

Simplificationにおける メンタルイメージ保存条件の調査

鈴木 瑠夏^{1,a)} 三末 和男^{2,b)}

概要: 天気予報や観光パンフレットなど、様々な場面でデフォルメされた地図が用いられている。地図の縮尺や地図を見る人の目的に応じたデフォルメを施すことで、情報を視覚的にわかりやすく表現することができる。しかし、過剰にデフォルメを行うと地図が表すものをイメージすることができなくなってしまう。見る人の目的や状況によって最適なデフォルメの仕方は異なるが、どのデフォルメ地図もその地図が何を表しているかわかる必要がある。本研究では、頂点を減らしてデフォルメする Simplification (簡素化) というデフォルメ手法に着目し、削除する頂点を一つずつ選んで地図をデフォルメしてもらった実験を行った。さらに、各頂点と隣接する2点を結んでできる三角形の面積が小さい頂点を削除してデフォルメする Visvalingam-Whyatt の Line Simplification[1] というアルゴリズムを用いてデフォルメした地図と実験で得られた地図を比較し、地図が表すものをイメージするのに重要な頂点は三角形の面積が大きい頂点以外に、頂点と隣接する2点で作る角度が小さい頂点、四角く出っばっている(または凹んでいる)ところの頂点、頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差が大きい頂点、5つ以上の頂点が連続して同じ方向に曲がっているところの頂点であることが分かった。

1. はじめに

天気予報や観光パンフレットなど、様々な場面でデフォルメされた地図が用いられている。縮尺や地図を見る人の目的に応じて不要な部分を省いたり、単純化したり、変形することで、情報を視覚的にわかりやすく表現することができる。しかし、過剰にデフォルメを行うと地図が表すものをイメージすることができなくなってしまう。見る人の目的や状況によって最適なデフォルメの仕方は異なるが、どのデフォルメ地図もその地図が何を表しているかわかる必要がある。しかしながら、どの程度デフォルメしても元の地図をイメージできるかという条件は明らかになっていない。

ある物や事柄について人々の頭の中に形成されているイメージのことを「メンタルモデル」や「メンタルマップ」と呼ぶことがある。ここでは、図形を見たときに人の頭の中に形成されるイメージのことを「メンタルイメージ」と

呼び、デフォルメされた図形を見て元の図形をイメージできることを「メンタルイメージが保存される」と言う。

本研究では、メンタルイメージの保存に影響を与える頂点の特徴を調査する。先行研究 [2][3][4][5] で行われた都道府県のデフォルメに関する実験で採用されていた Visvalingam-Whyatt の Line Simplification[1] では、各頂点と隣接する2点で構成される三角形の面積にのみ基づいて削除する頂点を決定していた。三末 [4] は、面積比が一定以上、頂点の角度が一定以下の「つの」がメンタルイメージの保存に影響していると分析した。このように、角度など三角形の面積以外の重要な考慮すべき要素を見つけることができれば、それらをアルゴリズムに組み込むことでより良いデフォルメが可能になる。本研究の目的は、デフォルメされた図形を見て元の図形が何かを認識する際に重要な三角形の面積以外の要素を見つけることである。

2. 関連研究

Shea ら [6] によると、地図のデフォルメには Simplification (簡素化)、Amalgamation (合併)、Refinement (除去)、Enhancement (強調)、Smoothing (平滑化)、Merging (併合)、Typification (類型化)、Displacement (転移)、Aggregation (集約)、Collapse (崩壊)、Exaggeration (誇張)、Classification (分類) などの方法がある。

¹ 筑波大学理工情報生命術院システム情報工学研究群情報理工学
位プログラム

Master's Program in Computer Science, University of
Tsukuba

² 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University
of Tsukuba

a) r_suzuki@vislab.cs.tsukuba.ac.jp

b) misue@cs.tsukuba.ac.jp

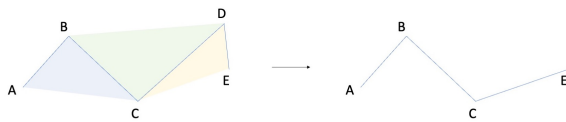


図 1 Line Simplification の方法
Fig. 1 Method of Line Simplification

Simplification には様々な手法があるが、Visvalingam-Whyatt の Line Simplification[1] では、各頂点と隣接する 2 点を結んでできる三角形の面積を計算し、面積が最小になる頂点を削除することを繰り返す。図 1 の例では、三角形 ABC, 三角形 BCD, 三角形 CDE のうち面積が最も小さいのは三角形 CDE なので、頂点 D を削除する。また、Buchin ら [7] はエッジ移動を用いて地図の面積とトポロジを保存しながらデフォルメする手法を提案した。

