

厚生省科学研究費

(課題番号H12-政策-014)

報告書(平成13年度)

地理情報システムを用いた 地域人口動態の規定要因に関する研究

平成14年3月

主任研究者 小口 高

目 次

I. 総括研究報告

- 地理情報システムを用いた地域人口動態の規定要因に関する研究 ----- 1
小口 高

II. 分担研究報告

1. 補間法による国勢調査人口メッシュデータの
座標変換手法の改良と全国データの整備 ----- 7
青木賢人・堀 和明・武者忠彦・伊藤史子・江崎雄治・小口 高
2. 全国 47 都道府県における標高・傾斜と人口密度との関係
—GIS による地域性の分析— ----- 25
小口 高・青木賢人・宇野 剛・高木哲也・堀 和明・青木宏人
3. 日本の都市圏における少子化の進行過程
—県庁所在 47 都市に関する分析— ----- 53
江崎雄治・小池司朗・武者忠彦・西岡八郎・伊藤史子・大場 保

総括研究報告

地理情報システムを用いた地域人口動態の規定要因に関する研究

主任研究者 小口 高

厚生科学研究費補助金(政策科学推進研究事業)

総括研究報告書

地理情報システムを用いた地域人口動態の規定要因に関する研究

主任研究者 小口 高 (東京大学空間情報科学研究センター 助教授)

研究要旨

本研究は地理情報システム(Geographic Information Systems: GIS)を用いて、わが国における人口動態とその変動の規定要因を解明することを目的とする。GISを用いて人口動態を地図化、視覚化する試みは近年行われ始めているが、その分布の規定要因を解明しようと試みた研究は少ない。そこで本研究では、人口分布あるいは人口増加率、また出生、死亡等の人口動態が、職業や学歴といった住民の諸属性、あるいは住宅事情等の社会経済的要因とどのような関連性を有するかを検討し、さらに地形、気候等の地理的諸条件によっていかなる影響を受けるかについても分析を試みる。

分担研究者

西岡八郎(国立社会保障・人口問題研究所
人口構造研究部長)

江崎雄治(国立社会保障・人口問題研究所
人口構造研究部研究員)

討する。研究事業初年度には、南東北・関東・中部地方の範囲について分析を行ったが、平成13年度には、分析対象地域を全国に拡大する。

A. 研究目的

本研究の目的は地理情報システム(Geographic Information Systems: GIS)を用いて、わが国における人口動態とその変動の規定要因を解明することにある。平成13年度には、以下の3点の個別課題を設定した。

(1) 研究事業初年度において開発された、緯度経度系による人口データをメートル単位によるものに変換するための手法を改良する。

(2) 上記によって変換された1km×1kmの修正メッシュデータを用いて、土地高度、傾斜などの自然的土地条件と人口分布との関連性を検

(3) 都市圏程度の地域的範囲において、少子化の地域差とそれをもたらす諸要因を考察する。研究事業初年度には、東京および大阪大都市圏について分析を行ったが、平成13年度には、分析対象地域を都道府県庁の所在都市が形成する47の都市圏に拡大する。

B. 研究方法

年度前半には、研究事業初年度における分析結果の吟味と分析手法の再検討等を行った。また、必要に応じて既存文献の読み合わせを行い、今年度以降における研究の展開のための議論を行った。

年度後半には、メッシュデータをGISソフトウェア上で利用する際に必要となる集計項目と分析対象範囲に即してデータを整理、再編成

するとともに、上記した(1)～(3)の目的を達成するための具体的な分析作業を行った。上記(2)を達成するためには、(1)において補正された1km×1kmのメッシュデータが必要なため、おおむね(1)→(2)という流れで分析作業を行った。一方、補正されたメッシュデータでは海岸部等のデータが一部欠落するが、いくつかの都市圏では海岸部にかなりの人口が居住するので、(3)については緯度経度座標系に基づく原データを利用した分析を行った。

(倫理面への配慮)

本研究では、特定個人を調査対象者として設定することはないため、研究遂行にあたって倫理面での問題は特段発生しないと考えられる。

C. D. 研究結果と考察

(1)内水面などを含む人口メッシュに関しては、メッシュの全面積に基づいて算出される人口密度値が現実の値よりも過少になる。そこで、湖沼、湿原(それぞれおよそ4km²以上のもの)、大河川の河口部(河川幅おおむね500m以上のもの)を含むメッシュを除外してから座標変換のための補間作業を行った。Triangulation with Linear Interpolation (TL)法、Nearest Neighbor (NN)法、Inverse Distance to a Power (IDP)法など種々の補間法による結果を比較検討した結果、TL法における補間が、一定エリア内の人口再現率などの点から、最も優れていることが確認された。

(2)上記の修正メッシュデータを日本全国について整備し、土地の高度・傾斜と人口分布との関連性を検討したところ、以下の知見が得られた。1)人口密度は基本的には標高と傾斜の増

加にともなって単調に減少するが、両者の関係に顕著な極大値がみられる場合もある。2)標高と人口密度との関係には指数関数が比較的良好に適合するが、低標高では予測値が実測値よりも小さくなる傾向が高い。べき関数の適合により、この問題を解消できる場合もあるが、全体としては指数関数の方が適合度が高い。3)傾斜と人口密度との関係には指数関数がかかりよく適合する。4)標高や傾斜が小さい領域における人口密度の予測値と実測値との差に基づいて、都道府県を類型化した。その結果、ある地域に特定のタイプがまとまって存在する傾向が見いだされた。5)標高と人口密度との関係を回帰した際の式の係数は、人口密度の絶対値、最低標高の値、標高のレンジに強く依存している。傾斜と人口密度との関係を表す回帰式の係数にも同様の要素が影響しているが、他の要素の関与も強いと推定される。

