネットワークによる空間データの提供は、空間データ・サーバによる提供、メタデータ・サーバによる検索、

Web 地図作成ソフトウェアによる対話的地図作成の 3 つに分類される。ここではその詳細には触れないが、人口分析において特に注目されるのは、に分類されるオンデマンド型の GIS である。例えば、希少な地域統計である明治～昭和初期にかけての空間データと属性データをインターネット上で共用化し、ユーザが自由に空間分析できるようにしたシステム³⁾(村山・尾野, 1998; 村山, 1999)や、社会地区分析における一手法である社会地図作成を、インターネットを通じて全国の主要都市について実行できるシステム⁴⁾(矢野, 1999)がすでに構築されている。また Murayama(2000)は、マレーシアにおける様々な人口属性データを用いて、インターネット上でユーザが任意にコロプレス図を作成できるシステム⁵⁾を紹介している。このシステムを利用すると、マレー人の比率がマレー半島北西部で高くなっていることなどが、ユーザのリクエストに従って瞬時にコロプレス図として表示される。

一方、GIS によって空間データを利用する際に、対象地域が広範囲であるために扱う国や地域が様々である場合には、異なる空間データの仕様を統一する必要がある。Sweitzer et al.(1996)はバルト海沿岸地域において、各国で仕様の異なる土地利用や人口分布のデータを空中写真などをもとに GIS 上で統合した。このシステム上で海岸線からのバッファリングをおこなうと、バルト海沿岸地域では海岸から 10 km 以内の地域に 1 億 5 千万人が居住していることなどが明らかになる。この種のデータベースは、国境を越えた環境問題の解決などにも有効な情報を提供できるだろう。わが国においては、標準地域メッシュなどに使われている地理座標系のデータと、細密数値情報などに使われている平面直角座標系のデータの統合が課題のひとつであった。吉川・島田(1993)では、ガウス・クリューガー変換によってこれらのデータを統合し、地域メッシュ統計を詳細に分析しているが、現在では GIS の座標変換の機能を用いることにより、平面直角座標

系や UTM 座標系などの間のデータ変換が容易になった。

2. 空間データの有効性

実際に空間データを用いて分析を進める際には、空間単位の問題と地理的位置の問題⁶⁾を考慮する必要がある。そのなかでも、人口分析においては空間集計問題(田頭・岡部, 2000)が重要と考えられる。人口は通常、ある一定の単位地域ごとに集計されたものが表章される。これまでは都道府県、市町村が単位地域として、その合理性に関わらず広く使用されてきた。しかし、GIS の発達によって、多量のデータを比較的容易に処理することが可能になったために、基本単位区や町丁目といった小地域単位のデータを用いた人口分析もなされるようになった(村山, 2000; 佐藤, 2000)。これらに関連して、どの程度の大きさが空間データの単位として適切なのかという「可変面積単位問題(modifiable areal unit problem)」も議論されている。利用する空間単位の大きさと結果の安定性はトレードオフの関係にあることから、どの空間単位で人口に関する地図を描けば最も合理的かは判断が難しい(石川, 2001)。この問題に関連して、ある一定の人口密度以上の地区を抽出する際に生じる単位統計地区の面積の影響を緩和する技術を提示した研究(田頭・岡部, 1997)や、赤池情報量規準(Akaike's Information Criterion, AIC)をもとに、首都圏の乳児死亡率と男子高齢者死亡率の最適な空間単位が、二次医療圏よりもやや広い市町村群であることを明らかにした研究(中谷, 1996)が行われている。

また空間単位の問題に関連して、その単位地域が極めて小さい場合には、プライバシー保護の観点から部分的にデータが秘匿されるという問題がある。CMS の場合、集計対象が少ない基本単位区については、男女別人口、一般世帯数及び施設等の世帯数のみを表章し、その他の集計項目については、隣接する基本単位区の結果に合算して表章する方法がとられている(大林, 1996)。

III GIS を援用した人口分析

これまでみてきたように、GIS が提供する空間データの効率的な入力・蓄積・検索・分析機能は、人口に関する新たな情報を抽出することを可能にした。その結果、人口に関する研究は、概念的に 4 つの方向に領域が拡大したように見える。

第 1 は、研究対象地域の外側への拡大である。リモートセンシングデータ、特に最近では IKONOS(イコノス)などの高解像度の衛星画像データを GIS によって処理することにより、広範囲について一定の精度を保った分析が可能になった。また、これまでは統計データが未整備であった地域でも、リモートセンシングデータを使って人口分析が可能になっている。第 2 は、研究対象地域の内側への拡大であり、基本単位区別の人口データ、あるいは小売店の POS データなどの非集計データを処理することにより、ミクروسケールでの詳細な人口分析が可能となった。第 3 は、時系列方向への拡大である。具体的には、GIS により過去の統計データの空間的把握が可能に

