

## IV まとめ

本研究では、国勢調査人口メッシュデータの補間に TL 法が最適なことを明らかにした。また、TL 法を用いて日本全国の格子点間隔が 1km×1km の人口グリッドデータセットを、1970 年度、1975 年度、1980 年度、1985 年度、1990 年度、および 1995 年度の 6 年次について作成した。データの投影法は UTM で、そのゾーンは北海道と本州東が 54 帯、本州西と四国が 53 帯、九州・山口、沖縄が 52 帯である。これらの実距離に基づくデータセットは、グリッド毎の人口値の重みが等しいので、各種地域統計値の算出や距離を指標とした解析に広く利用できる。また、他の空間データと統合して活用すれば、我が国における人口分布の特性や変化を規定する要因を検討できる。

本研究では、国勢調査人口メッシュデータのうち全国分がそろっている三次メッシュのデータを用いた、約 1km のメッシュ間隔を持つ三次メッシュのデータから 1km 間隔のグリッドデータを生成する限り、総人口や最大人口密度などの再現性の低下は避けられない。今後、基本統計区のデータの利用などを通じて、より高解像度で正確なグリッドデータを作成する必要があるだろう。

本研究は「平成 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)」および東京大学空間情報科学研究センターの「研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号 26)」による成果である。

### 参考文献

- 青木賢人・シアク＝ジャン・小口 高 2001. 補間法による国勢調査人口メッシュデータの座標変換. 平成 12 年度厚生省科学研究費報告書(課題番号 H12-政策-014)『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』, 23-44.
- 井出 満 1996. 1 キロ・500 メートルメッシュデータの概要. 高坂宏行・岡部篤行編 『GIS ソースブック』 48-53. 古今書院.
- 小口 高・青木賢人・シアク＝ジャン 2001. 首都圏とその周辺部における標高・傾斜と人口密度との関係—GIS による分析—. 平成 12 年度厚生省科学研究費報告書(課題番号 H12-政策-014)『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』, 45-66.
- 小口 高・勝部圭一 2000. 細密 DEM を用いた地形解析. 『デジタル観測手法を統合した里山の GIS 解析 —東京大学空間情報科学研究センター公開シンポジウム—』, 杉盛啓明・青木賢人・鈴木康弘・小口 高・地域環境 GIS 研究会 共編, 中日新聞社, 19-26.
- 奥貫圭一 2001. 都市解析と GIS. 高坂宏行・村山祐司編 『GIS—地理学への貢献—』 300-131. 古今書院.
- Golden software, Inc., 1999. Surfer7 User's Guide. Golden Software, Inc.

## 注

- 1) 本研究で使用した GISMAP 250000V は、2000 年 9 月リリースの Version 2.00 (ArcView データ交換形式) であり、海岸線、湖沼、湿原、河川のベクトルデータは 2000 年 3 月時点のものである。そのため、1970 年などの人口データに関しても、当時ではなく 2000 年 3 月時点の海岸線、湖岸線などに基づいて領域区分を行っている。埋め立てや干拓が行われたために、2000 年 3 月時点は陸域だが、それ以前のある時点では水域であった場合には、補間後に人口値が付与される場合がある。一方、掘込み港や放水路の開削などにより、2000 年 3 月時点は水域だが以前は陸域であった場合には、実際には分布していた人口値が補間と解析の対象から除外される。しかし現実には、水涯線に接するメッシュやグリッドを補間および解析の対象から除外しているため、水涯線のわずかな移動では補間と解析の対象範囲はほとんど変化しない。そのため、水涯線の変化に伴う人口値への影響は無視できると考えた。
- 2) ダム湖は除外対象としていない。これは、ダム湖の建設年次が大きく異なるため、2000 年 3 月時点で一律に除外することに問題があることと、建設以前には人口が分布していた場合があることを考慮したためである。なお、渡良瀬遊水池も人工的に建設された水域であり、以前は谷中村が存在していた。しかし、遊水池の建設に伴う谷中村の移転が 1907 (明治 40) 年に終了していることと、山間部に位置するダム湖とは異なって人口が稠密な低地に分布するために、その存在が補間結果に大きな影響を与えたと考えられる。そこで、渡良瀬遊水池は自然湖沼と同様に除外対象とした。
- 3) 沖縄が 100% を越える大きな再現率を示す主な理由は、沖縄では元データの各メッシュの面積が約  $1.15\text{km}^2$  であり、補間後の 1 グリッドの面積 ( $1\text{km}^2$ ) に比してかなり大きいいため、補間によりグリッド数が増加し、上位 100 位に相当するデータの閾値が上昇したためと考えられる (1995 年度のデータで 100 位のデータは、元データでは  $2505\text{人}/\text{km}^2$ 、TL 法では  $2876\text{人}/\text{km}^2$ 、IDP 法では  $2921\text{人}/\text{km}^2$  である)。同様の現象は、元データのメッシュ面積が  $1.00\text{km}^2$  を下回る北海道以外のデータセットでも生じていると考えられる。しかし、北ほど元データの各メッシュの面積が減少し、閾値上昇の効果が低減することと、解析対象範囲が広い他の地域では上位 100 のデータが複数の都市に分散し、補間によってピークが鈍化する効果が閾値上昇の効果を上回ると思われるため、上位 100 データ平均値の再現率が 100% を越えないと考えられる。一方、沖縄では上位 100 データの 7 割近くが那覇市とその周辺に集中するため、ピーク鈍化の効果が現れにくいことも、閾値上昇の効果を助長していると考えられる。さらに、沖縄県特有の問題である米軍基地および米軍関連施設の影響も考えられる。沖縄県では那覇市から浦添市、宜野湾市、沖縄市を経て具志川市に至る沖縄島南部に人口密集地が分布する。この人口密集地帯に接して普天間基地、嘉手納基地や米軍住宅など、国勢調査の調査対象にならない地域が存在する。補間の結果、これらの地域の一部にも大きな人口密度値が付与され、上位 100 データの平均値がさらに大きくなったと考えられる。

## 分担研究報告－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—

小口 高  
青木賢人  
宇野 剛  
高木哲也  
堀 和明  
青木宏人

# 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—

小口 高<sup>1</sup>・青木賢人<sup>2</sup>・宇野 剛<sup>3</sup>・高木哲也<sup>4</sup>・堀 和明<sup>5</sup>・青木宏人<sup>6</sup>

### I はじめに

人の分布は気候や地形に応じて大きく変化し、穀物の栽培限界である平均気温 0℃よりも寒冷な地域、年降水量が 100mm を下回る地域、および急傾斜の山岳地域では一般に人口が非常に少ない。しかし、人口分布と気候や地形との関係を詳しく検討した研究は少ない。その理由として、自然環境が悪い場所では人口が少ないことが自明とみなされ、詳しい検討を行う必然性が認識されないことや、人口問題の研究者の多くが人文・社会系の出身であり、自然環境への関心が概して薄いことがあげられる。また、いわゆる「環境決定論」への批判のために、自然が人間を規定するという立場の研究が停滞したこと(鈴木, 1988)や、地理空間の人文的要素と自然的要素を同時に分析するためのデータやツールが未整備だったことも原因であろう。しかし、最近の GIS(地理情報システム)の急速な普及とデジタル空間データの整備にともない、人口と自然環境との関連を調べた研究が増えつつある(武者ほか, 2002)。たとえば Lin et al. (1999)は、GIS とデジタルデータを用いて、東～東南アジアにおける人口密度と地形条件(標高・傾斜)との関係を分析した。また、小口ほか(2001)は、関東甲信地域を対象に、人口密度およびその継時変化と地形特性との関係を GIS を用いて検討し、一般的な傾向の把握と、そこから大きく乖離した地点の抽出を行い、乖離の原因を推定した。また、大友ほか(2001)は、全国を対象に地形別の人口分布を明らかにした。

本研究では、小口ほか(2001)の検討を日本全国に拡大することを目的とする。具体的には、1985 年の人口データと 50mメッシュの DEM(デジタル地形モデル)を利用し、各都道府県別の人口密度と標高・傾斜との関係を調べ、その特徴と地域性を明らかにする。なお、大友ほか(2001)も、GIS を用いて都道府県別の人口密度と地形との関係を調べているが、その主な目的は地形特性別の人口集計値の提示であり、地形と人口密度との関係の数学的な解析や、それに基づく地域性の分析はほとんど行われていない。

---

1 東京大学空間情報科学研究センター

2 日本学術振興会特別研究員

3 日本大学大学院理工学研究科地理学専攻博士前期課程

4 東京大学理学部地学科

5 科学技術特別研究員

6 北海道地図株式会社

## II データ

本研究で使用した人口に関するデータは、総務省統計局の国勢調査データを UTM 座標系に投影変換して得られた、格子点間隔の実距離が 1km の人口密度メッシュデータ(青木ほか, 2002, 本報告書)である。このデータの対象年次は昭和 45 年(1970), 50 年(1975), 55 年(1980), 60 年(1985), 平成 2 年(1990), 7 年(1995)の 6 ヶ年である。ただし、昭和 45 年については元のデータの一部(東北地方)に欠損があり、その補足作業が必要であったため、本研究の作業時には利用できなかった。小口ほか(2001)では、最古と最新の年次である昭和 45 年と平成 7 年の人口密度の差を用いて、関東甲信における人口密度の変化と地形特性との関係を解析した。しかし、今回の全国に関する検討では、昭和 45 年のデータが利用できなかったため、単年の人口密度と地形特性との関係のみを分析し、人口密度の変化に関する解析は次年度以降に行うことにした。解析対象とした年次は、全体のほぼ中間にあたる昭和 60 年である。