(3)47の都道府県庁所在都市の都市圏における少子化の波及プロセスを調べるために、各都市圏を3つの距離帯(0～5km, 5～10km, 10～15km)に分け、それぞれについて子ども・婦人比を算出した。それらの経年変化を観察することにより、以下のような知見を得た。1)47の都市圏すべてにおいて、少子化の進行が共通に観察される。2)各都市圏では3つの距離帯ともに子ども・婦人比の値はおおむね減少傾向にあり、少子化が距離帯を問わず進行している。3)1980年には距離帯間の値の差(中心部で低く、周辺部で高い)が明瞭な都市圏がみられたが、年次とともに距離帯間の差は縮小する傾向にある。4)上記の距離帯間の差は、人口規模が大きい都市圏においてより明瞭であり、人口規模の小さい都市圏では、1980～1995年の期間を通じて距離帯間の差

が小さい。

E. 結論

GIS を用いた人口分析、とりわけメッシュデータを用いて地域人口動態の規定要因を探る研究は、今後大いに発展が期待される分野であり、平成 13 年度における分析作業においても多くの知見を得ることができた。

緯度経度系のメッシュデータを 1km×1km のものに補正する手法がさらに改良され、内水面を含む全国の人口メッシュデータに対して、この手法が応用可能なことが示された。また、このようなデータを用いて全国の高度、傾斜などの自然的土地条件と人口分布との関連性を検証したところ、居住に際しての自然的制約が縮小したと思われる現在においてもなお、自然的土地条件が一定の影響を与えていることが確かめられた。さらにそれらの関連性については近隣の県で類似の傾向がみられ、この傾向によって全国がいくつかの地域ブロックに分類可能という新知見が得られた。

また、県庁所在 47 都市圏の子ども・婦人比の分析からは、今後の少子化の進行を予測する際に有用な知見が得られた。すなわち、1980～1995 年の 15 年間では、都市圏の周辺部において急速な子ども・婦人比の低下がみられ、中心部の値と同程度まで落ち込むことになった。とはいえ、この勢いが継続して周辺部の子ども・婦人比が中心部を下回ることはないと考えられることから、今後は中心部と同様に、周辺部における子ども・婦人比の低下が緩やかになると予測される。したがって、都市圏全体の少子化進展のペースが、今後やや遅くなると考えられる。

F. 健康危険情報

(特になし)

G. 研究発表

2. 学会発表

Siakeu, J., Oguchi, T., Aoki, T. and Esaki, Y.:
'Effects of rapid urbanization on suspended sediment concentration in Japanese rivers: a GIS analysis' (Fifth International Conference on Geomorphology, Chuo University, Tokyo, 2001 年 8 月 25 日)

H. 知的財産権の出願・登録情報

(特になし)

分担研究報告－1

補間法による国勢調査人口メッシュデータの 座標変換手法の改良と全国データの整備

青木賢人
堀 和明
武者忠彦
伊藤史子
江崎雄治
小口 高

補間法による国勢調査人口メッシュデータの座標変換手法の改良と

全国データの整備

青木賢人¹・堀 和明²・武者忠彦³・伊藤史子⁴・江崎雄治⁵・小口 高⁴

I はじめに

我が国では、1920年(大正9年)以降5年おきに国勢調査が行われ、人口データが全国的に収集されてきた。その結果は総務省統計局によりメッシュデータとして整理され、財団法人統計情報研究開発センター(Sinfonica)を通じて一般の利用に供されている。国勢調査人口メッシュデータは全国で均質かつ汎用的な形式で公開されているデジタルデータであることから、地理情報システム(GIS:Geographical Information Systems)との親和性が高いと考えられ、奥貫(2001)はGISによる都市解析の有力な実証データとして例示している。しかし、国勢調査の集計に用いられている基準地域メッシュ(BUB:Basic Unit Block mesh)は緯度と経度が等間隔になるように設定されたメッシュであり、実距離に換算した場合、緯度によってメッシュの間隔・面積が変化する(井出, 1996)。このため、国勢調査人口メッシュデータは、そのままではバッファリング、ネットワーク解析、ポロノイ分割などの距離を指標としたGIS解析に利用できない。

筆者らの一部は、十進経緯度座標上で作成された国勢調査人口メッシュデータに補間法を適用してユニバーサル横メルカトル(UTM:Universal Transverse Mercator)座標系に変換し、格子点間隔が実距離で等間隔、すなわち等面積グリッドによる人口データを作成する手法を開発した(青木ほか, 2001)。また、この手法により変換された関東甲信地方の人口グリッドデータを用いて、人口密度と地形条件との関係をGISを用いて解析した(小口ほか, 2001)。その結果、座標系を変換した人口グリッドデータの有用性が確認された。そこで本研究では、青木ほか(2001)が開発した座標変換法を改良し、それを用いて日本全国の人口グリッドデータセットを作成する。利用したデータは、Sinfonicaによって公開されている1970年度、1975年度、1980年度、1985年度、1990年度および1995年度の国勢調査人口メッシュデータと、北海道地図(株)が作製したデジタル数値地図GISMAP 25000Vである。なお、データの整理と解析にはArcView 3.2a(ESRI社製)およびSurfer 7(Golden Software社製)を使用した。