なったことを意味する。過去の統計データはメッシュ単位などで標準化されていないために、以前は作業を何らかの方法で簡略化せざるを得なかった。しかし、GIS によってデータを非集計のままに扱ったり、効率的に集計できるようになった。第 4 は、関連分野の情報を取り込んだ分析への拡大である。GIS により、自然・社会経済条件の分布と人口分布とを重ね合わせ、両者の関係を分析することが容易になった。以下では、これらの 4 点に関する具体的な研究の動向を整理する。

1. リモートセンシングデータによる人口分析

空中写真や衛星画像などのリモートセンシングデータを GIS に取り込むと、人口分析に活用できる。特に、IRS (解像度 5 m) や IKONOS (解像度 1 m) といった高解像度衛星の画像データを利用すると、建築物や土地利用を詳しく識別できるため、センサスが整備されていない地域での人口分析に有用である。

スービットほか(1994)は、これまで正確な実態把握ができなかったタイの山岳民族の移動耕作地域を、現地調査とランドサットの衛星画像データを用いてモニタリングし、村落の分布図と人口センサスを作成した。さらに、山岳民族の麻薬剤植物プランテーションを制限するために、GIS を用いてアヘン生産地域の土地分級をおこない、山岳民族のための村落開発計画に利用した。同様に、McCracken et al.(1999)は、人口分布が把握されていないブラジル・アマゾン地域において、空中写真とランドサット TM データを用いて個別農用地レベルの人口分析を行った。また、個別農家の生計戦略と土地利用との関係を分析し、人口変化と森林減少との因果関係を明らかにしている。

さらに最近では、衛星画像の夜間地上光の分布を手がかりとして、詳細な人口分布を推定する試みがなされている。例えば Sutton (1997) は、DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System) の夜間画像をもとに、アメリカ大陸における人口分布を推計し、それを小地域人口統計と比較して都市の人口密度の減少関数を導いた。同様に、Nakayama (1997) は、DMSP 画像を用いて北海道の小地域における詳細な人口分布を推計した。ただしこの種の研究の本質的な意義は、すでに詳細な人口分布が把握されている先進国への適用ではなく、小スケールのデータを得ることが難しい地域における人口分布の推計にあるだろう。これに関連して中谷(1999)は、中国の夜間地上光分布と 1990 年国勢調査によるカウンティ単位の人口統計に面補間(Areal Interpolation)を適用し、人口分布を推定した。今後、同様な手法を用いて統計が未整備の地域の人口分布を把握すれば、環境への負荷をグローバル・スケールで考察することも可能となるだろう。

2. ミクロスケールにおける人口分析

従来、都道府県よりも下位の市町村、町丁目、字、基本単位区といった空間単位のデータや、個別の非集計データを用いて人口分析を行う際には、入力作業量の膨大さと分析作業の煩雑さが制約となっていた。しかし、GIS によりこれらの問題点が解消されたため、人口移動パターンや人口の地域的分布をミクロスケールで論じた研究が行われるようになった。例えば Yano et al.

(2000)は、これまでデータ量が膨大で処理できなかった市町村単位での人口移動データを GIS を用いて分析し、主要なフローを地図化した。その結果、1980年代後半の日本の人口移動には、非大都市圏から東京大都市圏への移動および県内各地域から県庁所在都市への移動という 2 つの主要パターンがあることを明らかにした。同様に矢野(1996)では、東京大都市圏内部での人口移動パターンが明らかにされている。山口(2000)は宇都宮市を事例に、町丁目別の人口移動データを GIS によって同心円の距離帯ごとに集計して、都市内部の人口移動分析を行っている。また、Heyers and Poulard(1993)は、カナダのケベック州サグネイ地方を対象に、特定の人口集団が空間的に拡散していくミクロスケールのプロセスを、GIS を用いて分析した。

一方、小地域の人口推計に重点を置いた研究も行われている。松橋・森口(2000)は、自動車交通に起因する沿道の騒音や大気汚染などの環境問題に関する基礎データを得るために、沿道からの距離帯別人口密度を推計した。そこでは基本単位区別の人口データを、街区や建物の形態と建物の属性にしたがって配分し、10 m刻みの距離帯別人口を求めている。また Al-Garni (1995)は、サウジアラビアの Riyadh 都市域において、空中写真から判読した学校やモスクの立地や家の大きさなどを説明変数とする人口推計をおこない、結果が現実と良く一致することを示した。さらに、ある特定の人口集団の詳細な分布パターンを明らかにする研究もおこなわれている。由井(2000)は、GIS を用いて東京都区部における母子世帯率を町丁単位で表示し、北区・足立区・葛飾区といった北東部の区の一部に分布が多いことを示した。