松山 [2], 新貝 [3], 三末 [4], Misue[5] は、Visvalingam-Whyatt の Line Simplification[1] を用いて日本の都道府県のデフォルメに関する実験を行い、頂点数がメンタルイメージの保存に与える影響を調査した。三末 [4], Misue[5] は、都道府県の輪郭を局所的な特徴を備えるものとそうでないものに分けた。また、局所的な特徴として、面積比が一定以上、頂点の角度が一定以下の「つの」がメンタルイメージの保存に影響していると分析した。

3. 本研究におけるアプローチ

頂点を削除する順番を実験参加者に選んでもらい都道府県をデフォルメしてもらい実験を行い、実験参加者が削除する頂点と削除する順番を調査する。実験で得られたデフォルメ地図と、それと同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図を比較することで、各頂点と隣接する 2 点で構成される三角形の面積の他に考慮すべき要素を見つけ出す。Line Simplification でデフォルメした地図と比較した時に、Line Simplification では消されるが実験参加者は残した頂点は、三角形の面積以外の残された要因があると考えられる。それらの頂点がどのような特徴を持つかを調べるために、Line Simplification では残されているが実験参加者は消した頂点と比較する。

4. 実験の概要

4.1 実験の目的

本実験の目的は、メンタルイメージが保存されるために必要な頂点の条件を定式化するために、実験参加者にとってどの都道府県か認識する際に重要な頂点、重要でない頂点を調査することである。

4.2 実験方法

本実験は新型コロナウイルスの流行に伴い全てオンライン形式で実施し、実験参加者の PC やスマートフォンのブラウザから行なってもらった。実験プログラムは TypeScript と PHP で作成した。

4.3 実験参加者

LINE, Slack を用いて実験の依頼をし、21 名分の回答が集まった。

4.4 実験に用いたデータ

三末 [4] は、すでに実験参加者のメンタルイメージが形成されているものである必要があると考え、実験参加者にとって馴染み深いと考えられる日本の都道府県の地図を題材として使用した。本研究でも、日本の都道府県を対象として実験を行った。また、本研究では 47 都道府県の中から青森県, 岩手県, 秋田県, 福島県, 茨城県, 群馬県, 埼玉県, 新潟県, 静岡県, 長野県, 富山県, 愛知県, 兵庫県, 石川県, 岐阜県, 高知県, 広島県, 愛媛県, 徳島県, 鳥取県の 20 個の都道府県を選び、それらの都道府県について実験を行った。東京都, 島根県, 長崎県, 鹿児島県, 沖縄県は島が多く、メンタルイメージを保存するために重要な条件に関して得られる情報が少ないと考えたため除外し、それ以外の都道府県の中から 20 個の都道府県を選択した。三末 [4] は 47 つの都道府県を局所的な特徴を備えるものとそうでないものに分類していた。また、実験参加者の出身地や馴染みのある都道府県による影響も調査したいので、東日本の県から局所的な特徴を持つ県を 5 つ、そうでない県を 5 つ、西日本の県から局所的な特徴を持つ県を 5 つ、そうでない県を 5 つ選択した。

実験で用いる地図は、先行研究 [2] における実験で使用されていた topojson データを利用した。松山は、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より 2019 年 1 月 1 日時点のデータ (JPGIS2.1(GML) 準拠およびシェープファイル形式に変換したデータ) をダウンロードし利用した。データは市町村ごとの境界でデータが分かっていたため、公開されているプログラム [8] を用いて市町村を統合することで都道府県の輪郭を作成した。

本実験では、湖を表す線など内部の線は表示せずに、外側の輪郭線だけを対象とした。また、隣り合う都道府県や、周りが海であるか陸であるか、日本地図のどの位置にあるかということも考慮しない。