本研究で使用した地形データは、北海道地図(株)が等高線ベクターデータより作製した、UTM 座標系を持つ全国の 50m メッシュ DEM(GISMAP Terrain UTM 座標系標高格子データ)である。小口ほか(2001)は、緯度・経度座標系で投影された国土地理院の DEM「数値地図 50mメッシュ(標高)」を補間し、UTM 座標系上で実距離 50m の格子間隔を持つ DEM を作成したが、今回はより高精度の DEM を利用した。上記の DEM を ESRI 社の GIS ソフトウェア ArcView にインポートし、対象点の周囲 8 点の標高値を用いる Horn(1981)の方法により地表の傾斜を計算した。次に、人口密度データの 1km メッシュ内に位置する 50-m DEM の 400 個の格子点について、標高と傾斜の平均値を算出した。以下の議論では、この標高・傾斜の平均値を用いて人口密度と地形との関係を検討する。なお、DEM から算出される傾斜の値はデータの格子点間隔に強く依存する(Gao, 1997; 小口・勝部, 2000 など)。解像度が低いデータを用いた場合には、住宅地や坂の勾配といった、人間の居住に直接結びつく傾斜の推定が難しい。上記のように、本研究で検討に利用した地形データは 1 km 四方ごとの集計値であるため、見かけ上の格子点間隔は 1 km となる。しかし、集計に用いた傾斜の値は 50m-DEM から計算されており、細かい地形の特徴を反映している。なお、大友ほか(2001)は 250m メッシュの DEM から地形特性値を算出し、人口密度との関係を調べているが、この解像度は細かい谷と尾根が分布する日本の山地や丘陵地の地形特性を表す目的には不十分とされている(野上, 1995)。

本研究では、都道府県レベルの行政区ごとに地形と人口密度との関係を調べ、その地域差を論じる。行政区を地域区分に用いる科学的根拠は特にないが、都道府県単位での諸現象の比較は多くの日本人にとって直感的に理解しやすいものであるため、この方法を採用した。都県の境界データは、北海道地図(株)が作成したデジタル数値地図 GISMAP 25000V から抽出した。

### Ⅲ 分析と結果

#### 1. 標高・傾斜と人口密度との関係

上記のデータを ArcView を用いて整理・分析した。最初に、人口密度と地形のデータを都道府県ごとに切り出した。次に、標高 10 m、傾斜 1 度ごとの各階級に属するセルを判定し、各階級における人口密度の平均値を算出した。ただし、各階級に属するセルの数が 10 個未満の場合には、平均値の信頼性が低いと考えて検討対象から除外した。次に、各階級の標高もしくは傾斜の中央値と、平均人口密度との関係をプロットした(図1, 図2)。Lin et al. (1999)が指摘したように、日本では一般に標高と傾斜が大きい場所ほど人口密度が小さい。図1と図2は、この関係が都道府県単位でも概ね成立することを示す。ただし、詳しくみると人口密度が標高や傾斜と負の相関をもたない区間も存在する。たとえば、最低標高で人口密度が低下する例(栃木, 群馬, 千葉, 東京, 山梨, 長野, 岐阜, 滋賀, 京都, 奈良, 長崎, 熊本), 最低傾斜で人口密度が低下する例(宮城, 茨城, 千葉, 京都, 奈良, 福岡, 佐賀, 沖縄), 中程度の標高で明瞭な極大値がみられる例(岩手, 宮城, 山形, 福島, 栃木, 埼玉, 福井, 山梨, 長野, 宮崎), 中程度の傾斜で明瞭な極大値がみられる例(埼玉, 神奈川, 山梨, 兵庫, 島根, 高知, 長崎)がある。このような人口密度と地形との関係にみられる都道府県ごとの差異を、図1と図2の視覚的な判読のみによって類型化することは困難である。たとえば、上記した極大値が発生する高度と傾斜の値や、極大値のピークの高さは都道府県ごとに異なっている。そこで、より客観的な方法を用いた類型化を試みた。

#### 2. 標高・傾斜と人口密度との関係の回帰

図1と図2によると、標高・傾斜の増加にともなう人口密度の減少は、標高・傾斜の値が小さいほど急速である。このような関係を表す単純な関数として、指数関数とべき関数があげられる。そこで、これらの関数を用いて各都道府県における人口密度と標高・傾斜との関係を回帰した。図3と図4は、北日本の1道3県における標高と人口密度との関係に、指数関数とべき関数を適合したものである。これらの例から明らかなように、一般に指数回帰は低標高での適合度が低く、回帰線による人口密度の予測値が実測値よりも小さくなる傾向がある。また、べき回帰は中標高～低標高で適合度が低く、中標高では回帰線による人口密度の予測値が実測値よりも小さく、低標高では逆に予測値が実測値よりも大きくなる傾向がある。ただし指数関数については、岩手県の例のように全標高を通じて適合度が高い場合もある。また、どちらの関数を用いた場合でも回帰の相関係数の二乗値は全て 0.6 以上となったが、べき回帰が指数回帰よりも適合度が高い事例は、47 都道府県のうち北海道、富山、石川、愛知、和歌山、香川、大分の7つのみであった。そこで、標高と人口密度との関係は指数関数で近似できると仮定する。ただし、低標高における回帰式の残差がほとんど正になることは、指数関数による近似の限界を暗示する。この問題についてはIV章で詳しく議論する。

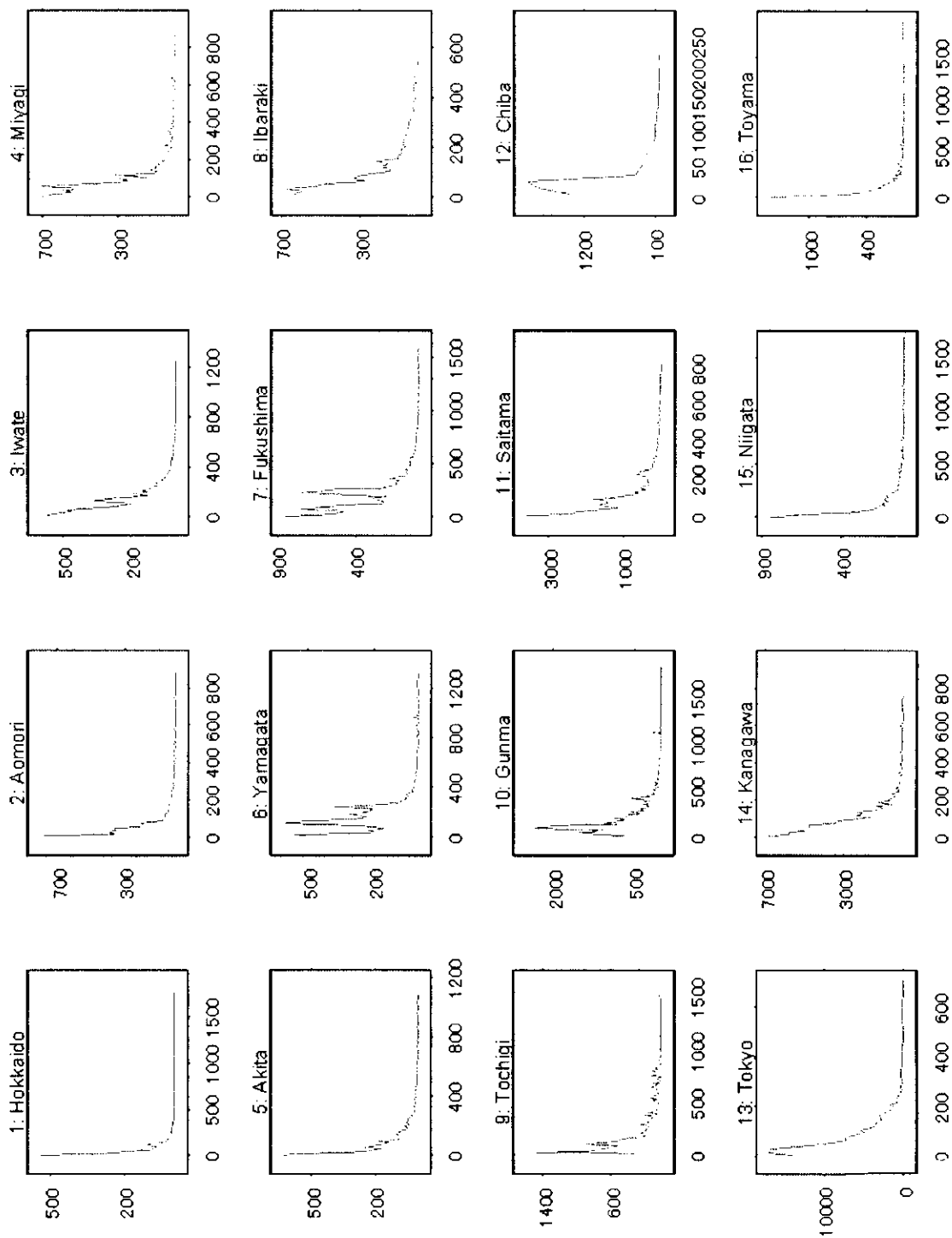


図1 各都道府県における標高(X軸, m)と人口密度(Y軸, 人/km<sup>2</sup>)との関係  
(北海道～富山県)