1 日本学術振興会特別研究員

2 科学技術特別研究員

3 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程

4 東京大学空間情報科学研究センター

5 国立社会保障・人口問題研究所

II グリッドデータの作成手順

青木ほか(2001)では以下の手順によって、関東甲信地方の1都8県を対象に格子点間隔の実距離が等間隔な人口グリッドデータを作成した。その際、複数の補間法による出力と元データとの整合性を比較検討し、Triangulation with Linear Interpolation (TL)法が国勢調査人口メッシュデータの補間に最も適切な手法であることを示唆した。具体的な作業手順は以下の通りである。

1. 位置座標データセットの作成

対象地域全域の3次メッシュにBUBメッシュコードを付与し、メッシュ内に海域や湖水域を含まない全域が陸上となるメッシュのみを抽出する。

2. 人口属性データセットの作成

メッシュごとの人口値の重みを均一とするため、面積の違いを考慮して人口密度を算出する。

3. 補間によるグリッドデータの作成。

位置座標と人口属性を結合し、UTM座標系上でTL法を用いて人口密度を補間し、1kmグリッドデータを作成する。

本年度の作業においても、データ作成の手順は基本的に青木ほか(2001)に従ったが、処理対象面積が拡張されデータが膨大になったため、処理上のいくつかの問題点が生じた。そこで、具体的な手順に関していくつかの改良を加えた。以下にその内容を記載する。また、日本全国のデータ作成に適切な補間法を選択するために、複数の補間法を用いてデータセットを作成し、結果の相互比較を行った。

1. 位置座標データセットの作成

1) 対象地域のBUBメッシュポリゴンの作成

国勢調査人口メッシュデータでは、陸上にあっても人口が分布していないBUBメッシュに関する情報が欠落している。そのため、補間の際には人口が分布しない地域のBUBメッシュに人口密度0人/km²を付与しておく必要がある。また、各BUBメッシュの属性値には、【人口値】とともに、各属性のIDとなる【BUBメッシュコード】、補間前の位置座標となる【十進経緯度座標値】、補間後の位置座標となる【UTM座標値】、人口値を人口密度値に変換するための【メッシュ面積】が含まれる必要がある。また、関東甲信地方を対象とした青木ほか(2001)では、UTMゾーンを単一(53帯)としたが、日本列島は異なるUTMゾーンにまたがるので、歪みを小さくするために解析対象範囲をUTMゾーンごとに分割する必要がある。さらに青木ほか(2001)では、Microsoft Excelを用いてBUBコードの発生とポイントシェープファイルの生成を行った。しかし、日本列島全域ではデータの量がMicrosoft Excelで解析可能なセル数を越える。そこで、以下のように手順を改良した。

・都道府県別の UTM ゾーンの設定

本研究ではデータ処理の基本単位を都道府県としたため、最初に各都道府県の UTM ゾーンを認定した。大半の場合は各都道府県の全域が単一の UTM ゾーンに含まれるが、一部は 2 つのゾーンにまたがっている。この場合には、より広い面積を占める UTM ゾーンを採用した。ただし、沖縄県に関してはゾーン境界が海上にあるので、2 つのゾーンに分割したデータセットも併せて作成した。各都道府県が属する UTM ゾーンは表 1 の通りである。

表 1 各都道府県が属する UTM ゾーン

52 帯	沖縄県(沖縄), 九州各県・山口県(九州・山口)
53 帯	山口県を除く富山県・岐阜県・愛知県以西の本州各府県(本州西), 四国各県(四国)
54 帯	新潟県・長野県・静岡県以东の本州各都県(本州東), 北海道(北海道)

括弧内は以後に用いるデータセット名。

・解析対象範囲に対応する BUB メッシュポリゴンの生成

(株)パスコによって提供されている「標準地域メッシュ・ポリゴン作成ユーティリティ」を用い、ArcView 上で解析対象範囲の BUB メッシュに対応するマルチポリゴン(BUB メッシュポリゴン)を生成した。生成されたポリゴンには属性値として【BUB コード】が付与されている。

・十進経緯度座標値の付与

生成された BUB メッシュポリゴンに対し、ArcView 上でエクステンション<USC-CLA Vector Utilities>の“Add XY Coordinate”を行い、各メッシュの中心に相当する【十進経緯度座標値】を付与した。

・UTM 座標値の付与

ArcView 上で、BUB メッシュポリゴンのテーブルから十進経緯度座標値を用いてポイントシェープファイルを生成した。このシェープファイルを(株)パスコが提供している「シェープファイル変換プログラム」を用い、表 1 に示した解析対象範囲ごとに UTM 座標系に投影変換した。次に、変換されたシェープファイルに対しエクステンション<USC-CLA Vector Utilities>の“Add XY Coordinate”を行い、【UTM 座標値】を付与した。さらに、生成したテーブルを BUB コードを介して BUB メッシュポリゴンのシェープファイルと結合した。

・各 BUB メッシュの面積の計測

BUB メッシュポリゴンを、「シェープファイル変換プログラム」を用いて UTM ゾーン毎に投影変換した。次に、ArcView 上でスクリプト<area.ave>を実行し、各ポリゴンの【メッシュ面積】を計測した。

生成されたテーブルを BUB メッシュポリゴンのシェープファイルと BUB コードを介して結合した。

2) 解析対象とする BUB メッシュの選択

上述の BUB メッシュポリゴンから、全域が陸上となるポリゴンのみを解析対象として選択した。また、陸上であっても大面積の湖沼、幅 500m を越える河川を含むポリゴンを解析対象から除外した(図1)。メッシュの選択は以下の手順で行った。

・各都道府県の BUB メッシュの選択

都道府県の範囲を示すポリゴンファイルを、GISMAP 250000V から抽出した¹⁾。次に、各都道府県と隣接する都道府県のポリゴンを選択し、この範囲の BUB メッシュポリゴンを ArcView の“テーマによる選択”を用いて抽出した。隣接する都道府県を含めた理由は、後で県境付近を含むデータの補間を行うためである。