5. 実験タスク

実験参加者には、タスク 1, タスク 2, タスク 3 の順に 3 つのタスクを行なってもらった。また、最後に簡単なアンケートに回答してもらった。

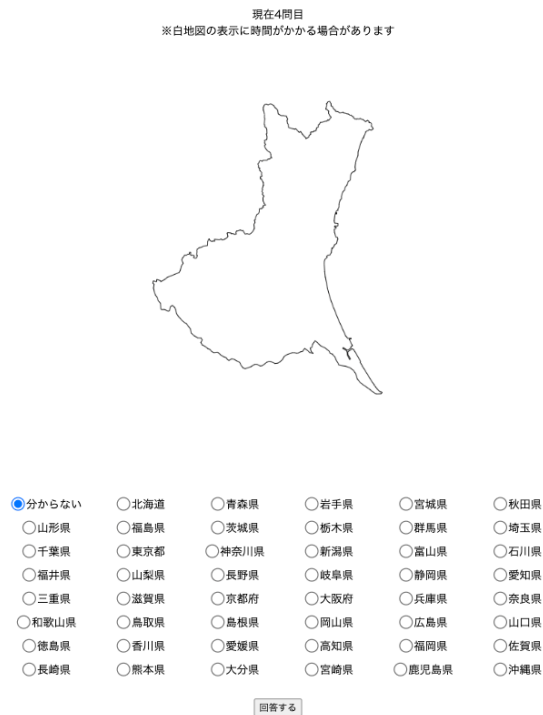


図 2 タスク 1 の画面
Fig. 2 Screen of task1

5.1 タスク 1

メンタルイメージが保存される条件を調べるためには、前提として実験参加者の頭の中に元の地図のメンタルイメージが形成されている必要がある。そのため、タスク 1 ではデフォルメされていない地図を表示し都道府県名を答えてもらい、表示された地図がどの都道府県かわかっているかどうかを調査した。問題は 20 問出題し、今回の研究で用いる 20 個の都道府県を知っているか調べた。図 2 のように、47 都道府県と「分からない」という合計 48 個の選択肢を用意し、答えに自信がない場合は推測で都道府県を選択せずに「分からない」を選択するようにお願いをした。この後のタスク 2、タスク 3 では、タスク 1 で正解した都道府県についてのみ出題した。

5.2 タスク 2

タスク 2 では、メンタルイメージが保存されるために重要な頂点を調査する実験を行なった。タスク 2 を開始すると図 3 のように、画面の中央にデフォルメされた地図、画面左上に表示されている図形の頂点数^{*1}、画面下に 4 つのボタンが表示される。

タスク 2 で用いる都道府県の地図は、頂点数が多すぎると実験参加者の負担が大きくなってしまいうため、頂点数が

*1 島がある 3 県については誤りがあり、画面左上に 25 と表示されるが、島が 1 つ存在する新潟県と兵庫県は頂点数 27、島が 2 つ存在する広島県は頂点数 29 と、実際の頂点数は 25 より多い頂点数から開始してしまっ



図 3 タスク 2 の画面
Fig. 3 Screen of task2



図 4 茨城県の元の地図とデフォルメされた地図
Fig. 4 Original and deformed map of Ibaraki

25 の状態から開始することにした。茨城県の地図とそれに対して頂点数が 25 になるまでデフォルメを行った地図を図 4 に示す。新貝 [3] の実験によると、都道府県のデフォルメ地図は頂点数が 15 程度あれば 70% の人のイメージに合ったデフォルメになると推測されていた。そのため、頂点数が 25 あれば参加者全員が認識できると考えた。頂点数を 25 まで減らす際には、Line Simplification のアルゴリズムでデフォルメを行った。

その 25 個の頂点の中から、表示されている図形がどの都道府県か認識する際に最も不要だと思う頂点（消しても問題なく認識できると思う頂点）を選択して削除してもらった。クリックで頂点を選択でき、選択しているときにはその頂点を消した場合に消える線を薄いグレーで、新しくできる線を黄色で表示することで、頂点を消した後の図形をイメージしやすくしている。頂点を選択した時の様子を図 5 に示す。頂点は何度でも選び直すことができ、頂点を選択した状態で「削除する」ボタンを押すと頂点が消える。削除した後の様子を図 6 に示す。

