

輪郭線のデフォルメにおけるメンタルイメージの保存条件

三末 和男^{1,a)}

概要: メンタルイメージを保存したデフォルメの自動化を目指して、デフォルメのひとつの手法である簡略化を利用して、メンタルイメージが保存される条件を探すための実験を実施した。その実験は、表現対象として都道府県を題材にして、実験参加者に、デフォルメしたそれらの輪郭形状から、どの都道府県かを識別できるかや、表している都道府県のイメージに合うかを問うものである。Web によるオンライン形式で実施した実験により、1 都道府県あたり平均 26~27 名の回答結果が得られた。実験結果の分析から、都道府県の輪郭は局所的な特徴を備えるものとそうでないものに分けられることが分かった。さらに局所的な特徴としては、面積比が一定以上、頂点の角が一定以下の「つの」がメンタルイメージの保存に影響していることが分かった。

1. はじめに

視覚的表現においてデフォルメが用いられることは少なくない。たとえば地図を描く際には、様々な手法が利用され、縮尺に適したデフォルメが行われる。デフォルメにより、表示メディアの解像度に合わせて詳細度を低減することで、処理時間や記憶領域を節約することができる。また、人の知覚能力に合わせて詳細度を低減することで、主要な情報の理解を効率化する効果もある。地図学では、このような表現技法は「総描 (generalization)」とよばれ、様々な操作が考案されている [1], [2]。「簡略化 (simplification)」とはそのようなデフォルメ操作の一種である。

デフォルメされた図形が元の形状から大きく乖離すると、元の図形が表すものを想起できなくなる。ここでは、元の図形が表すものを「対象概念」とよぶことにする。デフォルメの代表として似顔絵があるが、似顔絵から想起するのは、画像としての本人の顔の詳細な特徴ではなく、人物そのものである。対象概念は似顔絵の場合の人物に相当する。似顔絵も大きくくずれると (もちろん、うまい下手の影響が大きい) 対象となる人物が想起できなくなる。

筆者らがここで取り組む技術的課題は、アルゴリズム的にデフォルメを施す際に、どの程度までデフォルメしても対象概念を想起できるか、あるいはどの程度までデフォルメすると対象概念を想起できなくなるかという条件を、把握することである。

それらが分り、条件として定式化できれば、対象概念と

の結びつきを維持したデフォルメを自動的に行うことが可能になる。特に、元の図形、閲覧者、閲覧状況によって適切なデフォルメが異なるとしたら、適切なデフォルメを自動的に判断できる機能は有用である。

実体に対してそれらを人の頭の中に構築したものを「メンタルモデル」や「メンタルマップ」とよぶが、ここでは、実体である対象概念が図形に関連するものであることから「メンタルイメージ」とよぶことにする。つまり研究の目的は、デフォルメにおけるメンタルイメージの保存条件を探ることである。

筆者らはこのような目的を設定し、図形の簡略化におけるメンタルイメージの保存条件を探るための実験を実施した。対象概念を都道府県とし、図形としては都道府県の輪郭形状を利用した。

2. 関連研究

Shea・McMasterによると、総描の方法には、simplification (簡略化)、smoothing (平滑化)、aggregation (集約)、amalgamation (融合)、merging (併合)、collapse (分解)、refinement (除去)、typification (類型化)、exaggeration (誇張)、enhancement (強調)、displacement (転移) などがある [1]。本研究で利用する簡略化はそのような操作の一つであり、形状を表現する折れ線あるいは多角形の頂点のうち重要でないものを削除する操作である。簡略化により、より少ない頂点で対象物を表現できる。

すでに様々な簡略化のアルゴリズムが提案されているが、Visvalingam-Whyatt の Line Simplification は、ある頂点に関して両隣の頂点とで構成される三角形の面積をそ

¹ 筑波大学
University of Tsukuba
a) misue@cs.tsukuba.ac.jp

の頂点の重要度とする [3]。輪郭形状を対象としたデフォルメ操作として、Buchin らは、エッジ移動を用いて領域の面積とトポロジを保存する手法を提案している [4]。また、van Goethem らは領域の面積を保存しつつ輪郭線を円弧で表す手法を提案している [5], [6]。

デフォルメが人に見せることを目的としているという点では、ユーザスタディが欠かせない。van Goethem らは [5], [6] ユーザスタディにより、直線を利用する手法と彼等が提案する円弧を利用する手法との比較評価をしている。ただし、どのような特徴がメンタルイメージの保存に貢献するかについての知見を得るには至っていない。

3. 実験の設計

3.1 デフォルメのアルゴリズム

デフォルメとしては簡略化を採用し、簡略化のアルゴリズムとしては、実装の容易な Visvalingam-Whyatt の Line Simplification [3] を使用した*1。

3.1.1 簡略化アルゴリズム

Line Simplification を使用して、以下の手順で輪郭線（多角形）の簡略化を行った。まず、対象図形を多角形で表しておく。そして、下記の (1)-(2) を繰り返す。