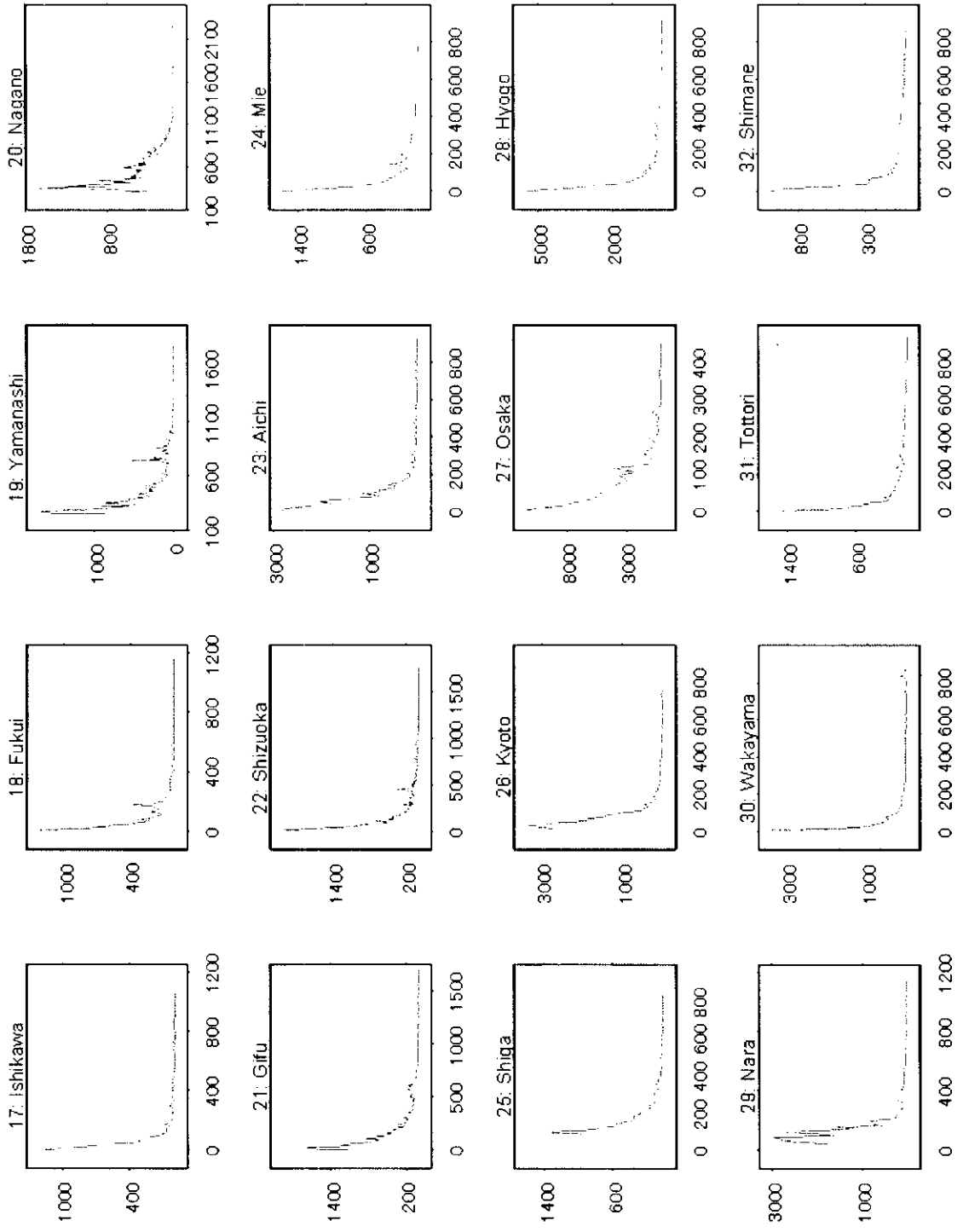


図1の続き(石川県～島根県)



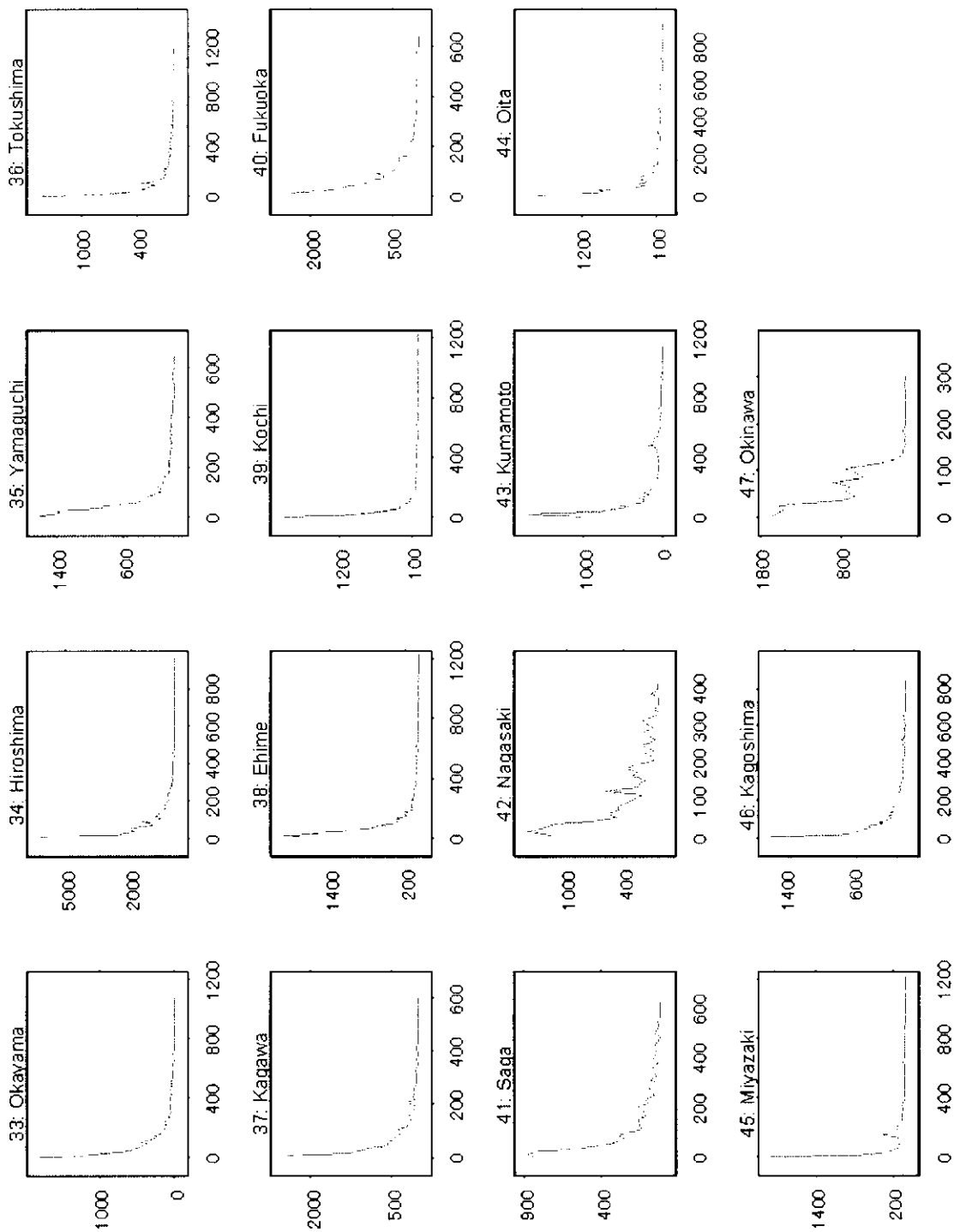


図1の続き(岡山県～沖縄県)