一方で、このような集計単位が細かい分析では、住民のプライバシー保護に関連した問題が生じるおそれがある。そのため、わが国の指定統計については、個別データの開示が基本的には行われていない。この問題の現実的な解決策として、特定の公的機関が利用者の求めに応じてオーダーメイドの作表を行う仕組みの整備が提案されている(村山, 2001)。

3. 過去のデータによる人口分析

統計が整備される以前の時代について、社会経済データの空間分析を行うことは重要であるが、現実には困難である。特にわが国では、明治以降に統計の単位地域となる市町村が頻繁に合併されたこともあり、この種の分析がほとんど行われていなかった。しかし、統計に比べて相対的に古くから整備が進んでいた地図の情報を、GIS を用いて分析すると、人口などの社会経済的状況を過去に遡って復元できる。荒井・小池(2000)は、現在の千葉県範囲について、明治期の広域測量図である迅速図に描かれている建築物シンボルの形状・大きさをもとに人口を見積もり、それを当時わずかに存在する地域統計を用いてキャリブレーションし、今日の基準地域メッシュ単位で人口を推計した。その結果、1890年当時の千葉県内の中心地体系が明らかにされた。また、千葉県北西部での人口増加に、これまで指摘されている東京方面からのスプロールだけではなく、県内からの移動の寄与も一定量あったことが示された。また、村山・尾野(1998)、村山(1999)は、明治期の徴発物件一覧表や大正・昭和初期の国勢調査を用いて、これらの時期における人口分析に利用可能なデータベースを構築した。さらにインターネットからのアクセスにより、一般ユーザーでも対話型の操作を通じて任意の条件における人口の地域的分布を把握できるシステムを提供

している。

また、直接的な人口分析ではないが、古地図や地形図をもとに東京のオープンスペースの変遷過程を分析した研究(長谷部・鈴木, 1997)や、迅速図をもとに明治初期の村落立地を分析した研究(スプレイグほか, 2000)にも GIS が活用されている。このように GIS は、過去の統計を扱う際の作業上の制約を軽減できるため、歴史的な現象の分析に今後さらに利用される可能性がある。

4. 土地利用・自然環境と人口

人口分布は、出生・死亡・移動などの直接的要因と、自然・社会経済条件などの間接的な要因に影響される。逆に、人口変動は地域の自然・社会経済状況を変化させるインパクトを持つ。このような相互作用の分析には、GIS が有効である。

土地利用と人口分布との関係については、都市計画学などの分野でいくつかの研究がなされている(浜田, 1977; 福地ほか, 1984; 尾藤, 1996 など)。既往研究の多くは、商業地や住宅地などの特定の土地利用と、人口規模や人口密度との関係を明らかにしてきたが、GIS の普及にともなって作業が効率化したため、地形や植生といった自然地理学的な要素と人口との関係も明らかにされつつある。Ryavec and Veregin(1998)は、中央チベットにおいて土地利用図の放牧地データとセンサスの人口データを GIS 上でマッチングし、耕地限界より高い地域と、それより低い人口が稠密な地域では、放牧地の種類が異なることを明らかにした。また Lin et al.(1999)は、6 つの GIS データセットを用いて東～東南アジアの 20 の地域において地形と気候が人口に与える影響を分析した。その結果、一般的には標高や傾斜の値が大きくなるほど人口密度は低下するが、地域の気候によってその関係が変化することを指摘した。McCracken et al.(1999)は、衛星画像データを用いて農家の土地利用形態を把握し、人口変化と森林減少との因果関係を明らかにした。わが国では、青柳(1996)が仙台都市圏の 3 時点の植生図を GIS を用いて解析し、市街地の拡大により丘陵地が宅地化してクリ・コナラ林が減少したこと、宅地の隣接地域でのスギの植林地化が進んだことを明らかにした。

IV GIS による人口分析研究の応用

前章では、GIS を援用すると、これまで人口に関する実態把握が困難であった地域や時代について、人口分布の詳細な地域的・時系列的パターンが抽出できることを概観した。これらの研究は、第一義的には GIS による人口現象そのものの解明が目的である。しかしながら人口現象は、都市計画学、交通工学、経済学、社会学などの研究分野だけではなく、マーケティングなどの実務分野においても最も基礎的な要素である。したがって、GIS を用いた人口に関する空間分析の方法論や成果は、実務分野にも応用されうるものである。どこに出店すれば利潤が最大になるだろうか？ 保育所やごみステーションの数や立地は適切だろうか？ どこに道路を建設すれば交通渋