- (1) 各頂点において隣接する二つの頂点とともに構成される三角形の面積を求める。
- (2) 面積が最小の頂点を削除する。

終了条件は別途定める必要がある。たとえば、与えられた頂点数の図形を求めるのであれば、指定された頂点数になったところで終了とすればよい。図 1 は、このアルゴリズムにより茨城県の輪郭線を簡略化した例である。

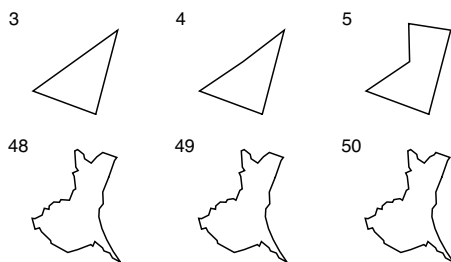


図 1 簡略化の例（茨城県の輪郭、左上の数字は頂点数）

3.2 対象概念

対象概念は都道府県とした。デフォルメの対象としては様々なものが考えられるが、メンタルイメージの保存条件を探る実験の対象としては、実験参加者が、対象概念およびその概念に付随する図形を知っている必要がある。そこで選んだのが都道府県である。なお、日本には 47 都道府県があるが、多くの人は、そのすべての形状を覚えていな

いと思われる。そこで、図形から名前を想起できる都道府県を対象に実験を行うことにした。想起できる都道府県は人によって異なるため、実験参加者ごとに遂行すべき課題は異なる。

3.3 制限事項

- 輪郭を利用: 都道府県のような地理的な図形で、デフォルメの対象となるものとしては、路線図のような骨格状の図形もあるが、ここでは輪郭線だけを利用する。
- 中空は利用しない: 湖の周囲は内部の輪郭線として表されるが、ここでは外側の輪郭線だけを利用し、内側の輪郭は使用しないことにした。
- 大きさは利用しない: 都道府県の輪郭が表示領域に適合するよう拡大して表示する。つまり都道府県毎に異なる尺度で表示する。
- 位置関係は利用しない: 各都道府県の輪郭は単独で表示する。近隣の都道府県との位置関係や、日本全体における都道府県の位置などは読み取れない。

3.4 課題

1 人の実験参加者には 3 種類の課題を実施してもらう。どの実験参加者も課題 1、課題 2、課題 3 の順に取り組む。

3.4.1 課題 1

課題 1 では、都道府県の輪郭線をそれぞれ提示し、都道府県名を答えてもらう。47 都道府県はランダムな順に提示される。解答は、47 都道府県名と「わからない」が記されたボタンのどれかをクリックすることで行う。提示する輪郭線は表示画面の解像度においておおよそ十分な詳細度を備えるものである。課題 1 の目的は、実験参加者が、対象概念およびその概念に付随する図形を知っていることを確認することである。この課題では、実験参加者の知識を調べることが目的であり、新たな知識を提供することは目的としていない。そのため、解答に対して、正解・不正解を表示するが、不正解の場合には不正解であることだけを表示し、正解の都道府県名は表示しない。

3.4.2 課題 2

課題 2 では、課題 1 で正解した都道府県だけを対象に行う。簡略化した輪郭を徐々に精緻化して提示し（つまり、3.1 節で説明したアルゴリズムが簡略化する向きとは逆向きの順序で提示し）、分ったところで都道府県名を答えてもらう。課題 2 の目的は、識別可能な簡略化の段階を調べることである。そのため、分らないと思われる状態（単なる三角形）から始めて、はじめて分った段階を答えてもらう。この課題では、簡略化した輪郭図形が提示され、画面上の「頂点数を増やす」ボタンをクリックするごとに、輪郭図形の頂点数が増える。1 回のクリックにより基本的には頂点数は 1 増えるが、離島がある場合には、1 回に 3 増えることもある。実験参加者には、それがどの都道府県か

*1 Mike Bostok による解説が <https://bost.ocks.org/mike/simplify/> にある。

分った段階で「回答する」ボタンを押して回答画面に移り、都道府県名を答えてもらう。不正解の場合には、正解するまで頂点を増しながら解答を繰り返すことができるが、回答画面の「分からない」ボタンを押して解答を放棄することもできる。

3.4.3 課題 3

課題 3 では、課題 2 で正解した都道府県だけを対象に行う。課題 2 で正解した頂点数から始めて、輪郭を徐々に簡略化して提示し（つまり、課題 2 とは逆方向の、3.1 節で説明したアルゴリズムが簡略化する向きの順序で提示し）、自分の持つその都道府県のイメージから乖離した段階を答えてもらう。課題 3 の目的は、イメージが乖離する簡略化の段階を調べることである。そのため、課題 2 で分った状態から始めて、さらに簡略化を進め、自分のイメージと合わなくなった段階を解答してもらう。この課題では、簡略化した輪郭図形が提示され、画面上の「頂点数を減らす」ボタンをクリックするごとに、輪郭図形の頂点数が減る。1 回のクリックにより基本的には頂点数は 1 減るが、離島がある場合には、1 回に 3 減ることもある。実験参加者には、提示されている輪郭が、その都道府県のイメージに合わなくなったら、「イメージに合わなくなった」ボタンを押してもらう。なお、課題 2 で正解できたものの、イメージには合わないということもあり得るため、最初に表示された時点で、イメージに合わなければ、「頂点数を減らす」を押さずに「イメージに合わなくなった」を押してもらう。