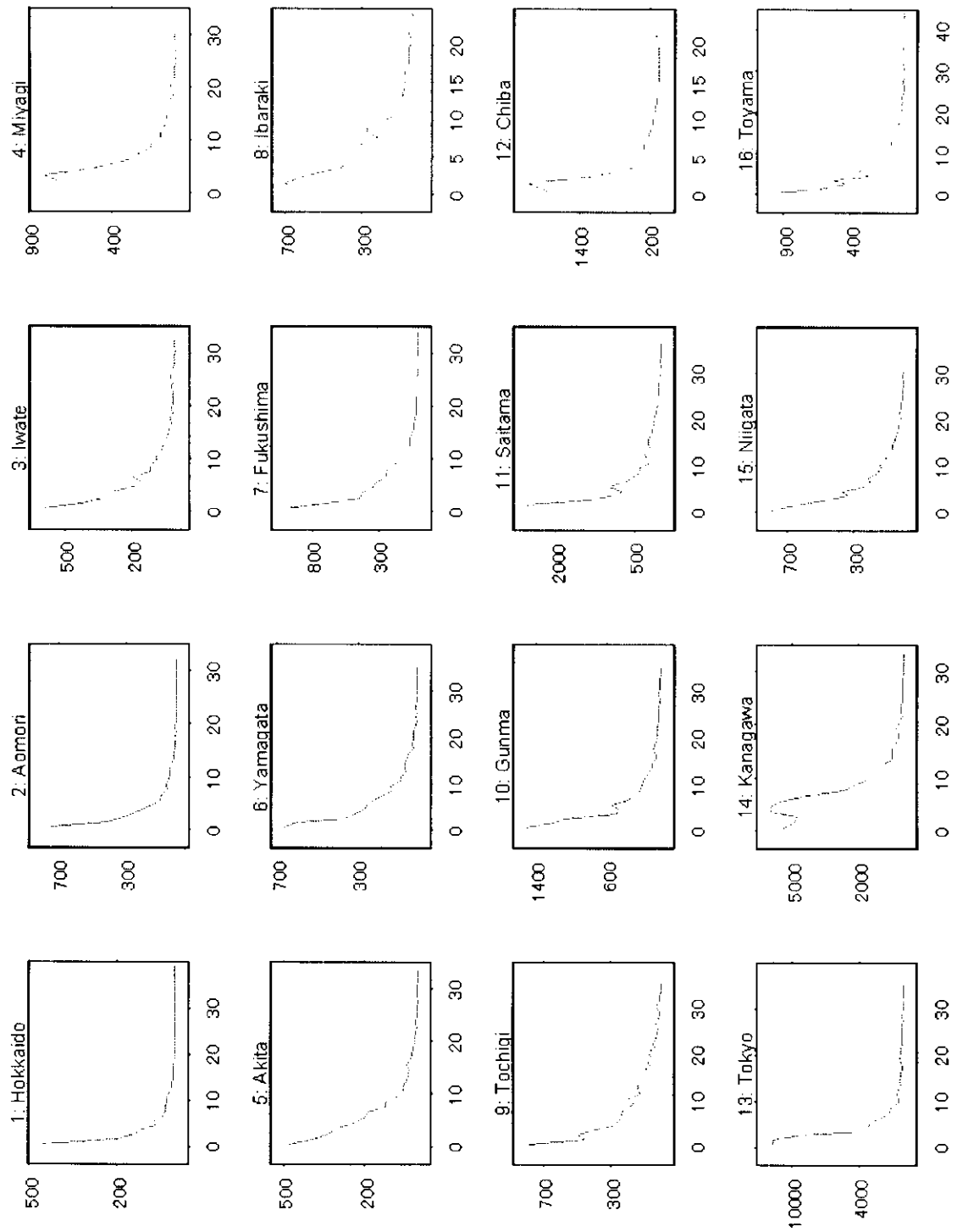


図2 各都道府県における傾斜(X軸, 度)と人口密度(Y軸, 人/km<sup>2</sup>)との関係  
(北海道～富山県)

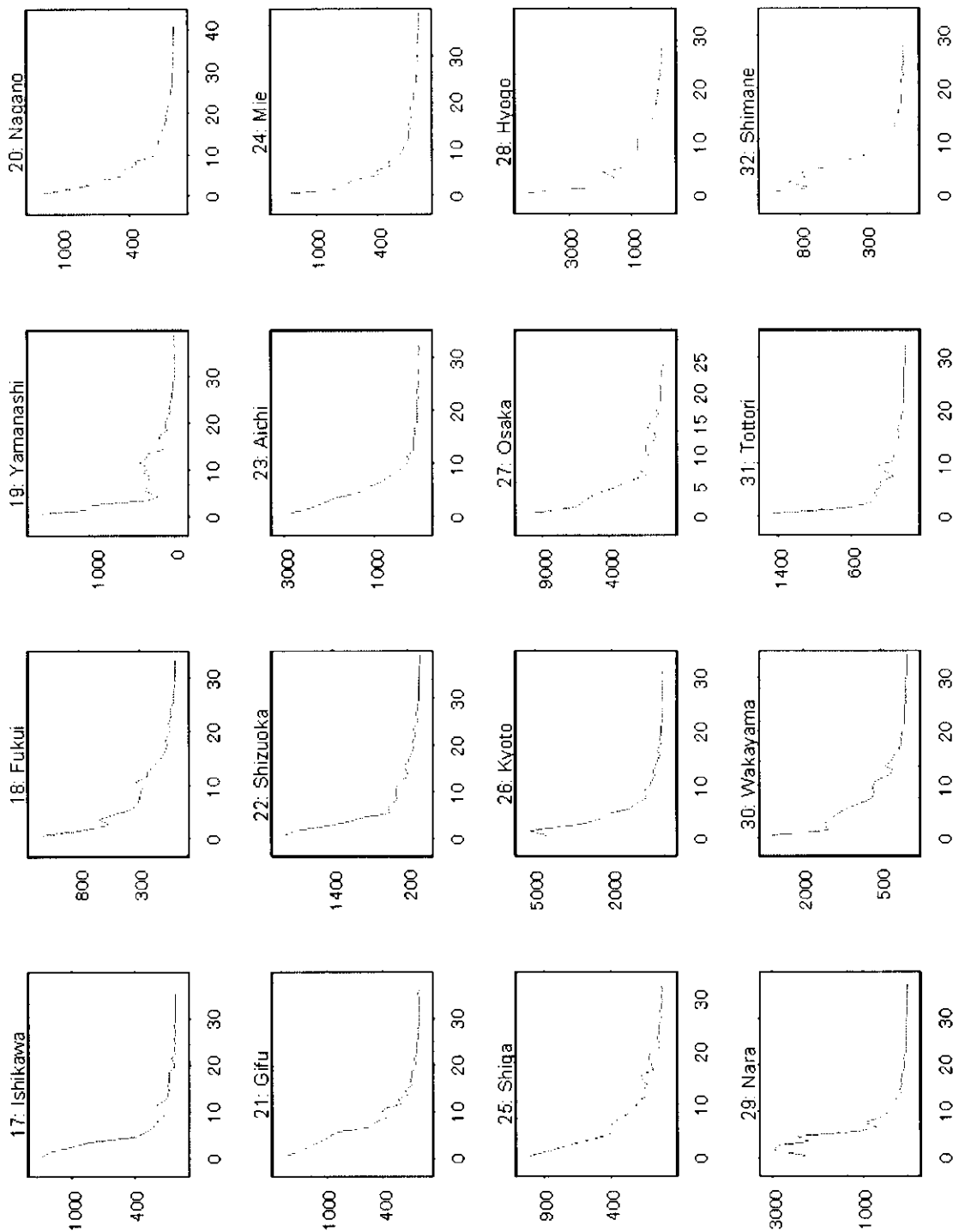


図2の続き (石川県～島根県)