滞を解消できるだろうか？ このような問いに答えるためには、対象地域の人口分布や商圈人口の大きさ、および通勤のネットワーク構造などに関する分析が必要不可欠である。この章では、GIS を援用した人口分析の応用事例のうち、現在のところ最も GIS の導入が進んでいる都市計画とマーケティングに関する事例を取り上げて検討する。

1. 都市計画

都市計画の分野では、都市計画図や土地利用現況図などの地図の整備と効率的な利用が不可欠であるため、近年多くの自治体が GIS を導入している。従来は計画の立案や意思決定のための基礎資料としてメッシュマップが利用されていたが、地方分権による自治体への計画権限の委譲にともなって、計画の合理性の科学的根拠を示すことが重要になっており、そのために GIS の利用が増加している(千歳, 1990; 2000)。同様に、Conning (1993) は、地方政府において GIS を援用したセンサス・データの空間分析が可能になると、地域開発に関する政策決定の地方分権が進むことを示唆している。

GIS が諸地域における都市計画の有効なツールになる理由は、主に 2 つあると思われる。第 1 に、人口、道路、都市施設、土地利用計画、防災計画などの情報を、空間をキーとして GIS 上で一元的に管理することにより、業務の効率性が著しく向上する。第 2 に、都市の現状把握や都市化の動向などの将来予測に対して、GIS による分析が有用な情報を提供するため、経済や社会の変化に適切に対応した都市計画の策定が可能となる。実際、政令指定都市のほとんどで、都市計画基礎調査の結果が GIS 化されており、都道府県及び市町村レベルでも、同様の作業がすでに実施されたり、実施が具体的に検討されている(大場, 1996)。

自治体レベルでの業務の効率化に関しては、横浜市の事例が先進的である(石黒, 1996)。横浜市では、国勢調査や商業統計、土地利用現況などから作成した都市計画関連の各種主題図をデータベース化し、市民への情報提供システムを構築するとともに、全庁的なシステムを整備することにより、部局間のデータの相互利用を進めている。その結果、例えば従来は都市計画担当部局と固定資産担当部局が個別に作成していた地図データの共有が可能となり、作図およびメンテナンスの作業が大幅に軽減された。

計画策定に有用な情報を提供するための人口分析にも、GIS は有用である。福井(1996)は、GIS のネットワーク分析機能を用いて、最寄り駅までの所要時間と中心都市までの鉄道所要時間を求め、これに地域メッシュ統計データをオーバーレイすることによって、首都圏における通勤時間圏ごとの人口を明らかにした。さらに、国勢調査と事業所統計を用いて昼間人口の分布や幹線道路密度などを把握することにより、都市インフラ整備のための情報も提供している。また、日野ほか(1999)は、札幌市北部地域において、利用者の移動所要時間の算定と地域人口分布の把握を行い、新しい公共交通路線の評価をおこなっている。さらに玉川(2000)は計画論的な視点から、ミクروسケールにおける土地利用と建物現況を分析し、東京都内における「人口安定地区」の特性を分析した。そこでは、地区内における独立住宅の延べ床面積の多様性が経年的に維持されていることが、人口安定地区の共通項であることを明らかにしている。Rosero-Bixby(1993)は、コスタ

リカにおける保健施設への物理的アクセシビリティを GIS 上で推定し、人口ポテンシャルを勘案した保健施設立地のための意思決定モデルを構築した。また、Gobalet and Thomas (1996) は、医療的介護から保健的介護へのパラダイム・シフトのなかで、疾病の空間的把握や保健施設の立地最適化が重要となっており、これを行うための基礎データを整備するために、住民の社会経済的属性を GIS を援用して把握する必要があると述べている。例えば患者数の分布をシミュレーションする場合には、年齢構造や人種などの人口学的な説明変数が必要となる。

また人口分析と直接的には関係しないが、大場(1996)は市川市において、都市計画の妥当性の評価や問題地区の抽出、および交通量の将来予測などに利用可能な基礎データとして、GIS を用いて算出した建築物の密集度を町丁別に示した。宮澤(1998)は、時間地理学の概念を公共施設の立地評価や配置計画に適用し、保育所へのアクセスが可能な地域を条件別に明らかにしている。これらの情報を人口データと重ね合わせれば、都市計画に有用な新しい情報を提供できるだろう。