4. 実験の実施

実験は、COVID-19 への対策として、すべて Web によるオンライン形式で実施した。本実験の実施は筑波大学システム情報系の研究倫理審査の承認を受けたものである*2。

4.1 実験用プログラム

実験をすべて Web によるオンライン形式で実施できるように、実験用のプログラムは、TypeScript と PHP で作成した。簡略化を行い、画面にデフォルメ画像を表示する部分には、TypeScript を使用した。回答画面やその他の画面遷移には PHP を使用した。実験結果は、回答に関する情報だけがファイルとしてサーバー側に蓄積されるようにした*3。

4.2 データの準備

地図データは国土交通省が提供する国土数値情報ダウンロードサービス*4で入手した。JPGIS2.1(GML) 準拠で、

*2 審査承認番号 2020R381

*3 正確には、当初はクライアント側にファイルが作成され、それを実験への参加の承諾確認を兼ねてサーバー側にアップロードしてもらう方式にしていた。後述する 2021 年 1 月の依頼分が、この方式による実施である

*4 <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

シェープファイル形式に変換した 2019 年 1 月 1 日時点のデータをダウンロードして利用した。データはそのままで市町村の境界も含まれているため、市町村を統合することで都道府県の輪郭線を作成した。輪郭線の作成には、公開されているツール `geojsontools`*5を使用した。

4.3 実験用環境

実験環境はすべて実験参加者の Web ブラウジング環境を利用した。ディスプレイのサイズや解像度についての制約は設けていない。

4.4 実験参加者

Slack、Facebook、LINE 等を使用して、実験への参加を依頼した。いずれも公開範囲は把握できているが、依頼文の転送は禁じていないため、その観点では依頼の公開範囲は不明である。なお、実験参加者の個人情報は収集していない。

4.5 実験期間

2021 年の年始から開始し、実験参加者への依頼は、大きく、1 月と 7 月の 2 回に分けて実施した。

5. 実験結果

2021 年 1 月の依頼で 19 名の回答が集まり、さらに 2021 年 8 月上旬までに、計 47 名の回答が集まった。47 都道府県の回答結果を混ぜると、課題 2 と課題 3 では、それぞれ延べ 1,280 人と 1,227 人分の回答が得られた。

回答における最小頂点数は課題 2 と課題 3 のどちらも 3 であった。つまり、実験参加者によっては、三角形の状態ですべて都道府県を識別できたということであり、三角形にまで簡略化してイメージから乖離したと回答したということである。最大頂点数は 221 と 185 であったが、これらの数値は誤操作あるいはそれに類するものと考えられる。どの都道府県についても、その程度の頂点数になると、頂点を増減されても画面上ではほとんど変化がない。そのため、221 に増えたことで識別できたとは考えにくい。また同様の理由で、185 に減ったことで、イメージから乖離したとも考え難い。

5.1 識別率と乖離率

課題 2 に関して、頂点数 n までで回答できた人数比を「識別率」とよぶことにする。識別率が頂点数 n で $x\%$ ということは、頂点数が n よりも大きい簡略化であれば $x\%$ の人がそれが表す都道府県を識別できたということである。

課題 3 に関して、頂点数 n までで回答した人数比を「乖離率」とよぶことにする。乖離率が頂点数 n で $x\%$ という

*5 <https://github.com/givemegohan/geojsontools>

ことは、頂点数 n よりも小さい簡略化にすると $x\%$ の人にとって都道府県のイメージから乖離するということである。

47 都道府県の回答結果を混ぜた状態で、識別率と乖離率を調べたところ、頂点数 50 で、それぞれ 96.2% と 0.7% であった。識別率としては十分に大きく、乖離率としては十分に小さい数値であると考え^{*6}、頂点数 50 以下における簡略化を対象に分析を進めることにした。ちなみに、簡略化における頂点数 50 近辺の違いは図 1 に示した通りほとんどない。このように、一定頂点数以上の回答は無回答（不正解）として扱うことで、先に述べたような誤操作等による回答をある程度排除できる。

6. 実験結果の分析

以降の分析では、頂点数 50 以下において得られた回答だけを対象にする。

6.1 頂点数と回答率の関係

図 2 は、課題 2 における都道府県ごとの頂点数と回答率の関係を棒グラフで表したものである。都道府県コード^{*7}の順に、左上から右下に向って棒グラフを並べている。各棒グラフは、横軸が頂点数を表し、棒の長さがその位置の頂点数における回答率を表している。図 3 は、同様に課題 3 における都道府県ごとの頂点数と回答率の関係を棒グラフで表したものである。