・大規模湖沼および湿原の除外

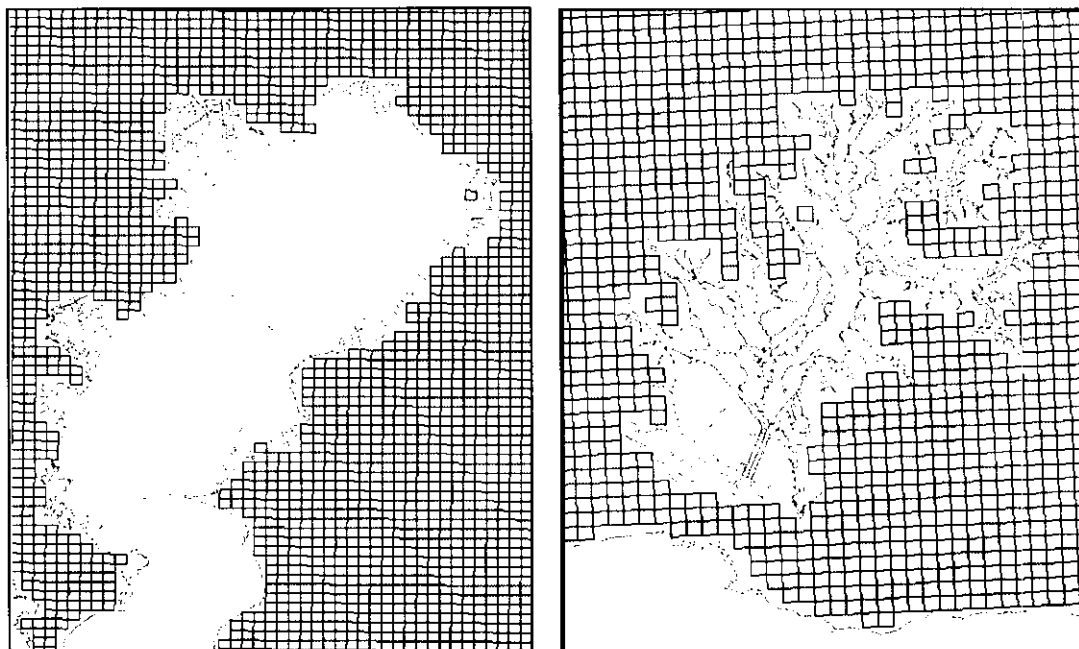
次に、面積が 4km² よりも大きい自然湖沼²⁾および湿原のメッシュポリゴンを除外した(表 2, 表 3)。最初に、湖沼と湿原を示すポリゴンファイルを GISMAP 250000V から抽出した。次に、そのポリゴンと ArcView の“テーマによる選択”を用いて、各都道府県の BUB メッシュポリゴンから湖沼および湿原を含むポリゴンを選択し、データセットから除外した。

表 2 除外対象とした湖沼

北海道:大沼(宗谷), ポロ沼, クッチャロ湖, コムケ湖, サロマ湖, 能取湖, 網走湖, 濤沸湖, 摩周湖, 屈斜路湖, 阿寒湖, 風蓮湖, 厚岸湖, 塘路湖, 温根沼, 倶多楽湖, 支笏湖, 洞爺湖, 大沼・小沼(渡島)
本州東:小川原湖, 鷹架沼, 十和田湖, 田沢湖, 十三湖, 八郎潟調整池, 檜原湖, 小川原湖, 秋本湖, 猪苗代湖, 中禅寺湖, 北浦, 外浪逆浦, 霞ヶ浦, 澗沼, 印旛沼, 手賀沼, 牛久沼, 渡良瀬遊水池, 芦ノ湖, 山中湖, 河口湖, 西湖, 精進湖, 本栖湖, 猪鼻湖, 浜名湖, 諏訪湖, 野尻湖, 加茂湖
本州西:河北潟, 余呉湖, 水月湖, 久美浜湾, 阿蘇海, 琵琶湖, 湖山池, 東郷池, 中海, 宍道湖
九州:池田湖, 鰻池

表 3 除外対象とした湿原

サロベツ湿原, 猿払川湿原, 別寒辺牛湿原, 釧路湿原, ウトナイ湖湿原



a) 東京湾岸

b) 北海道釧路湿原周辺

図 1 海岸部および内水面によるメッシュの除外状況

UTM 座標系を用いて投影。メッシュは補間に利用した 3 次メッシュ。

青線は海岸線もしくは湖岸線を示す。

・大規模河川の除外

河口域のような河川の水路幅が大きい場所に BUB メッシュが位置する場合には、湖沼や湿原と同様の問題が生じる。そこで、国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図を用いて、河川幅が 500m 以上(地形図上では幅 2cm 以上)の河川を抽出した。この際には、地形図に水色で示されている水面の幅が 500m 以上の区間の最上流端と最下流端の緯度・経度を、十進経緯度で測定した。なお、網状河川のように水路が中州の両側に分流している場合には、分流した個々の水路の幅が 500m を超えるかを調べた。抽出された河川を表 4 に示した。次に、測定した緯度・経度をポイントデータとして ArcView に入力し、GISMAP 250000V の水涯面ポリゴンと重ね合わせ、対応する水涯面をクリップした。この水涯面と交差する BUB メッシュポリゴンを、ArcView の“テーマによる選択”を用いて判定し、データセットから除外した。