2. マーケティング

マーケティングにおいては、個々の店舗が消費者に商品を供給する範囲である商圈の特性の把握が非常に重要である。特に新規出店をする場合には、その地域の世帯数や、競合店数、道路交通量、最寄り駅の乗降客数、消費支出などを適切に把握することが、その後の利益と直接的に関連する。平下(1996;1997)によれば、これらのデータは自社拠点や他社拠点、その他の施設などからなる「ポイントデータ」、行政界や道路などからなる「地図データ」、人口や消費支出などからなる「統計データ」、各企業内の取引数や売上データからなる「インナーデータ」の4種類に区分される。GIS 上でこれらのデータをオーバーレイすることによって、マーケティング戦略のための空間分析が可能となる(桜井, 1997; 高山ほか, 2001)。その際には、従来よりも大規模かつ詳細なデータを使用でき、既存のデータから2次データを生成して迅速にデータベースに加えることもできる(橋本, 2001)。

箸本(2000)は、GIS がエリアマーケティングの重要な分析ツールとなりうることを、近年の小売業における流通システム変容と関連づけて指摘し、とくにコンビニエンスストアなどの狭域商圈に対応した小地域統計データの利用や、昼夜間人口比などを用いた時間帯別分析が有用と述べている。山崎・高阪(2000)は、福岡市におけるスポーツクラブのサービス圏の特性を、市場浸透率(人口に対する会員の比率)を用いて分析し、スポーツクラブの立地条件などによって市場浸透率の分布が異なることを明らかにした。また Kohsaka(1997)は、商店街のポイントカードに記録された顧客情報を GIS 上で空間的に解析することによって、その商店街の商圈の実態を明らかにしている。この種の分析を、GIS を使わずに紙の地図のみを使っておこなうことは非常に困難であり、可能だとしても対象範囲はきわめて小さいだろう。また、新たな住宅開発によって商圈人口が増えたような場合、従来は情報を更新する際に多くの労力を要したが、GIS によりデータを効率的に蓄積・更新していれば、既存の分析手法を最新の情報に速やかに適用できるだろう。

V 人口分析における GIS の意義と課題

本稿では、GIS による人口分析の前提となる空間データ利用と空間単位設定に関する議論を整理した上で、実際に GIS を援用して人口分析をおこなった研究事例を概観し、さらには GIS を用いた人口分析の応用研究についてみてきた。最後に、人口分析への GIS の導入によってもたらされた研究史上の進歩を整理し、さらに新たに浮上してきた課題をまとめる。

前述した研究事例では、GIS を援用することにより人口分布の地域的・時系列的パターンが効率的に明らかにされた。では、これらの研究のなかで、具体的に GIS のどのような機能が貢献しているのだろうか。高阪(2001)は、都市研究において GIS が伝統的方法に比べて優れている点として、1)豊富なデータの世界(data rich world)の実現、2)容易な分析結果表示の実現、3)様々な空間統計手法や数理モデルの実現という 3 点を指摘している。これをもとに人口分析における GIS の効用を考えると、次のように整理できるだろう。

まず、GIS によって多量の空間データの処理が可能となったために、様々な空間的・時間的スケールにおける人口分析がおこなわれるようになった。例えば、正確な位置情報を伴った非集計データを処理することにより、統計単位区以下のマイクロなスケールで詳細な人口分布を把握できる。また、空中写真や衛星画像のリモートセンシングデータをデジタル形式で取り込むことにより、国境を越えたマクロスケールでの分析も可能となっている。

第二に、分析結果の表示が容易になったために、条件を変えながら試行錯誤的に結果の評価を繰り返す探索的分析が可能となった。近年の地理学では、探索的分析によって帰納的に情報を引き出す傾向が強まっている(Johnston, 1991)。とりわけ、本質的に帰納的な方法が多く用いられる人口分析の分野では、GIS の結果表示機能が有効である。実際、死亡率や出生率、人口移動の地域的パターンを見出す際には、GIS による迅速な図化が大きな役割を果たしている。また、人口現象は自然的条件などと比べて変化の速度が大きいので、データの更新・図示が容易に実行されることが重要である。

しかし、新しい分析法やモデル開発への GIS の貢献については、評価を留保する必要があるだろう。確かに GIS を援用することにより、バッファリングによる商圈分析、オーバーレイによる土地利用変化の分析、ポロノイ分割による施設利用圏の分析、あるいは日常的な人口流動の構造を把握するネットワーク分析などが可能となるが、われわれが日常的に使用しているデスクトップ用の GIS パッケージには、地理的分布の統計学的解析を可能とするモジュールが含まれない場合が多い(Gobalet and Thomas, 1996)。最近では、バッファリングやネットワーク分析といった「空間分析」によって現象を把握するだけでなく、ポイント・パターン分析や空間的自己相関、最近隣分析といった「空間統計分析」によって、複雑な現象に合理的な説明を与える必要性が生じている。さらに、現状の GIS では時間軸まで含めた時空間分析を行うことは困難である。この問題を解決するために、人口学、保健学、疫学、環境工学、マーケティング、ロジスティクスなどに関するモデリングやシミュレーションを可能にする GIS 用の空間統計モジュールも開発されているが⁷⁾、一般に