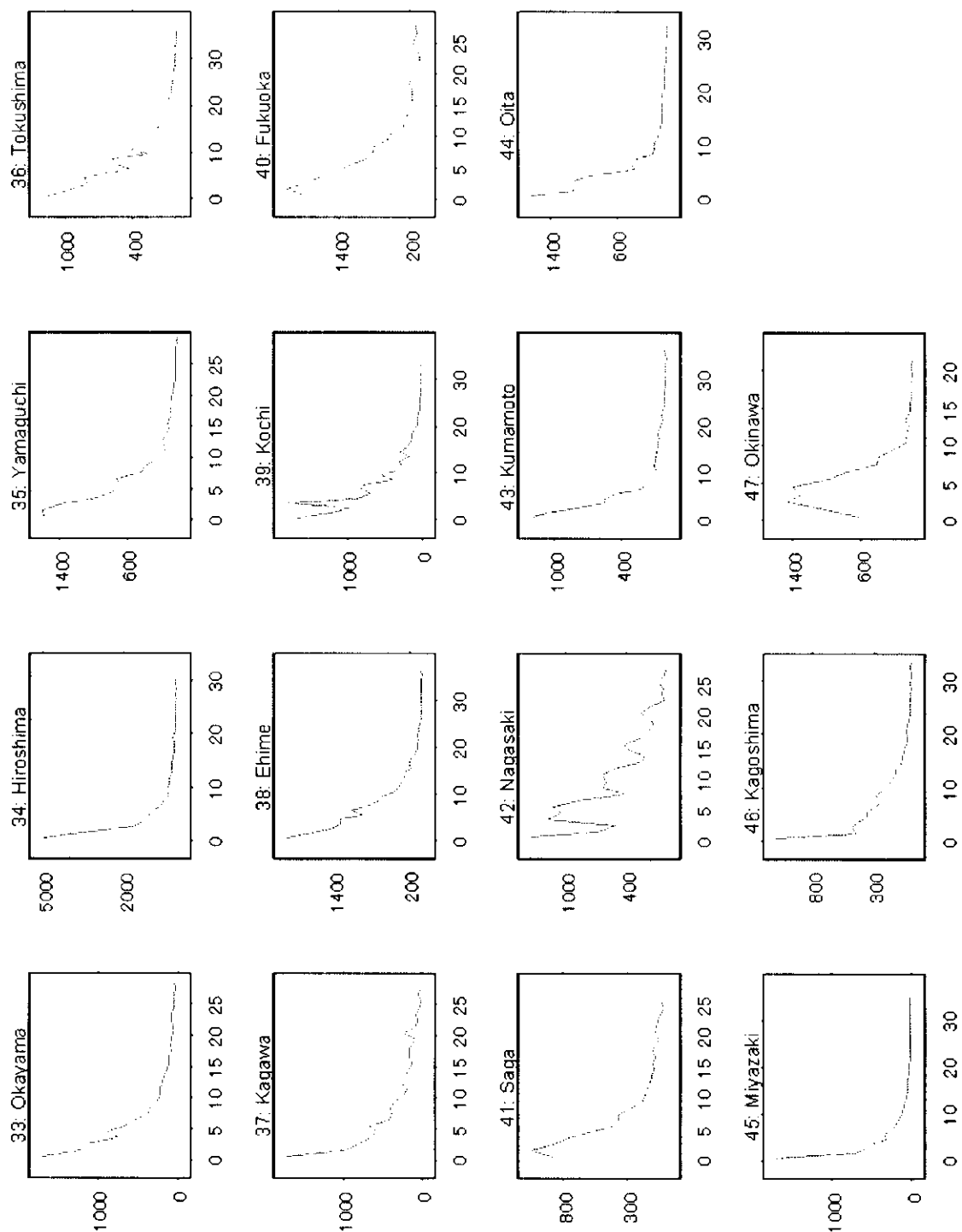


図2の続き (岡山県～沖縄県)

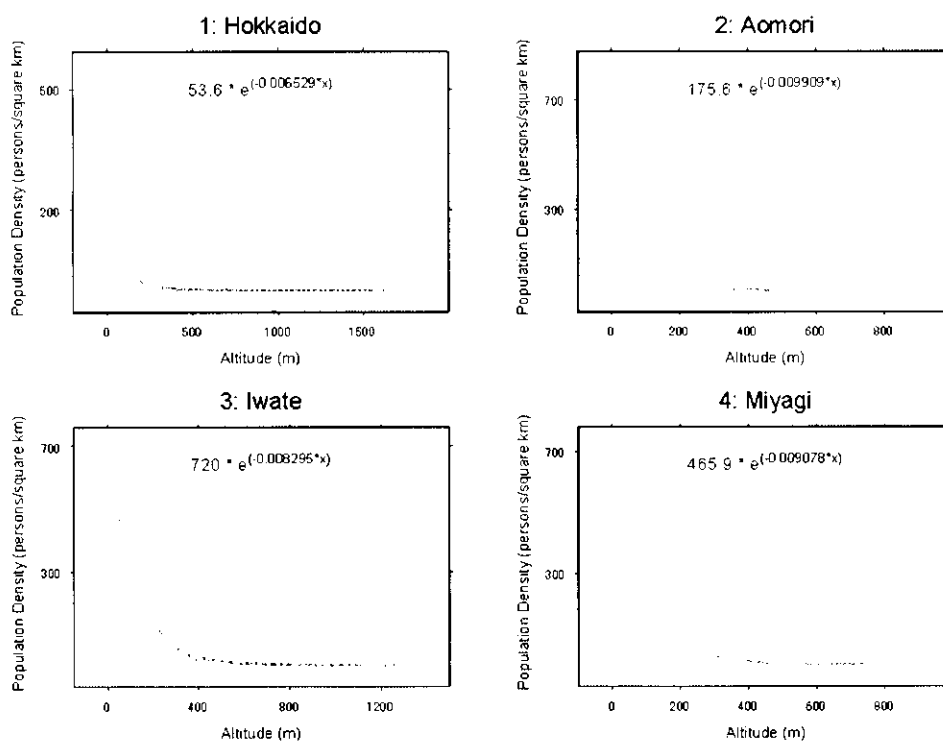


図 3 北海道・青森・岩手・宮城における標高と人口密度との関係と指数関数による回帰

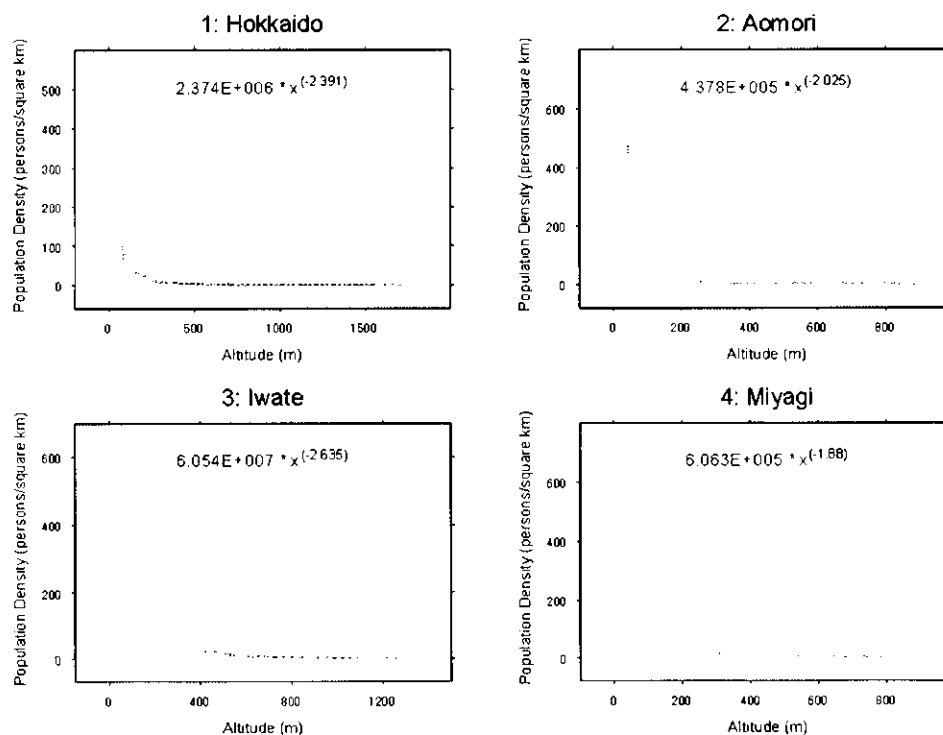


図 4 北海道・青森・岩手・宮城における標高と人口密度との関係とべき関数による回帰

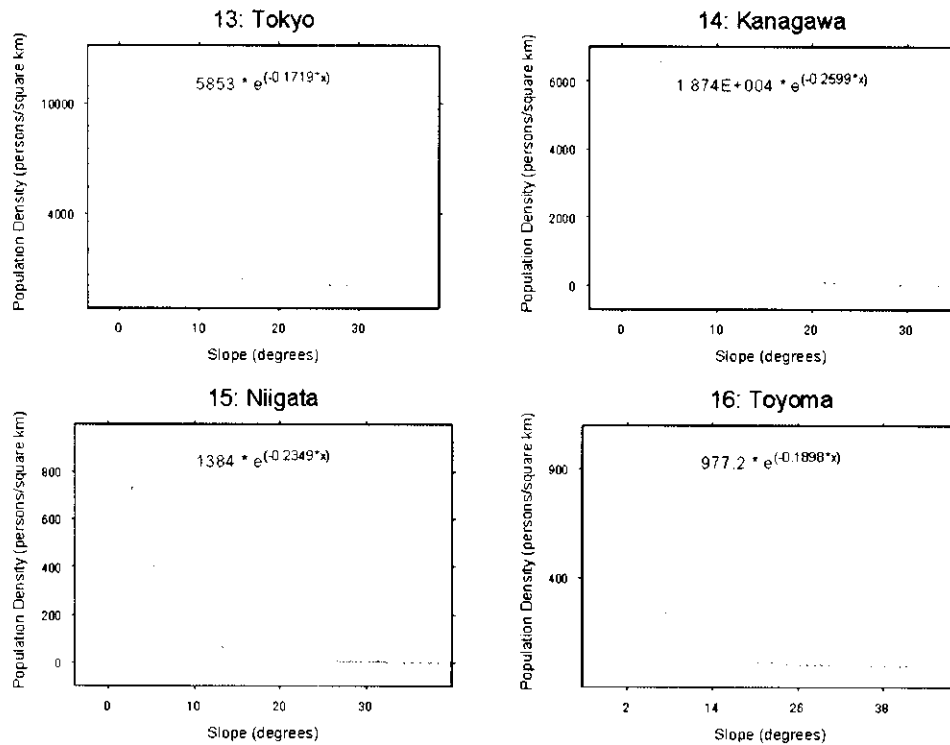


図5 東京・神奈川・新潟・富山における傾斜と人口密度との関係と指数関数による回帰

同様の検討を、傾斜と人口密度との関係についても行った。傾斜を独立変数とした場合には、指数関数がべき関数よりも良く適合する傾向がより明瞭であり(図5)、指数回帰の相関係数の二乗値は全て0.8を上回った。そこで、傾斜と人口密度との関係も指数関数で近似できると仮定する。なお、傾斜と人口密度との関係を回帰した際には、低標高における残差が正の場合と負の場合が共に存在し(たとえば図5の東京と新潟)、両者の数に大きな偏りはみられない。したがって、指数回帰の妥当性は、標高と人口密度との関係を回帰した場合よりも高いと判断される。