2. 人口属性データセットの作成

Sinfonica から提供されている国勢調査人口メッシュデータは、csv 形式(カンマ区切りテキストファイル)である。解析対象範囲の csv ファイルを結合した後、Microsoft Access にインポートして必要な属性と BUB メッシュコードを抽出し、テキストファイルとして出力した。出力したテキストファイルを

表 4 除外対象とした河川

北海道:石狩川(2ヶ所)
本州東:米代川, 阿武隈川, 矢作川, 日光川, 利根川, 荒川, 多摩川, 阿賀野川, 信濃川, 天竜川
本州西:木曾川, 掛斐川(長良川と合流後), 宮川, 熊野川, 淀川, 大和川, 安治川, 加古川, 吉井川, 高梁川, 那賀川, 賀茂川
四国:吉野川, 四万十川
九州:菊池川, 緑川, 筑後川, 早津江川, 番匠川, 大野川, 一ツ瀬川, 球磨川, 川内川, 松浦川

ArcView にインポートし、メッシュコードを介して BUB メッシュポリゴンに結合した。この際に、海岸部などの除外対象となったメッシュの情報は消去される。次いで、BUB メッシュポリゴンの属性値である【メッシュ面積】と【人口値】を用いて、各メッシュの人口密度を計算した。さらに、人口データが空白の BUB メッシュに人口密度として0を付与した。この作業を解析対象とした各年次について行い、次に BUB メッシュの中心点の位置座標と人口密度を CSV 形式で出力し、補間に用いるデータセットとした。

3. 補間によるデータセットの作成

1) 補間法の適用

格子点間隔の実距離が等しいグリッドデータを作成するために、前項で作成した位置座標と人口密度のデータを Surfer にインポートし、補間法を適用して 1km×1km グリッドのデータを出力した。この際には、IV章で示すように、複数の補間法を適用して結果を比較した。次に、補間されたデータを ArcView に再インポートした。この際には、ArcView と Surfer では Y 軸方向のグリッドデータの記述順が逆であることを考慮し、最初に Surfer を用いてデータを Y 軸方向に反転してから ASCII 形式のテキストファイルとして出力し、それを ArcView にインポートした。また、ArcView と Surfer ではグリッドデータを ASCII 形式で入出力する場合のヘッダーが異なるため、テキストエディターを用いてヘッダーを変更した。

2) 解析用グリッドデータの切り出し

補間の結果生成したグリッドデータでは、海上などの本来人口が分布しない範囲や、BUB メッシュポリゴンデータ作成時に除外した大規模湖沼、湿原、河川などの内水面に相当するグリッドにもデータが付与されている。これらの不要なグリッドのデータを以下の手順で除去した。

・陸上グリッドの選択

UTM 座標系で投影された ArcView のビュー・ウィンドウ上でスクリプト<

createmapgrid.ave>を実行し、解析対象範囲を包括するグリッドデータと対応する 1km×1km の正方形のポリゴンシェープファイルを生成した。次に、Ⅱ-1-2)で作成した解析対象範囲を示す外郭線ポリゴンを、「シェープファイル変換プログラム」を用いて UTM ゾーン毎に座標変換した。このポリゴンを用いた“テーマによる選択”により、正方形ポリゴンシェープファイルのうち、全域が陸上となるポリゴンを選択した。

・内水面グリッドの除外

Ⅱ-1-2)で作成した内水面（大規模湖沼、湿原および大規模河川）のシェープファイルについても、UTM ゾーン毎に座標変換を行った。次に、前項で選択された陸上の正方形ポリゴンのうち、座標変換された内水面ポリゴンと重なるものを“テーマによる選択”によって抽出し、データを削除した。

・グリッドデータの切り出し

選択された正方形ポリゴンをディゾルブし、グリッドデータの切り出しに用いる外郭線ポリゴンを作成した。次に、ArcView のエクステンション<USC-CLA Grid Utilities>の“Clip Grid”を用いて、補間されたグリッドデータから外郭線ポリゴンに内包されるグリッドを選択し、解析用データセットとした。

Ⅲ 補間法の比較検討と選択

青木ほか（2001）では、人口メッシュデータの補間に最適な方法を選択するために、小口・勝部（2000）を参考に、同一のデータセットに対して複数の補間法を適用し、結果を相互に比較した。その結果、最大値、合計値の再現性が良い TL 法が、最も適切な補間法であることを指摘した。より広範囲のデータを補間する本研究においても、改めて複数の補間法によって得られた結果を比較し、青木ほか(2001)の妥当性を検討した。比較の際には最新のデータである 1995 年（平成 7 年）の総人口データを用いた。適用した補間法の種類とパラメータは表 5 の通りである。

表 5: 補間に用いた手法およびパラメータ一覧

(各方法の詳細については Golden Software, Inc., 1999 を参照)

記号	補間法	パラメータ
IDP1	Inverse Distance to a Power	Power = 1
IDP2		Power = 2
IDP3		Power = 3
IDP4		Power = 4
IDP5		Power = 5
K_exp	Kriging	Function = exponential
K_Gau		Function = Gaussian
K_wav		Function = hole effect
K_lin		Function = linear
K_qua		Function = quadratic
K_rq		Function = rational quadratic
K_sph		Function = spherical
MC	Minimum Curvature	
NN	Nearest Neighbor	
Nat_N	Natural Neighbor	
PR1	Polynomial Regression	Function = simple planar
PR2		Function = bi-linear saddle
PR3		Function = quadratic
PR4		Function = cubic
R_ts	Radial Basis Function	Function = thin plate spline
R_nc		Function = natural cubic spline
R_mq		Function = multi quadratic
R_ml		Function = multi log
R_im		Function = inverse multi quadratic
MS0	Modified Shepard's Method	Smoothing parameter = 0
TL	Triangulation with Linear interpolation	