6.2 回答の集中とばらつき

図 2 や図 3 を見ると、少しの長い棒があるものと短い棒がたくさんあるものがあることが分る。それらの代表（都道府県コードの若いもの）を図 4 と図 5 に示す。

6.3 特徴のある都道府県

課題 2 の結果を表す図 2 に、少しの長い棒があるということは、その棒に対応するひとつの頂点の追加が、多くの人々が識別するために貢献したということであり、その追加された頂点は特徴的な頂点と言って良いであろう。課題 2 の結果から、30% 以上の人々が識別できる特徴を備える都道府県は、東京都 (47.6%)、青森県 (34.9%)、茨城県 (32.5%)、新潟県 (30.2%) であった。

また同様に課題 3 の結果からも、その都道府県のイメージを失う要因となった特徴に関する頂点を考えることができる。その頂点は、逆に言うと、その都道府県のイメージを構成する重要な特徴に関するものと言える。課題 3 の結果から、50% 以上の人にその都道府県をイメージさせる特徴を備える都道府県は、東京都 (69.2%)、茨城県 (65.0%)、

愛知県 (63.2%)、北海道 (54.5%)、群馬県 (52.0%)、青森県 (51.2%)、石川県 (50.0%)、鳥取県 (50.0%) であった。

課題 2 から導かれる識別率については、30% 以上の都道府県が 4 しかないのに対して、課題 3 から導かれる乖離率については、50% 以上の都道府県が 8 ある。このことは、ある特徴によって、どの都道府県かを気付く（識別できる）までには至らなかったものの、一旦どの都道府県かに気づいた後は、多くの人が、同じ特徴を、その都道府県をイメージする主要な特徴として捉えているということを示唆している。

6.4 特徴の把握

各頂点が出現あるいは消滅したところで図形の変化としては何が起っているかを把握するために、図 6 や図 7 のような、簡略化の（逆）段階ごとに回答率を明度として重ねた図を作成し、それらを観察した。背景の明るさが回答の集中度を表している。マゼンタの三角形はその頂点数になったときに増えた領域、青の三角形はその頂点数になったときに減った領域を表している。

図 6 は青森県の図で、図 4(a) における左側の 2 本の棒に対応する図形の背景が明るく示されている。第 1 行左から 3 番目（頂点数 5）から、4 角形の上辺が窪んで、二つの山（形）が出現したことが分る。同じく 4 番目（頂点数 6）から、右側の山の右側が少し含らんだことが分る。二つの山（形）の出現と、さらに右側の山が膨らむことが、この図形が青森県であることを気付かせることに大きく貢献したということである。

6.5 島が特徴になる都道府県

ところで、図 7 は新潟県の図であるが、第 2 行左から 2 番目（頂点数 14）では佐渡島が出現している。このような離島の出現は識別に少なからず貢献する。頂点数 30 以内で出現する島がある都道府県は、北海道、新潟県、東京都、兵庫県、島根県、香川県、愛媛県、長崎県、鹿児島県、沖縄県の 10 都道府県である。条件を「頂点数 50 以内で出現する」に変えると、愛媛県も含まれる。ただし、頂点数 31 で出現する愛媛県の島は頂点数 28 の段階に比べて面積比で 0.6%（増）のため、識別に大きな貢献はなさそうである。実際のところ、頂点数 31 での回答は 0 であった。

ところで、「頂点数 30 以内で出現する島がある」とまとめたが、これらの中でも、たとえば、東京都の特徴と、新潟県や兵庫県の特徴は大きく異なる。新潟県や兵庫県が、それぞれ佐渡島や淡路島といった、形状や配置に特徴のある（多くの人々が記憶していると思われる）島の出現が識別の切っ掛けになっているのに対して、東京都は、全体の広がり、他の道府県に比べて大きい、もっとも大きい本州内の領域がまず小さい図形として出現する。課題 1 でこ