はまだ普及していない。

このような「空間分析から空間統計分析へのシフト」という課題以外にも、GIS を用いて人口分析をする際の課題が多く残されている。例えばデータの利用可能性については、「国土空間データ基盤」の整備によって数値地図などの基礎的なデータがインターネットから入手可能になりつつあり、民間企業からも様々な空間データが提供されている。しかし、データが首都圏などに偏在しているために必要な地域の情報が得られなかったり、フォーマットの不統一のためにデータを GIS に直接インポートできないといった問題がある。またデータの投影法や座標系が不統一の場合も多く、これまでの空間データ整備が GIS の利用に対する障壁を低くしたとは必ずしもいえない。さらに、個票データなどのマイクロデータを扱う場合には、プライバシーの保護という課題と常に対峙しなければならないし、多くの場合マイクロデータは GIS 上で利用できるようなポイントデータにはなっていないので、データ入力のため初期に投下する労働力と費用は依然として膨大である。このように、GIS は人口分析に関するあらゆる要請に答えてくれる万能の道具ではない。しかし、GIS の高速なデータ処理機能によって可能となった様々な空間的・時間的スケールでの分析や、結果の迅速な地図化によって可能となった探索的な分析は、人口を扱う研究者にとって極めて有用であることは間違いない。今後、それらが空間分析から空間統計分析へと発展することによって、GIS の意義がますます高まることになるだろう。

文献の検索の際には、東京大学情報基盤センター図書館電子化部門の雑誌記事索引データベース(和文献)、および Swetscan データベース(洋文献)を使用した。また、一般図書については、東京大学オンライン蔵書目録データベース(OPAC)を使用した。本研究は、平成 12～13 年度厚生科学研究費補助金(政策科学推進研究事業・課題番号 H12-政策-014)による成果である。

注

- 1) いわゆるクリアリングハウスの開設などの方法による。
- 2) 合衆国のセンサスに基づく GIS としては、1970 年から始まった DIME システムがあり、その後 TIGER システムが 1990 年から導入された。
- 3) <http://land.geo.tsukuba.ac.jp/teacher/murayama/history/index.html>から利用可能(2002 年 7 月現在)。
- 4) <http://www.ritsumei.ac.jp/kic/lt/geo/satlas/top/top.html>から利用可能(2002 年 7 月現在)。
- 5) <http://land.geo.tsukuba.ac.jp/teacher/murayama/history/malay/index.html>から利用可能(2002 年 7 月現在)。
- 6) 地理的位置の問題とは、例えば歴史 GIS において、リソースとなる歴史地図における位置情報の信憑性が問題にされることを意味する。

7) 例えば, ESRI社のArcViewに対応したinsightful社のS-PLUS for ArcView GISなどがある.

参考文献

- 青柳光太郎 1996. 都市化に伴う土地利用変化 仙台都市圏におけるGISを用いた分析. 東北学院大学東北文化研究所紀要 28:85-96.
- 浅見泰司 1882. メッシュデータを用いたDID内外の人口分布変容の数量的分析. 都市計画 17:85-90.
- 荒井良雄・小池司朗 2000. 明治中期迅速図からのメッシュ人口推定 千葉県における推計作業(中間報告) . 東京大学人文地理学研究 14:1-34.
- 石川義孝 2001. 人口地理学とGIS. 高阪宏行・村山祐司編『GIS 地理学への貢献』古今書院, 142-158.
- 石黒 徹 1996. GIS 都市行政への展開:横浜市の都市計画情報システム. 高阪宏行・岡部篤行編『GIS ソースブック』古今書院, 240-250.
- ウーズ R・河邊 宏・小笠原節夫・高橋眞一訳. 1983. 『地域人口分析法 - 地理学と人口学の接点 -』古今書院.
- 大友 篤 1978. 地域メッシュ・データによる人口分布の分析. 数理科学 16(4):18-23.
- 大友 篤 2000. 合衆国における小地域統計の利用. 統計 51(2):28-35.
- 大場 亨 1996. 都市計画基礎調査の結果を用いた都市の分析と計画. 高阪宏行・岡部篤行編『GIS ソースブック』古今書院, 251-258.
- 大林千一 1996. 小地区人口統計. 高阪宏行・岡部篤行編『GIS ソースブック』古今書院, 62-64.
- 小口 高 2000. 地理情報とインターネットGIS. 歴史と地理, No.533:15-22.
- 川上光彦 1988. 都市計画的ゾーニングと人口変動の関連に関する既存メッシュデータを用いた解析 金沢都市圏におけるケーススタディ. 都市計画論文集 23:67-72.
- 久保幸夫 1990. 地理情報の発展とメッシュデータ 海外の動向を中心として . 地学雑誌 99(6):113-120.
- 高阪宏行 1999. 情報ネットワークによる空間データの提供. 地理誌叢 40(2):29-35.
- 高阪宏行 2001. GIS の発展に向けて. 高阪宏行・村山祐司編『GIS 地理学への貢献』古今書院, 367-383.
- 桜井博行 1997. 『GIS - 電子地図革命』東洋経済新報社.
- 佐藤真理 2000. デジタル・マッピングによる小地域統計の利用. 統計 51(2):16-20.
- 笹山敬八郎 1983. コンピュータマッピングによる日本人口地図の作成について. 統計局研究彙報 40:61-78.
- 柴崎亮介・巖 網林 1997. 地理情報システム(GIS)による都市空間の把握と分析. 都市問題 88(9):69-82.