表 6: 北海道の補間結果

記号	最小人口密度	最大人口密度	総人口	面積(km ²)
Original	0.00	15011.27	5065606.0	75353.4
IDP1	0.00	11843.82	5095221.0	74628.0
IDP2	0.00	12853.41	5074519.0	74628.0
IDP3	0.00	13757.28	5064528.0	74628.0
IDP4	0.00	14242.41	5062758.0	74628.0
IDP5	0.00	14365.32	5062938.0	74628.0
K_exp	-0.00	10152.01	5153733.0	74628.0
K_Gau	-294.10	13126.14	5089809.0	74628.0
K_wav	-0.00	10145.63	5154904.0	74628.0
K_lin	-294.10	13126.14	5089809.0	74628.0
K_qua	-0.00	10152.01	5153315.0	74628.0
K_rq	-0.00	10152.00	5153918.0	74628.0
K_sph	-0.00	10152.01	5153315.0	74628.0
MC	-508.01	15011.22	5059854.0	74628.0
NN	0.00	15011.27	5052355.0	74628.0
Nat_N	0.00	12981.28	5080230.0	74561.0
PR1	-9.77	170.98	5040278.5	74628.0
PR2	-77.20	127.29	5044923.6	74628.0
PR3	-89.57	170.63	5045660.2	74628.0
PR4	-329.34	294.45	5029966.7	74628.0
R_ts	252.00	2.87977E+38	3.44079E+38	74601.0
R_nc	-79319.20	85711.10	5252896.0	74081.0
R_mq	-251.62	12277.17	5094604.0	74628.0
R_ml	-524.69	10749.70	5087677.0	74628.0
R_im	-251.62	12277.17	5094604.0	74628.0
MS0	-1655.36	13737.07	5131323.0	74627.0
TL	0.00	13521.13	5083611.0	74610.0

最小値が負の値をとるものと、オリジナルに対して最大人口密度で±10%以上、総人口で±5%以上の差を示したものは、赤字で表示した。

結果の比較

補間結果の元データに対する再現性を調べるためには、個々の地点の値を比較することが好ましいが、今回は補間の際に座標変換を行っているために、厳密な比較は不可能である。そこで最初に、対象地域全体における人口密度の最小値、最大値および総人口を補間の前後で比較した。北海道の 1995 年度における比較の結果を表 6 に示した。青木ほか(2001)の結果と同様に、人口が分布していない BUB メッシュに人口密度 0 を付与したにもかかわらず、Kriging 法、Minimum Curvature 法、Polynomial

表 7：上位 100 データの比較

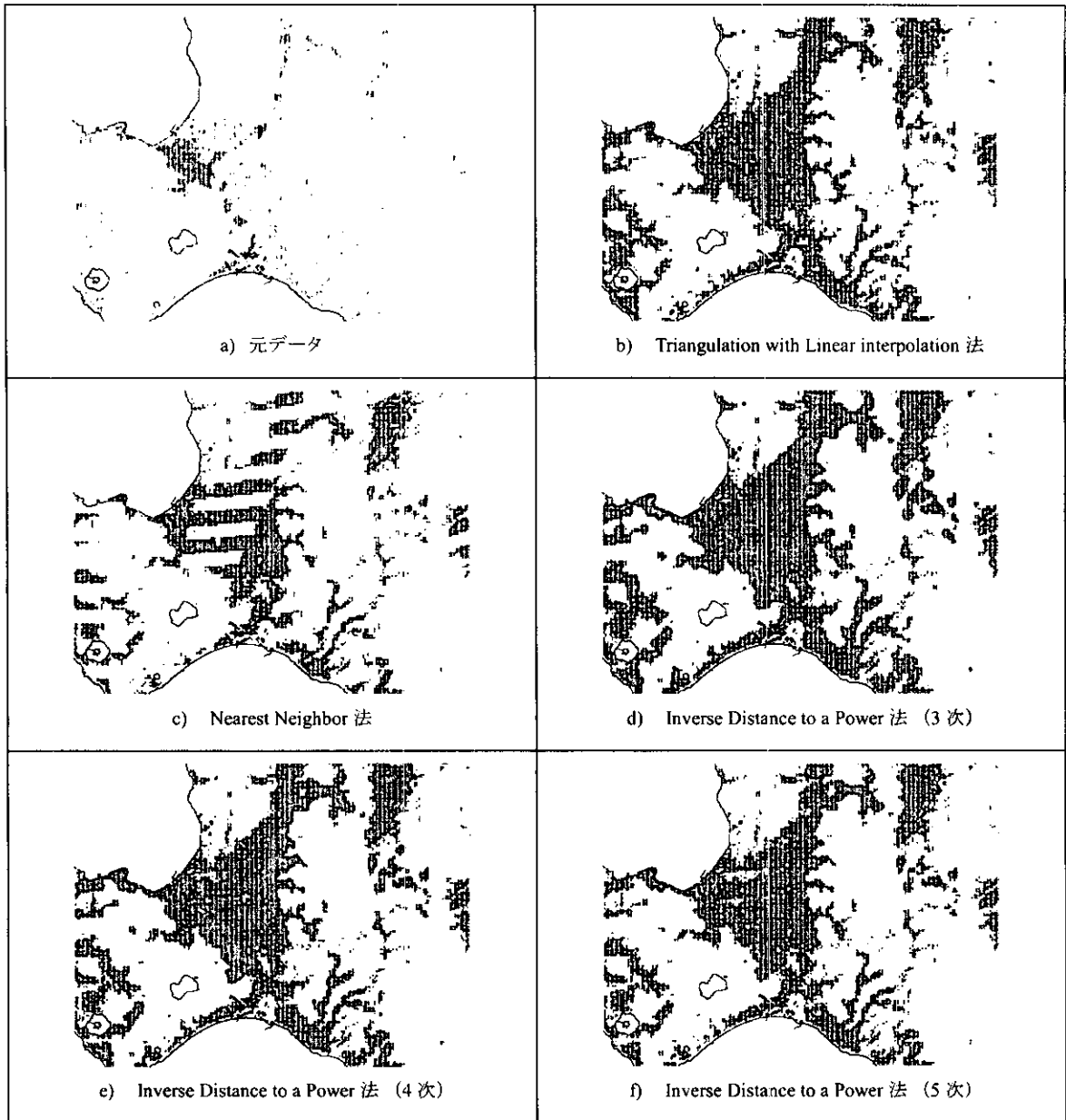
補間法	合計	再現率
TL	959490.95	0.953
IDP3	957910.68	0.951
IDP4	972846.09	0.966
IDP5	978524.27	0.972
NN	987061.35	0.980
Original	1006995.95	1.000