*6 ここでの、十分に大きい、十分に小さいの基準については、明確な根拠はない。

*7 グラフ中の都道府県名の右側に添えた数字が都道府県コードである。



図 2 課題 2 における都道府県ごとの頂点数(横)と回答率(縦)の関係

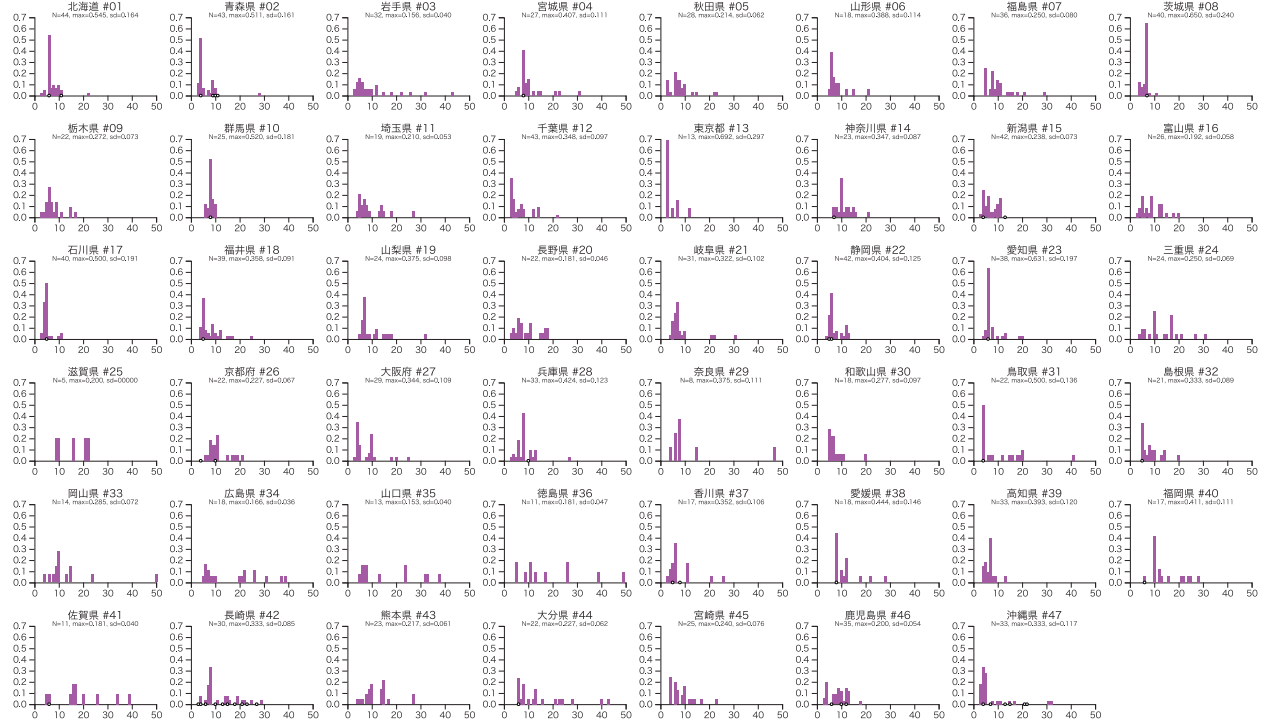


図 3 課題 3 における都道府県ごとの頂点数(横)と回答率(縦)の関係

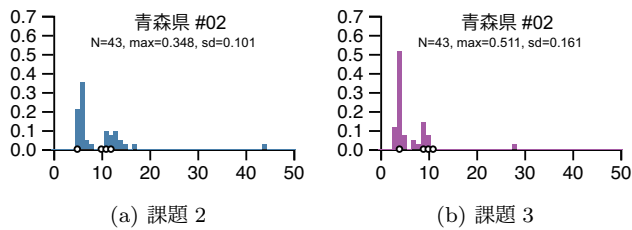


図4 青森県の簡略化における頂点数(横)と回答率(縦)の関係

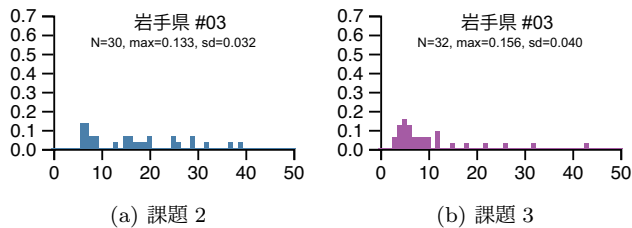


図5 岩手県の簡略化における頂点数(横)と回答率(縦)の関係

のことに気付けば*8、課題2は最初の3三角形が表示された時点で東京都だと気付く。実際47.6% (21名中10名)が、最初の3三角形が表示された段階で、東京都だと答えている。

6.6 都道府県のイメージとなる特徴

簡略化において、乖離率50%以上の頂点がある8都道県を対象に、それぞれ特徴を探ることにした。*9これら、7道県のイメージを構成する特徴は、いずれも「つの」(あるいは「スパイク」)である。図8において色付けした部分が増減したことが、多くの人のイメージに影響している。消滅する頂点は、面積比で4%以上、頂点の角が60°以下の鋭角であるような、三角形を構成する。なお、頂点が消滅する際に、青森県以外の道県では、その頂点と両端の頂点がなす三角形領域(図8で青色部分)が減るが、青森県だけは増える。イメージに重要なつのの消滅という観点では奇異に思えるかも知れないが、青森県の場合には、頂点の消滅により3三角形の領域が増えることで、二つのつのが同時に消滅すると見ることできる。このことは、図6の第1行左から3番目(頂点数5)の段階からも分る。