- スプレイグ, D・後藤巖寛・守山 弘 2000. 迅速測図の GIS 解析による明治初期の農村土地利用の分析. ランドスケープ研究 63(5):771-774.
- スービット, V・ダラスリ, D・ランブン, S・トンチャイ, S 春山成子訳 1994. リモートセンシングと GIS を用いたタイ山岳民族の集落立地条件の解析. 地理 39(2):6-8.
- 田頭直人・岡部篤行 1997. ある密度以上の地区を抽出する場合における統計地区単位の面積の影響. GIS - 理論と応用 5(1):11-18.
- 田頭直人・岡部篤行 2000. 『空間集計問題 - 地区集計バイアスとその除去』Sinfonica 研究叢書, (財)統計情報研究開発センター.
- 高山 勉・木村典夫・三浦孝広 2001. 『GIS データマイニング入門』東洋経済新報社.
- 谷内 達 1992. 東京及びその周辺のメッシュ人口分布図の作成, 1883~1985 年. 東京大学教養学部人文科学科紀要 95:33-53.
- 谷内 達 1995. 東京大都市圏・京阪神大都市圏の都市人口分布図の作成, 1883~1985 年. 東京大学教養学部人文科学科紀要 101:99-118.
- 玉川英則 2000. 地域の「サステナビリティ」に関する試論的考察 東京都内における人口安定地区とそのインプリケーション . 総合都市研究 71:5-20.
- 千歳壽一 1990. 都市行政におけるメッシュマップの利用 東京都を例として . 地学雑誌 99(6):92-97.
- 千歳壽一 2000. 東京都の都市計画における小地域統計利用. 統計 51(2):1-4.
- 中村和郎・寄藤 昂・村山祐司編 1998. 『地理情報システムを学ぶ』古今書院.
- 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 4:53-60.
- 中谷友樹 1999. DMSP/OLS Nighttime Stable Image による中国人口分布推定モデル. GIS 学会 Virtual Conference.
- 箸本健二 2000. GIS を利用したエリアマーケティングの展開. 大阪学院大学通信 31(1):217-232.
- 橋本雄一 2001. 商業地理学と GIS. 高阪宏行・村山祐司編『GIS 地理学への貢献』古今書院, 159-176.
- 長谷部原・鈴木雅和 1997. GIS による江戸 - 東京都市化過程におけるオープンスペースの変遷分析. ランドスケープ研究 60(5):633-638.
- 浜田学昭 1977. 都市の人口規模と土地利用. 都市問題研究 29(8):51-66.
- 日野 智・原口征人・佐藤馨一 1999. 地理情報システムによる利用者平均所要時間の算定と公共交通路線の評価に関する研究 - 札幌北部地域を対象として. 都市計画論文集 34:973-978.
- 尾藤章雄 1996. 人口密度データによる土地利用形態の推定 東京西郊の事例. 山梨大学教育学部研究報告人文社会科学系 47:73-82.
- 平下 治 1996. GIS のマーケティングへの応用. 高阪宏行・岡部篤行編『GIS ソースブック』古今