上位 100 データには、札幌、函館、小樽、旭川、釧路、苫小牧周辺が含まれる。

Regression 法、Radial Basis Function 法、および Modified Shepard 法では人口密度が負となるグリッドが生じた。これらの補間法は、国勢調査人口メッシュデータの補間に不適切と判断される。

最小人口密度が 0 となった補間法について検討すると、補間後の最大人口密度はオリジナルに比べて小さいが、TL 法、Nearest Neighbor (NN) 法および Inverse Distance to a Power (IDP) 法の 3 次式以上は、元データに対して 90%以上の再現率を持つ。さらに、これらの補間法について、最大から上位 100 グリッド(オリジナルデータは最大から 100 ポイント)の人口密度の総和を比較したところ、95%以上の再現率を示した(表 7)。再現率は NN 法が最も高く、IDP 法では次数が高くなるにつれて上昇する。また、TL 法の再現率は IDP 法の 3 次と 4 次の間となる。しかし、NN 法は近接するデータのみを参照するため、厳密な意味での空間補間とはいえない。また、IDP 法も次数が高くなると近接するデータに高い重み付けをするため、NN 法と同様の問題が生じる。

上記のように、個々の地点の値を補間の前後で厳密に比較することは不可能であるが、位置が近いセルを利用した近似的な比較は可能である。この種の比較を次の手順で行った。まず、人口密度値を属性値として持つ BUB メッシュポリゴンを、「シェープファイル変換プログラム」を用いて UTM ゾーン毎に座標変換した。一方、補間後のグリッドデータにスクリプト<grid2pt.ave>を適用し、グリッドの中心に対応したポイントのデータに変換した。次に、ポイントを含む座標変換された BUB メッシュポリゴンの人口密度と、ポイントの人口密度との差を算出した。図 2 は算出された差の分布を示している。NN 法では元データと一致する点(差が 0)が帯状に存在している。IDP 法の 4 次、5 次でも、NN 法で元データと一致した部分において差が帯状に小さくなっている。これらは、上記のように本来の位置が厳密には異なるデータを比較したために生じており、本質的な意味は持っていない。一方、IDP 法では、元データの図では薄い茶色で示されている人口密度 0 の地域に、正の差を示す赤のポイントが広く見られる。これは、本来人口が分布していない地域に人口密度値が付与されていることを示す。そこで、日本全国の 6 年次(1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995)のデータに TL 法と 3 次の IDP 法による補間を適用し、人口密度の上位 100 データと総人口の再現率、および人口密度が 0 になる面積の再現率を算出した(図 3, 図 4)。



- 0
- 0 - 10
- 10 - 100
- 100 - 1000
- 1000 - 10000
- 10000 -

元データ(a)の凡例 単位(人)

- -10000 - -1000
- -1000 - -10
- -10 - -1
- -1 - -0.001
- 0
- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 1000
- 1000 - 10000

元データと補間結果との差(b~f)の凡例 単位(人)

図2 元データと補間後のデータの近似的な比較結果

差が0となる領域が Nearest Neighbor 法では明瞭な帯状に、Inverse Distance to a Power 法の4次式以上でも不明瞭な帯状の領域として認められる。