図2、図3、図4では、横軸上に小さい白丸を描いている*10。この白丸は、対応する頂点が、面積比で4%以上、頂点の角が60°以下の鋭角であるような、三角形を構成することを表している。たとえば、図3の宮城県グラフにも白丸がある。その位置の棒が40.7%であり、50%に足り

*8 3.4.1に書いたように、課題1は新たな知識を提供することを目的にしていなかったが、東京都等に関しては、課題1で提示された地図を見た段階で東京都に関する認識を改めた人も少なくないと考えられる。筆者自身も東京都としては、本州内の領域である埼玉県と神奈川県に挟まれた領域をイメージしていたが、課題1の地図を見て、島しょ部も含めた東京都の概形を(再)認識した。

*9 ちなみに、識別率30%以上の頂点がある4都県のうち、8都道県に含まれない県は、新潟県だけであり、佐渡島の出現が識別に貢献している一方で、佐渡島の消滅はイメージの乖離に影響していない。

*10 岩手県には該当する頂点がないため、図5には白丸が描かれていない。

なかったため、特徴を調査しなかったが、これもつのであり、メージの構築に貢献していると考えられる。

6.7 強い特徴のない都道府県のイメージ

図2や図3において、長い棒のない府県は、課題2においては、頂点数の増加とともに徐々に識別率が高まり、課題3においては、頂点数の現象とともに徐々に乖離率が高まる。形状に関しては、多くの人に共通する特徴に乏しいと言える。実験で使用したLine Simplificationでは、このような府県においても、頂点数を15あたりまで減らしても、乖離率はおおむね30%程度に抑えられそうである(図9参照)

7. 考察

メンタルイメージを保った簡略化を自動的に行えるかという観点では、今回の実験で使用したLine Simplificationを使うのであれば、頂点数が15あたりを目安として簡略化を行えばよさそうである。これにより、70%程度*11の人のイメージには合ったデフォルメになる。図10は頂点数15に簡略化した47都道府県の輪郭である。

その一方で、局所的な特徴であるつのを活かすことができれば、さらに頂点数を減らしつつも、特徴を残したデフォルメがつけると期待できる。

ただし、今回の実験で使用したVisvalingam-WhyattのLine Simplificationは、頂点とその両隣の頂点が成す三角形の面積だけを削除の判断に利用していることから、特徴的なつのを削除してしまう危険性がある[7]。そのため、特徴的なつのを活かすには、別のアルゴリズムを採用する、あるいはそのようなアルゴリズムに改造する必要がある。

また、局所的な特徴に関しては実験結果から以下のような性質も読み取れるため、さらに詳細な検討が必要である。

- 影響の少ないつのもある：福岡県、佐賀県などは、頂点数の比較的少ない段階に、条件に合うつのがあるが、これらはメンタルイメージにあまり影響していないようである。
- つの条件にあてはまらない特徴がある：神奈川県グラフにある頂点数7のつののは、回答率は8.7%であり、あまり影響していない。むしろ、白丸がついていない頂点数10の方が34.8%で影響が大きい。ただし、この頂点の構成する角は65.7°である。同様に白丸はないが、比較的長い棒に対応する頂点を調べると、山梨県の頂点数7が67.2°、高知県の頂点数7が68.3°、福岡県の頂点数10が71.9°であり、60°という条件を緩めれば、これらもつのに含まれる。
- 「くびれ」も影響をおよぼす：岐阜県には32.3%の棒があるが、これは簡略化の向きで考えると、つのの消滅