### 3. 地形特性と人口密度との関係の類型化

前記のように、指数関数を用いて標高と人口密度との関係を回帰した際の残差は、低標高の領域で正になる傾向がある。この残差の大きさに基づいて都道府県を類型化した。指数関数の適合時には、従属変数(ここでは人口密度)の対数値を用いて回帰を行う。そこで、最低標高付近における人口密度の対数値の残差を求め、この値がa) 1以上、b) 0.5~1、c) 0.5未満という3つのタイプに都道府県を区分した。図6~図8は、これらのタイプに属する道と県の例を示している。なお、図6~図8にみられる標高が高い領域における大きな残差は、人口密度がゼロに近いと僅かな値の差が対数では大きく表されることを反映しており、残差の絶対値は非常に小さい(図3参照)。したがって、類型化の際には標高が高い領域の残差は無視して差し支えない。

# 1: Hokkaido

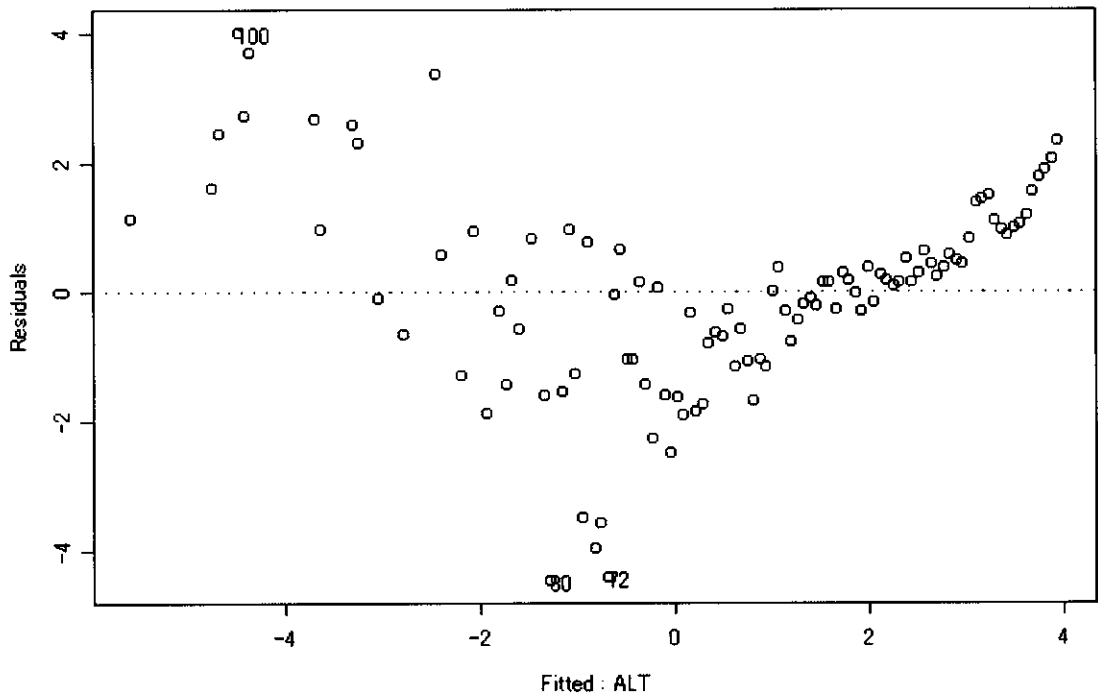
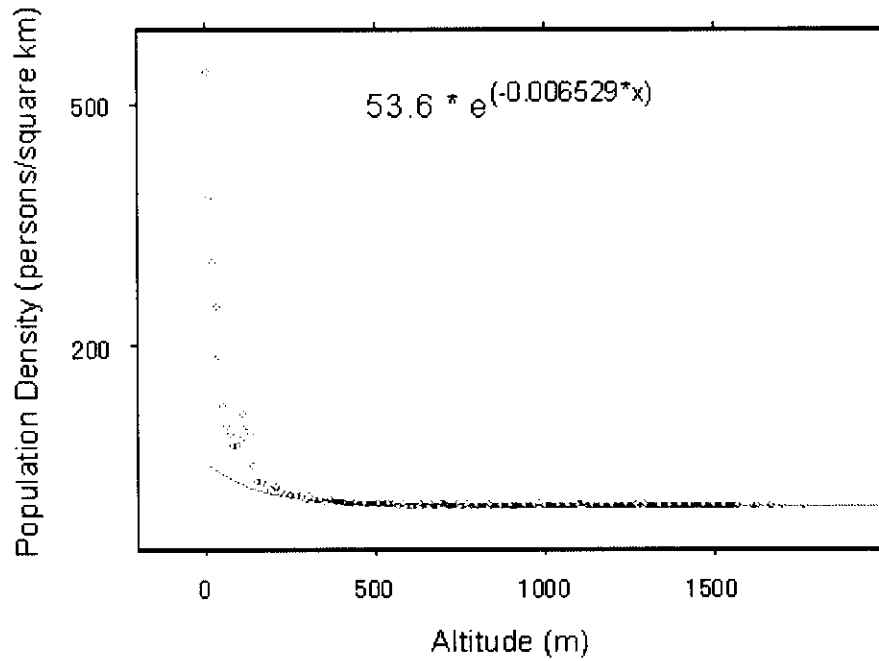


図6 北海道における標高と人口密度との関係と指数関数による回帰(上)と回帰線の適合度を示す残差分布図(下). 残差分布図のY軸(Residuals)は対数値の残差を表し, X軸(Fitted: ALT)は回帰線による人口密度予測値の大小に対応する(右側が低標高となる).

最低標高付近における残差は約2である(タイプ a).

### 35: Yamaguchi

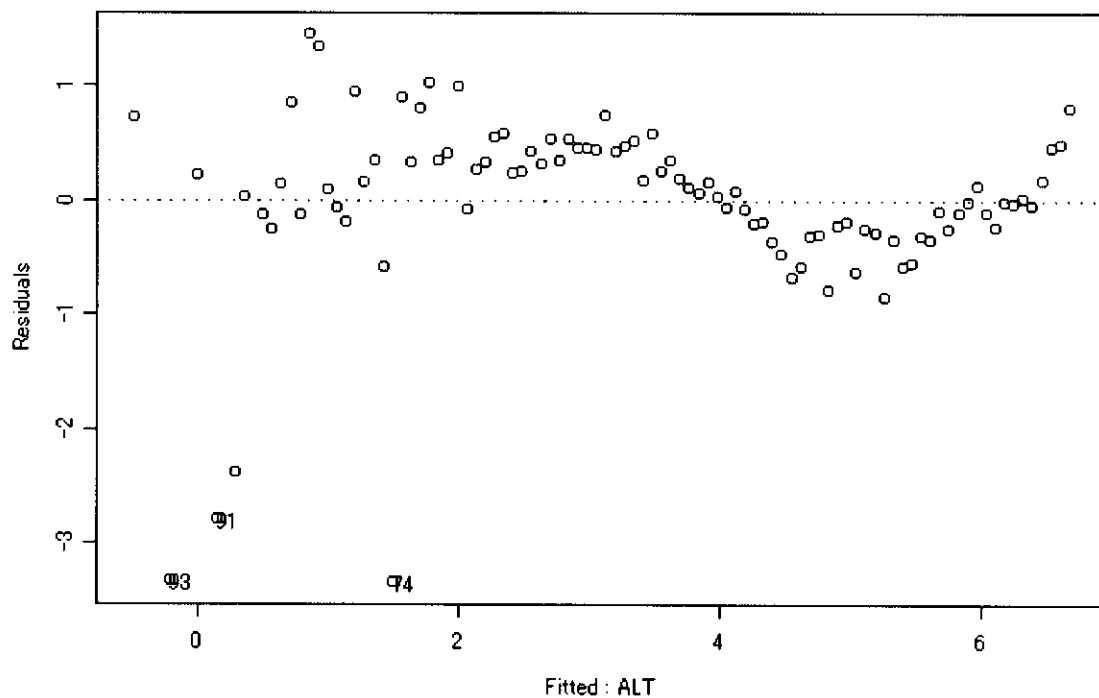
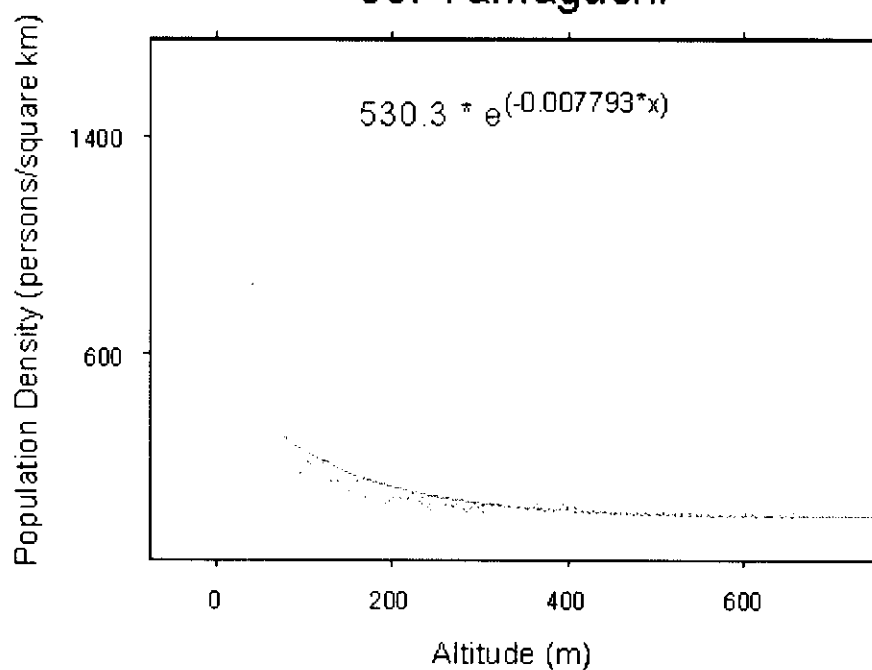