また、「一つ戻る」「初めからやり直す」ボタンで、戻り



図 5 頂点を選択したときの画面
Fig. 5 Screen after vertex is selected

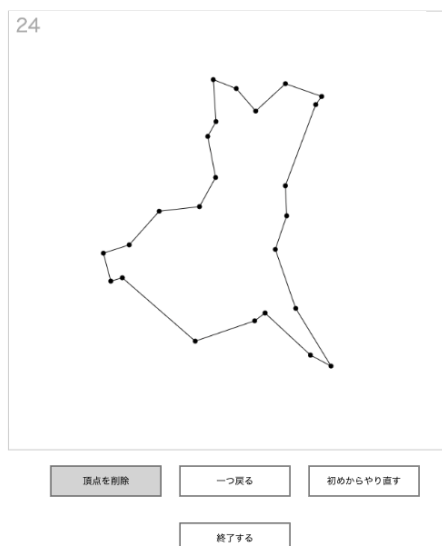


図 6 頂点が削除された後の画面
Fig. 6 Screen after vertex are deleted

たい状態に戻ることが可能である。これ以上頂点を消すなどの都道府県か認識できなくなってしまうという状態になるまで、頂点を削除する作業を繰り返してもらった。

5.3 タスク 3

タスク 3 では、タスク 2 で自身がデフォルメした図形がどの都道府県かわかるかどうかを調査した。どの都道府県かわかっている状態でデフォルメをすると、過剰にデフォルメをしてしまっても気づくことができない可能性がある。そのため、タスク 2 で回答した図形をもう一度表示

し、タスク 1 と同じように 47 個の都道府県名と「分からない」の 48 個の選択肢を用意し回答してもらった。タスク 2 の出題順を覚えてしまっている可能性があるため、タスク 2 とは順序を変えて出題した。タスク 3 で正解したデータのみ分析に利用する。

5.4 アンケート

天気予報などでデフォルメされた地図を見る機会が多いため、馴染みがある都道府県とそうでない都道府県とではデフォルメの仕方に違いがあるのではないかと考えた。そこで、馴染みのある都道府県を調査するアンケートを実施した。これまでに住んだことがある都道府県、長期滞在したことがある都道府県、親戚の家がありよく行っていた都道府県など関わりの深い都道府県を、滞在していた時期は何歳から何歳までの期間だったかとともに回答してもらった。小学校の社会の授業で住んでいる地域について習うことがメンタルイメージを形成するのに重要である可能性があると考えたため、小学生前後の時期にどこに住んでいたかということがわかるように都道府県名だけでなく年齢も調査した。

6. 実験結果

6.1 得られたデータ数

タスク 3 で不正解だったものは過剰にデフォルメされていると考えて除き、タスク 3 で正解したもののだけを有効なデータとして分析に利用した。実験で得られた有効な回答数を表 1 に示す。例えば、青森県については 19 人分の有効なデータが得られた。

表 1 都道府県ごとの回答数

Table 1 Number of responses by prefecture

青森県	岩手県	秋田県	福島県	茨城県
19	15	14	14	19
群馬県	埼玉県	新潟県	静岡県	長野県
14	7	19	16	14
富山県	愛知県	兵庫県	石川県	岐阜県
11	15	16	19	12
高知県	広島県	愛媛県	徳島県	鳥取県
17	6	4	4	4

各頂点を消さずに残した人の割合を頂点の大きさで表したものが図 7 である。その頂点を消した人が少ない場合は頂点は直径が大きい円で表される。また、頂点を消した人が多い、すなわち残した人が少ない場合は頂点は直径が小さな円で表示される。頂点を残した人が 0 人の場合、円は表示されない。

6.2 頂点数

都道府県ごとに実験参加者が消さずに残した頂点数の平均を調べると、表 2 のようになった。例えば、青森県については、19 人の実験参加者は平均 16 の頂点を残していた。

表 2 都道府県ごとの平均頂点数
 Table 2 Average number of vertices

青森県	岩手県	秋田県	福島県	茨城
16.00	18.33	15.57	15.93	14.68
群馬県	埼玉県	新潟県	静岡県	長野県
16.93	15.71	17.47	14.69	17.36
富山県	愛知県	兵庫県	石川県	岐阜県
15.00	15.73	18.25	15.58	17.33
高知県	広島県	愛媛県	徳島県	鳥取県
16.24	19.00	17.75	17.75	15.25