*11 乖離率30%より

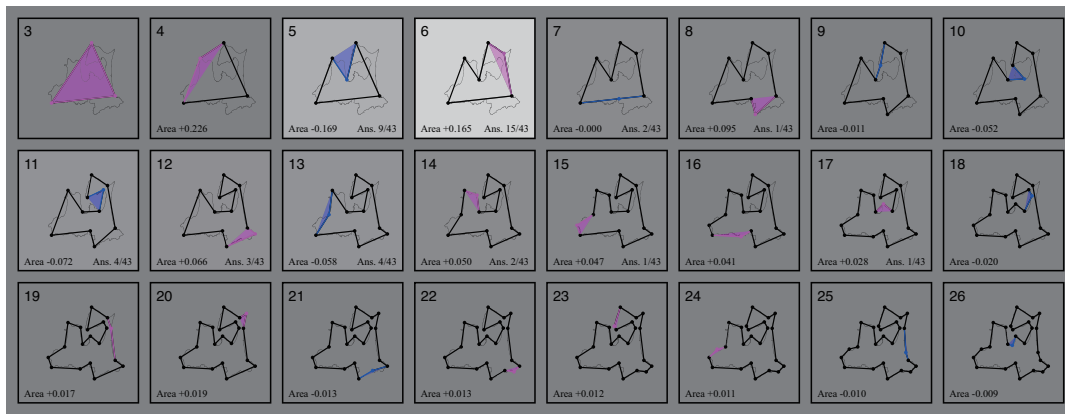


図 6 青森県における簡略化の段階と回答率の関係

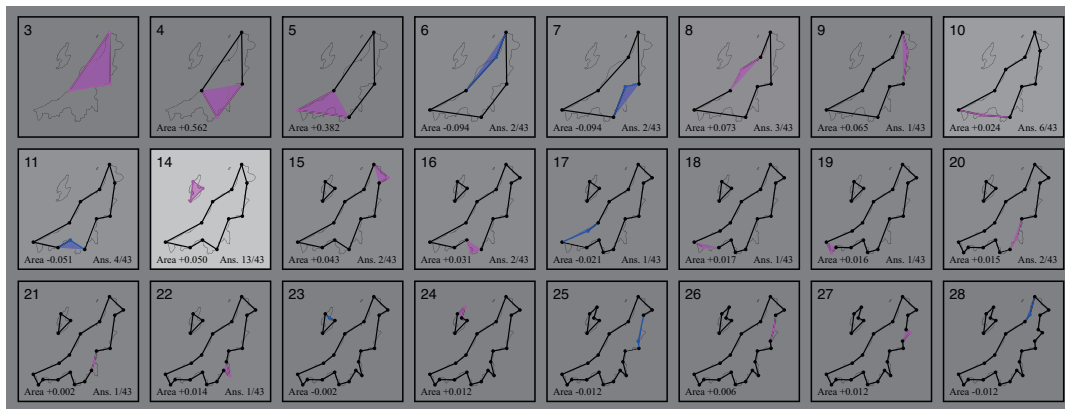


図 7 新潟県における簡略化の段階と回答率の関係

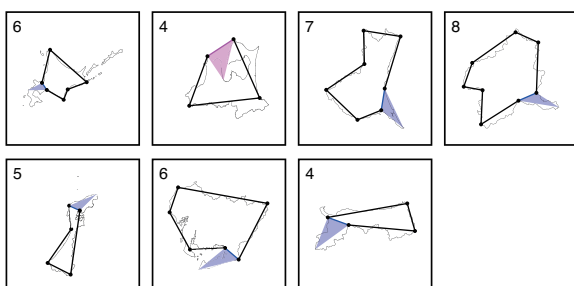


図 8 回答率の高い頂点を持つ 7 道県にある「つ」

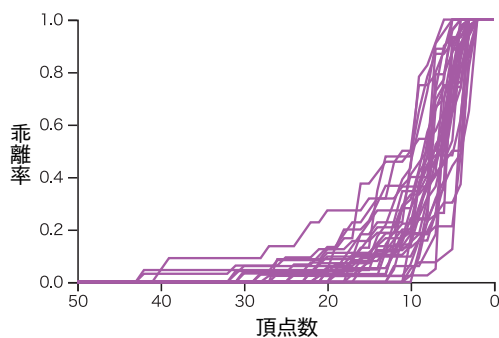


図 9 課題 3 の結果からみる乖離率 (サンプル数 20 以上)

ではなく、「くびれ」の消滅である。青森県の頂点数 4 も、「くびれ」の消滅と考えることができる。ただし、

青森県のくびれは 59.2° であるのに対して、岐阜県のくびれは 143.3° と、鈍角である。

ところで、そもそも、これらは都道府県の輪郭形状だけを対象にした分析結果であるため、上記の特徴を考慮して緻密な条件を設定したとしても、都道府県の輪郭形状に特化した条件になりかねない。他の種類の形状においても同様の結果になる、つまり同様の条件が得られるという保証はない。一般的な知見を得るためには、都道府県の輪郭形状以外を題材にした、実験を試みることも必要であろう。

8. まとめと今後の課題

メンタルイメージを保存したデフォルメの自動化を目指して、デフォルメのひとつの手法である簡略化を利用して、メンタルイメージが保存される条件を探すための実験を実施した。表現対象として都道府県を題材に、デフォルメしたそれらの輪郭形状から、どの都道府県かを識別できるかや、表している都道府県のイメージに合うかを問う実験を実施した。実験結果の分析から、都道府県の輪郭は局所的な特徴を備えるものとそうでないものに分けられることが分った。さらに局所的な特徴としては、面積比で 4% 以上、頂点の角が 60° 以下の「つ」がメンタルイメージの保存に影響している可能性があることが分った。ただし、ここ