図7 山口県における標高と人口密度との関係と指数関数による回帰(上)

およびその残差分布(下)

最低標高付近における残差は0.5~0.8である(タイプb).



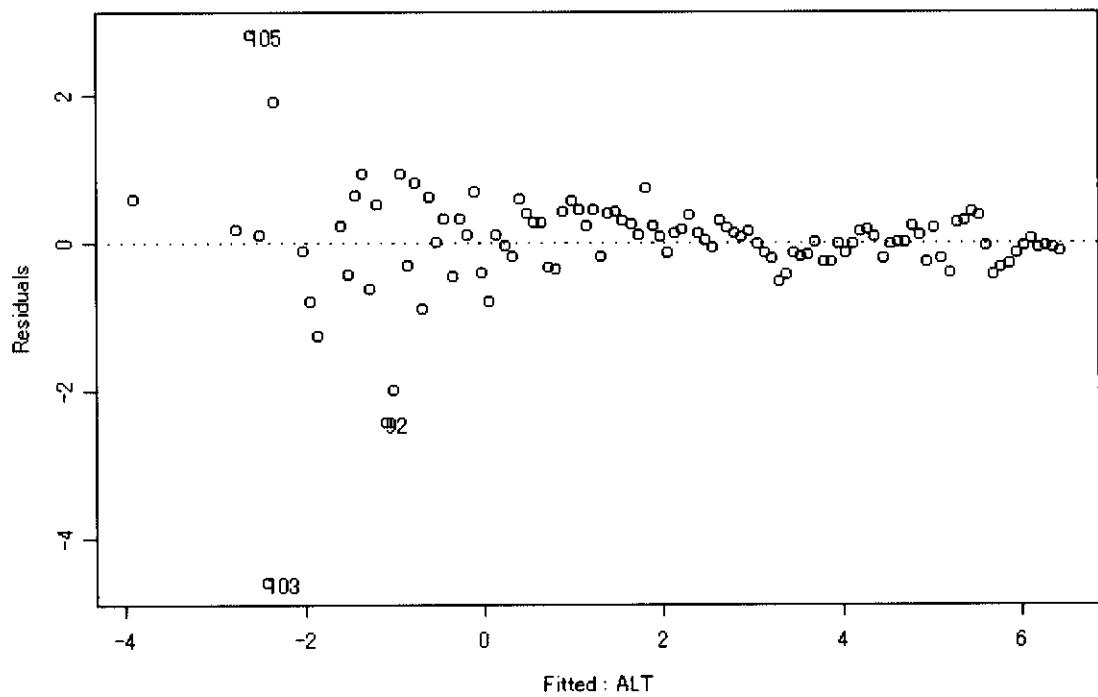
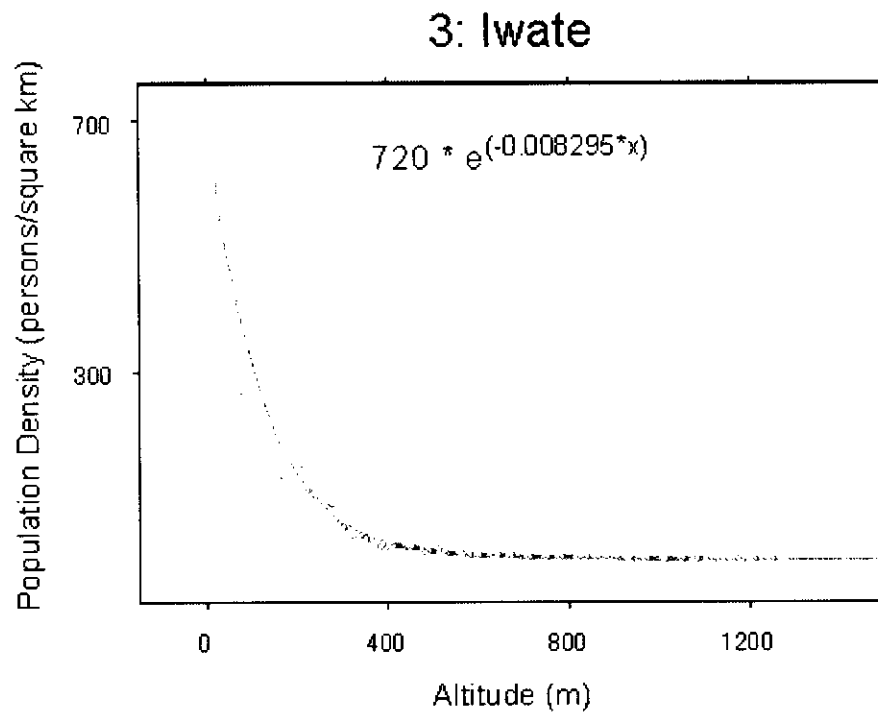


図 8 岩手県における標高と人口密度との関係と指数関数による回帰(上)  
 およびその残差分布(下)  
 最低標高付近における残差はほぼ 0 である(タイプ c).

上記の3つのタイプの分布を図9に示した。指数関数の適合度が高いタイプcの分布が、南東北～関東甲信～近畿にまとまっていることがわかる。この中には、海に全く面していない8県(栃木、群馬、埼玉、山梨、長野、岐阜、滋賀、奈良)が全て含まれている。

傾斜と人口密度との関係を表す回帰線も、傾斜が小さい範囲では実測値と系統的にずれる場合がある(図5)。そこで、i)低傾斜における回帰線の残差が系統的に負になるもの、ii)低標高における残差に系統性がなく、回帰の適合度が高いもの、iii)低傾斜における回帰線の残差が系統的に正になるもの、の3タイプに都道府県を区分した。図10～図12は、これらのタイプに属する都道府県の例を示している。なお、標高の場合と同様に、傾斜が大きい領域での残差は無視して差し支えない。

上記の3つのタイプの分布を図13に示した。低傾斜で正の残差がみられるタイプiは、東北地方南西部～関東地方西部～中部地方東部にまとまっており、紀伊半島～四国でも頻度が高い。一方、低傾斜で負の残差がみられるタイプiiiは、主に中国～九州に集中する傾向がある。

#### 4. 回帰係数の相違

上記の検討では、各都道府県の人口密度と標高・傾斜との関係に、個別の指数関数を当てはめた。これは、ある地域内の人口分布と地形との関係が、指数関数で近似されるという仮定に基づく。一方、回帰式の係数は都道府県ごとに異なり、これも地域性を表す指標とみなされる。そこで、各県における下記の回帰式の係数  $m$ ,  $n$  をプロットした図を作成した(図14, 図15)。

$$PD = m e^{nx}$$

ただし、 $PD$  は人口密度(人/km<sup>2</sup>)、 $x$  は標高(m)もしくは傾斜(degrees)。

標高と人口密度との関係を回帰した際の係数は、 $m$  が約 2000 以下、 $n$  が-0.005～-0.01 に集中する傾向があるが、千葉、東京、神奈川、山梨、長野、大阪、沖縄の7都府県がこの傾向から顕著にはずれる(図14)。一方、傾斜と人口密度との関係を回帰した際の係数は、通常  $m$  が 4,500 以下、 $n$  が-0.22～-0.12であるが、北海道、青森、東京、神奈川、新潟、大阪、和歌山、沖縄の8都道府県の値は、この範囲に含まれない(図15)。また、図15によると、上記した通常値の範囲内の  $m$  と  $n$  は、 $m$  が小さく  $n$  が大きいグループ( $n = -0.16 \sim -0.12$ )と、 $m$  がやや大きく  $n$  が小さいグループ( $n = -0.22 \sim -0.16$ )とに二分される傾向がある。