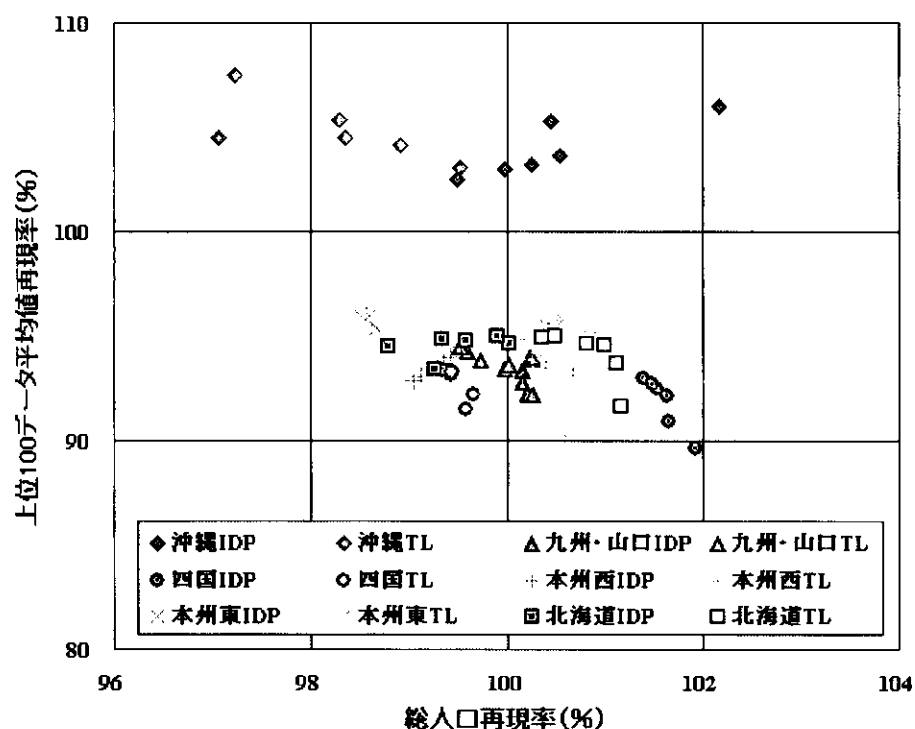


図3 TL法とIDP法(3次)による上位100データと総人口の再現性
(軸の縮尺が異なることに注意)

図3に示されるように、総人口の再現率ではTL法(赤)とIDP法(青)に大きな差は認められなかった。再現率は約97~102%と高く、平均ではTL法が99.53%、IDP法が100.27%であり、IDP法がやや高い再現率を持つ。しかし、補間後は総面積が減少すること(対補間前の比率はTL法で平均96.99%、IDP法で97.63%)を考慮すると、総人口再現率が100%を越えるIDP法はやや不自然である。一方、上位100データの再現率は両手法ともに約90~110%であり、総人口の場合よりも再現性が低下した。ただし、沖縄を除くと再現率は90~95%程度であり、地域と年次により再現率に多少の差は認められるものの、手法の違いによる顕著な差は認められなかった³⁾。このことから、総人口および上位100データの再現性という点では、IDP法とTL法は対等といえる。

一方、人口密度が0となる面積の再現性については、手法により大きな差が認められた(図4)。IDP法の再現率は最も高い北海道においても50%程度にすぎず、最低の九州・山口や四国などでは10%に満たない。これに対し、TL法では最低の九州・山口でも50%強であり、最高の北海道では90%近くまで上昇する。また、両手法による再現率には正の相関が認められ、TL法の再現率が常にIDP法よりも高い。したがって、TL法がIDP法よりも優れていると判断できる。

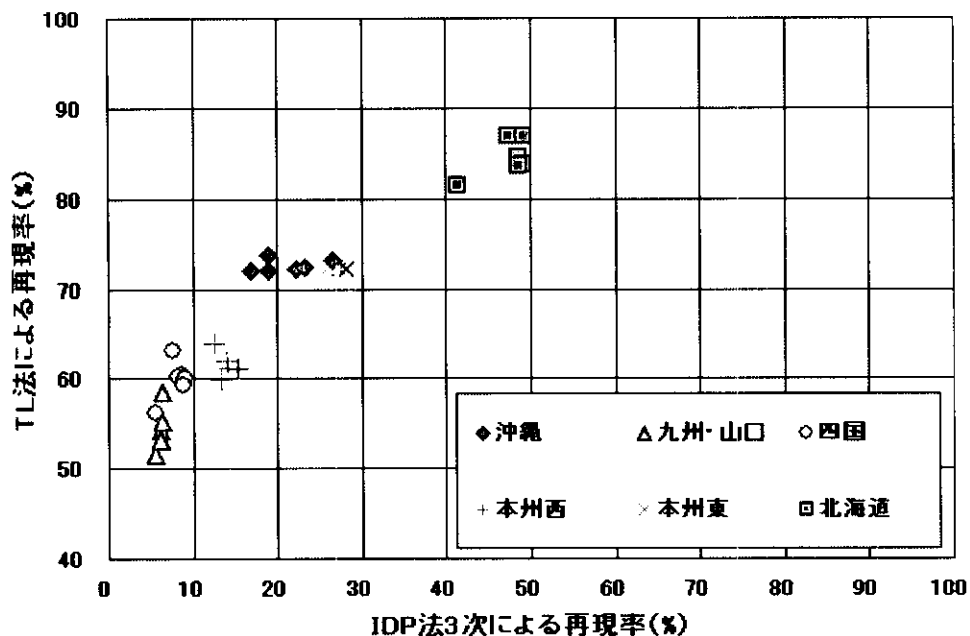


図4 TL法とIDP法(3次)による人口密度0となる面積の再現性

(軸の値が異なることに注意)

東日本よりも西日本で人口密度が0となる面積の再現性が劣る理由については、以下のように考える。九州・山口、四国、本州西など、比較的古くから開発の進んだ西日本では、集落が数多く存在して集落の間隔が狭いために、人口密度が0となる地域の連続性が悪い。そのため、本来は人口密度が0のグリッドに人口値が付与される可能性が高いのに対し、本州東や北海道のように、人口密度0の地域が広く連続する場合には再現性が相対的に良くなると予想される。この仮説の妥当性については、今後、改めて検討したい。

国勢調査標準地域メッシュデータに適した補間法

補間法として多項式関数に基づくKriging法やIDP法などを用いると、本来は人口が0であった地域に人口が与えられる可能性が増加し、正の値しか取り得ない人口密度に対して負の値を付与する場合もある。これは、多項式関数による補間法が地形や土壌、気候値などの空間的連続性が高い現象を念頭に開発されたのに対し、人口はより離散的に分布する現象であり、0という閾値が存在するという相違を反映している。この意味で、隣接するデータのみを用いた離散的かつ単純な補間法であるTL法が、国勢調査標準地域メッシュデータの補間には最適と考えられる。