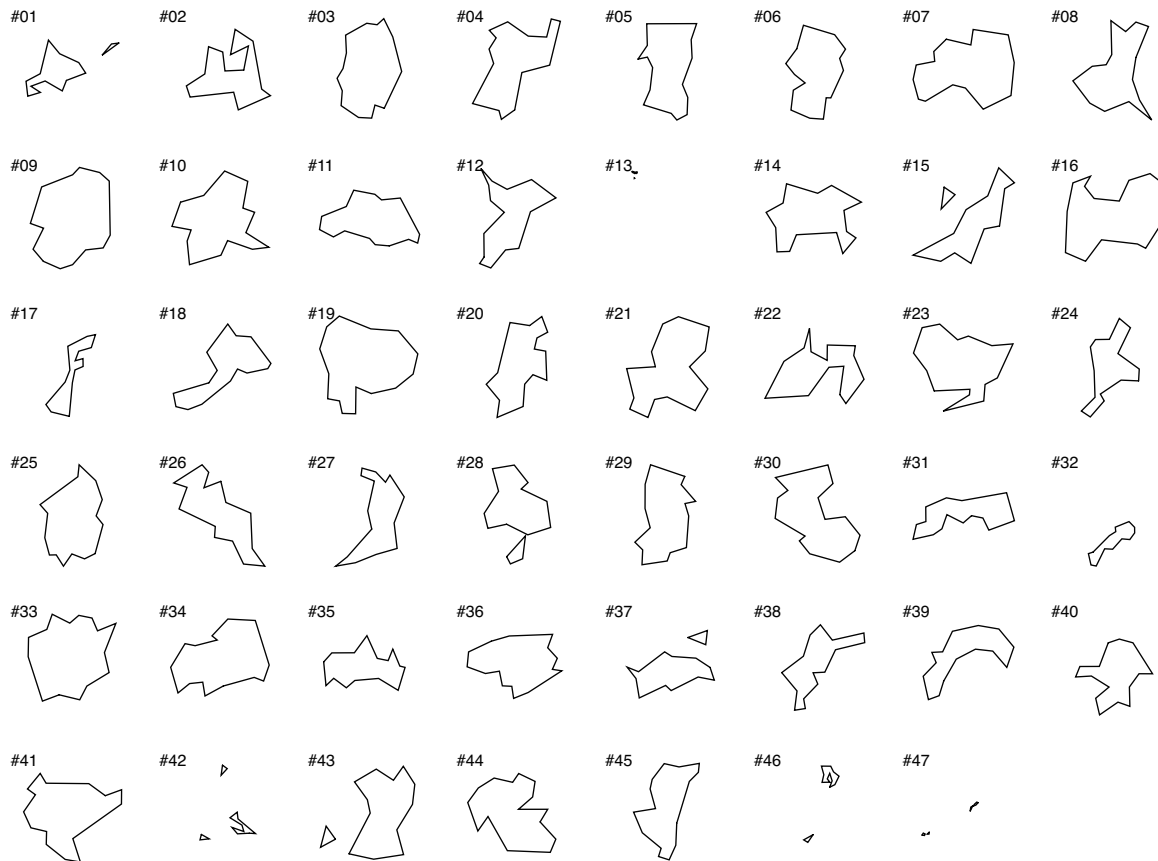


図 10 頂点数 15 に簡略化した 47 都道府県の輪郭

で示したつの条件である、「4%」、「60°」については、まだ検討の余地がある。また、そもそも、これらは都道府県の輪郭形状だけを対象にした分析結果であるため、今後は他の概念を対象とした実験を試みることも必要であろう。

謝辞

技術調査および初期の実験用プログラムの実装をした松山莉紗さん、Web での実験環境を開発した新貝力哉さん、スパイク的な形状の重要性を示唆した山縣開登さん、実験参加者への依頼をしてくれた鈴木瑠夏さん、そして本研究テーマを進めるにあたり議論に参加してくれた筑波大学ビジュアライゼーションとインタラクティブシステム研究室のメンバーに感謝します。また、研究の進め方や実験結果のまとめ方において相談にのっていただいた会津大学の高橋成雄教授に感謝します。本研究は JSPS 科研費 JP19H04120 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] K Stuart Shea and Robert B McMaster. Cartographic generalization in a digital environment: When and how to generalize. In *Proceedings of Auto-Carto 9*, pp. 56–67, 1989.
[2] 高阪宏行. 地理情報技術ハンドブック. 朝倉書店, 2002.

[3] Maheswari Visvalingam and James Duncan Whyatt. Line generalisation by repeated elimination of the smallest area. CISRG Discussion Paper 10, University of Hull, Cartographic Information Systems Research Group, Cottingham Rd, Hull HU6 7RX, UK, 1992.
[4] Kevin Buchin, Wouter Meulemans, and Bettina Speckmann. A new method for subdivision simplification with applications to urban-area generalization. In *Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, GIS '11*, p. 261–270, 2011.
[5] Arthur van Goethem, Wouter Meulemans, Bettina Speckmann, and Jo Wood. Exploring curved schematization. In *2014 IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 1–8, 2014.
[6] Arthur van Goethem, Wouter Meulemans, Bettina Speckmann, and Jo Wood. Exploring curved schematization of territorial outlines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 21, No. 8, pp. 889–902, 2015.
[7] Wikipedia. Visvalingam–whyatt algorithm — Wikipedia, the free encyclopedia, 2021. [Online; accessed 28-Sep-2021].