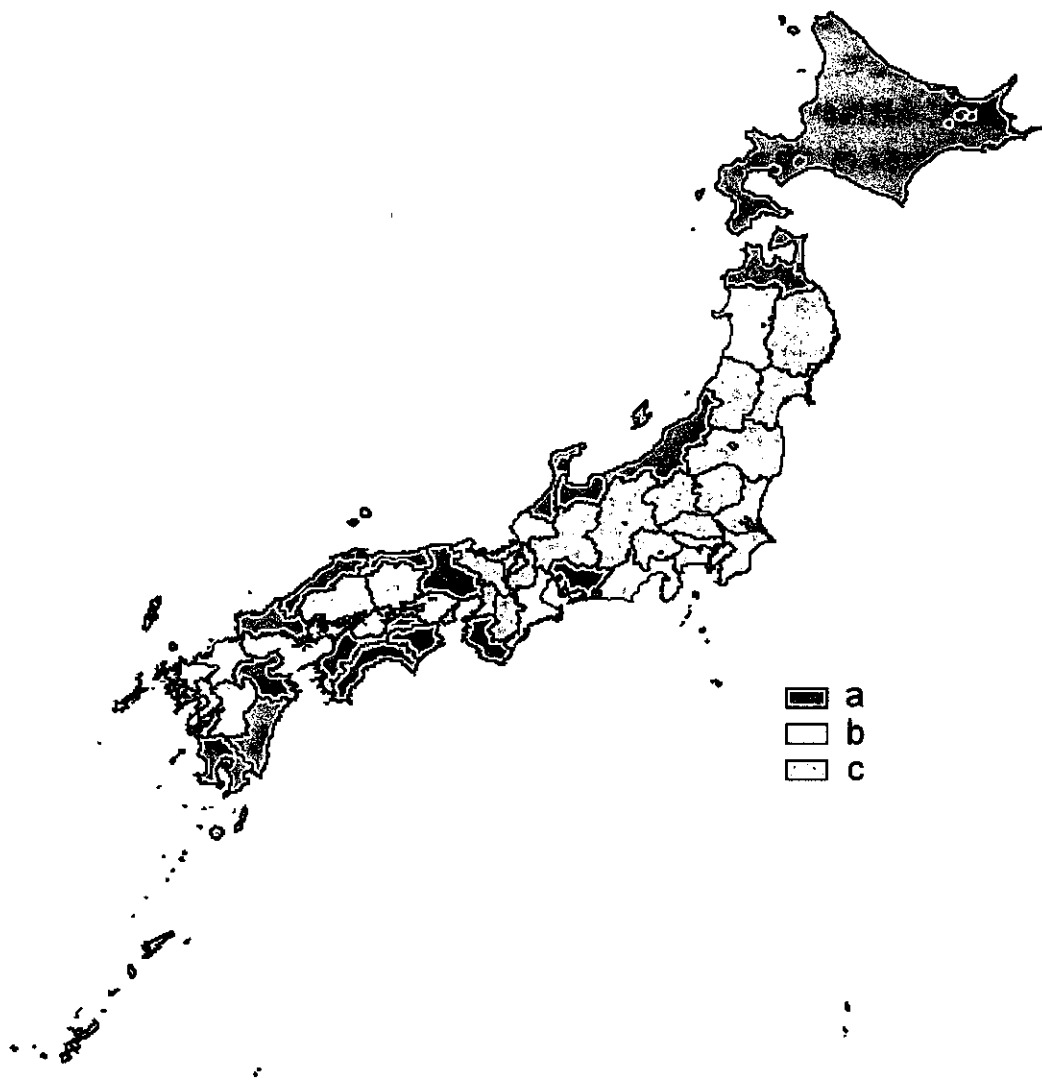


図9 標高と人口密度との関係にみられる3タイプの分布

### 15: Niigata

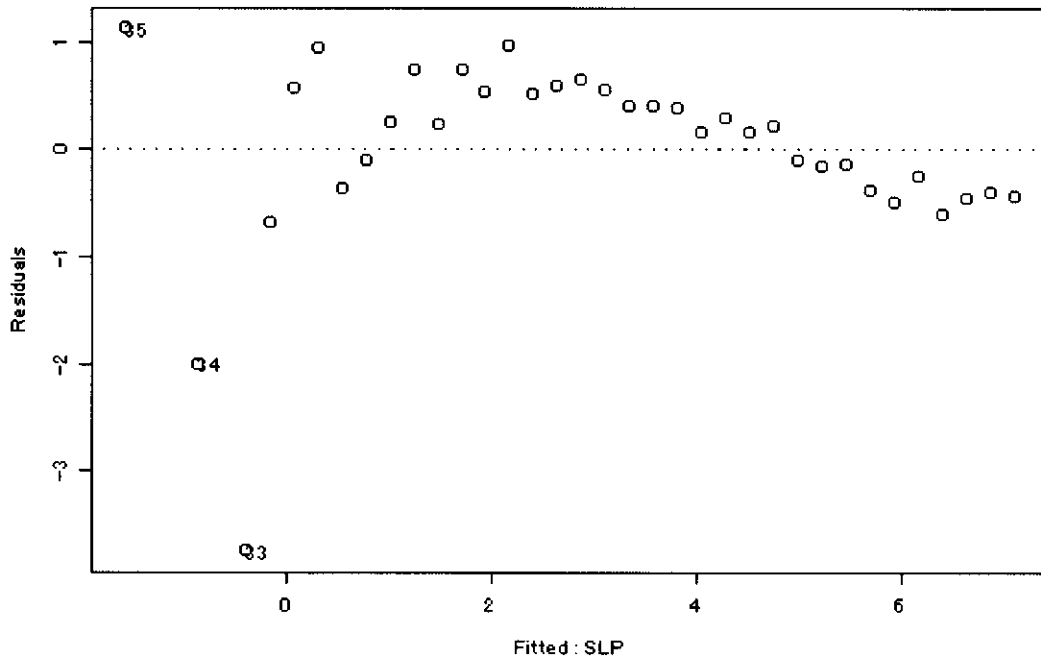
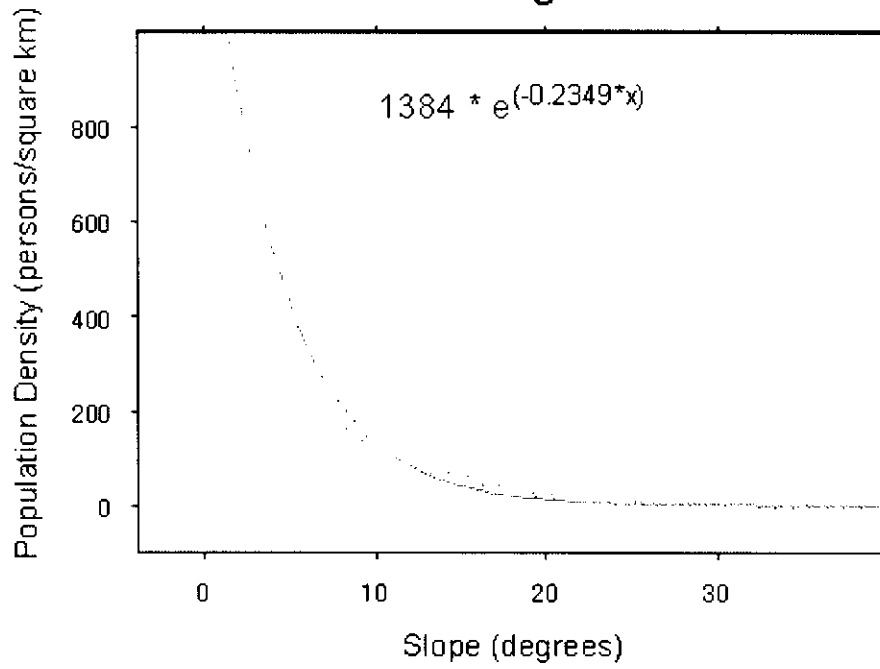


図 10 新潟県における傾斜と人口密度との関係と指数関数による回帰(上)および回帰線の適合度を示す残差分布図(下). 残差分布図の Y 軸(Residuals)は対数値の残差を表し, X 軸(Fitted: ALT)は回帰線による人口密度予測値の大小に対応する(右側が低傾斜に対応).

低傾斜では実測値が予測値よりも低くなる(タイプ i).