- 書院, 288-295.
- 平下 治 1997. 商圏分析を考える GIS のマーケティング応用. 流通情報 340:10-15.
- 福井弘道 1996. GIS を用いた都市・地域の解析. 高阪宏行・岡部篤行編『GIS ソースブック』古今書院, 336-345.
- 福地崇生・山口 誠・樺山資秀 1984. 大都市圏中心地域の人口動態・土地利用形態のマクロ的分析. 地域学研究 14:59-77.
- ブリュー, B 岡部篤行・東明佐久良・那須 充訳 2001. 『インターネット GIS』古今書院.
- 松橋啓介・森口祐一 2000. 基本単位区別集計データを用いた沿道人口分布の詳細な推計. GIS - 理論と応用 8(1):115-120.
- 宮澤 仁 1998a. 東京都中野区における保育所へのアクセス可能性に関する時空間制約の分析. 地理学評論 71:859-886.
- 村山祐司・尾野久二 1998. インターネット GIS の開発 明治期地域統計を事例に. 筑波大学人文地理学研究 22:99-128.
- 村山祐司 1999. インターネット GIS 大正・昭和初期における国勢調査の地図表示システム. 筑波大学人文地理学研究 23:59-79.
- 村山祐司 2000. 小地域統計と GIS. 統計 51(2):21-27.
- 村山祐司 2001. 地理学と GIS. 高阪宏行・村山祐司編『GIS 地理学への貢献』古今書院, 1-23.
- 楊井貴晴 1999. 国際統計展望 GIS 及び電子地図のセンサスへの適用 国連の人口・住宅センサスに関する専門家会議の概要. 統計 50(9):58-61.
- 矢野桂司 1996. 1980 年代後半の東京大都市圏における都市内部人口移動. 総合都市研究 59:35-47.
- 矢野桂司 1999. 『地理情報システムの世界 GIS で何が出来るか』ニュートンプレス.
- 山口直人 2000. 町丁目データによる人口移動分析. 統計 51(2):5-10.
- 山崎利夫・高阪宏行 2000. GIS を利用した商業スポーツクラブのサービス圏の分析 福岡市を事例として. GIS 理論と応用 8(2):77-86.
- 由井義通 2000. 東京都におけるひとり親世帯の住宅問題. 地理科学 55:77-98.
- 吉川 徹・島田良一 1993. 首都圏の細密数値情報土地利用データの標準地域メッシュシステムによる集計と図化. 総合都市研究 49:81-94.
- Al-Garni, A. M. 1995. Mathematical Predictive Models for Population Estimation in Urban Areas Using Space Products and GIS Technology. *Mathematical and Computer Modelling* 22(1): 95-108.
- Conning A. 1993. The Use of Geographical Information Systems (GIS) in Demography. *International Population Conference: Montreal* 3: 169-174.
- Gobalet, J.G. and Thomas, R.K. 1996. Demographic Data and Geographic Information Systems for Decision Making: The Case of Public Health. *Population Research and Policy Review* 15:

537-548.

- Heyers, E. and Poulard, S. 1993. Spatial Distribution and Spatial Concentration of Descendants of Saguenay Founders. *International Population Conference: Montreal 3*: 191-201.
- Johnston, R.J. 1991. *Geography and Geographers: Anglo-American Human Geography Since 1945* (Fourth Ed.) Edward Arnold, London.
- Kohsaka, H. 1997. Monitoring and analysis of a retail trading area by a card information/GIS approach. *Journal of Retailing and Consumer Services* 4(2): 109-115.
- Lin, Z., Oguchi, T. and Duan F. 1999. Topographic and Climatic Influences on Population and Soil in East to Southeast Asia: A GIS Approach. *Geographical Review of Japan* 72(2): 181-192.
- McCracken, S. D., Brondizio, E.S., Nelson, D., Moran, E.F., Siqueira, A.D. and Rodriguez-Pedraza, C. 1999. Remote Sensing and GIS at Farm Property Level: Demography and Deforestation in the Brazilian Amazon. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65(11): 1311-1320.
- Murayama, Y. 2000. Internet GIS for Malaysian Population Analysis. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba Section A* 21: 131-146.
- Nakayama, M. 1998. DMSP/OLS Imagery to Estimate Population. *International Symposium on Resource and Environmental Monitoring, Budapest*: 1-4.
- Rosero-Bixby, L. 1993. Physical Accessibility to Health Facilities in Costa Rica. *International Population Conference: Montreal 3*: 185-190.
- Ryavec, K. E. and Veregin, H. 1998. Population and Rangelands in Central Tibet : A GIS-based Approach. *GeoJournal* 44(1): 61-72.
- Sutton, P. 1997. Modeling Population Density with Night-time Satellite Imagery and GIS. *Computers Environment and Urban Systems* 21(3): 227-244.
- Sweitzer, J., Langaas, S. and Folke, C. 1996. Land Cover and Population Density in the Baltic Sea Drainage Basin: A GIS Database. *Ambio: a Journal of Human Environment Research and Management* 25(3): 191-198.
- Yano, K., Nakaya, T. and Ishikawa, Y. 2000. An Analysis of Inter-Municipal Migration Flows in Japan Using GIS and Spatial Interaction Modeling. *Geographical Review of Japan* 73(2): 165-177.