また、参加者ごとに 1 都道府県あたり何個の頂点を残していたかを調べた。回答したすべてのデフォルメ地図の残された頂点数の和を回答した都道府県の数で割ったところ、最も多い参加者が 21.45、最も少ない参加者が 11.17、全員の平均が 16.66 であり、標準偏差は 2.809 であった。

新潟県、広島県、兵庫県の島については、全員が 3 つ以上の頂点を残しており、島を完全に消す人はいなかった。

さらに、馴染みのある都道府県とそうでない都道府県で頂点数に違いがあるか調べた。まず、一人ひとりの参加者について、都道府県ごとに実験参加者がデフォルメした地図の頂点数とその都道府県の全員の平均頂点数の差を求めた。次に、以下の 5 つについて比較した。

- 0 歳～中学生までで馴染みのあった県とそれ以外の県
- 0 歳～中学生までで馴染みのあった地方に含まれる県とその地方に含まれない県
- 0 歳～現在までで馴染みのあった県とそれ以外の県
- 0 歳～現在までで馴染みのあった地方に含まれる県とその地方に含まれない県
- 東日本と西日本

しかし、人によって馴染みのある県（地方）の方が頂点数が少ない人もいれば馴染みのある県（地方）の方が頂点数が多い人もいて、馴染みのある都道府県による頂点数の違いは見つけられなかった。

7. Line Simplification との比較

実験参加者がデフォルメした地図と、それと同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図を比較する。

7.1 Line Simplification では消されるが実験参加者は残した頂点

まず、Line Simplification でデフォルメされた地図と比較した時に、Line Simplification でデフォルメされた地図

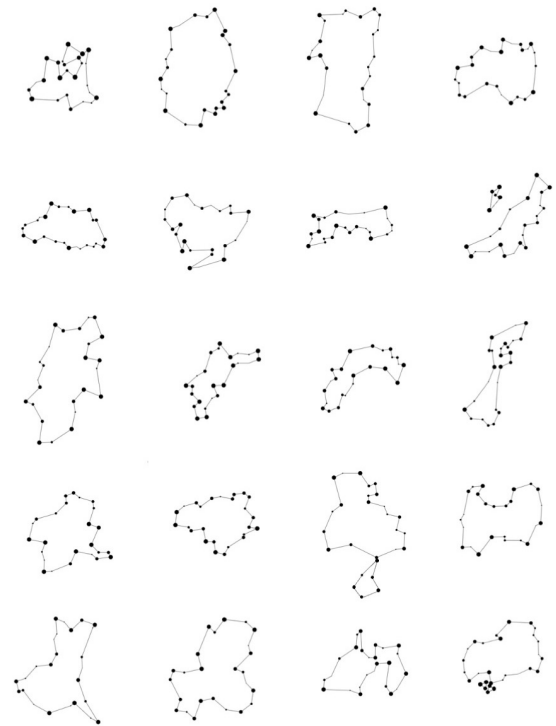


図 7 頂点を消さずに残した人の割合
 Fig. 7 Percentage of people who did not delete

10



図 8 実験参加者がデフォルメした地図（左）と同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図（右）

Fig. 8 Map deformed by experiment participants and Line Simplification

では消されているが、実験参加者がデフォルメした地図では残されている頂点に着目した。

図 8 は、ある 1 人の実験参加者がデフォルメした石川県の地図（左）と、それと同じ頂点数 10 まで Line Simplification でデフォルメした地図（右）である。どちらも頂点数は 10 で、Line Simplification でデフォルメされた地図では消されているが実験参加者がデフォルメした地図では残されている 5 つの頂点が黄色で表示されている。

次に、各頂点ごとに、実験参加者がデフォルメした地図とそれと同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図を比較した時に、Line Simplification のデフォル

メでは消されているが、その頂点を残した人が何人いたか、その割合を頂点の円の大きさで表し、半数以上いた頂点を青色で表示した。その結果を図 9 に示す。人数が多ければ多いほど頂点の直径は大きくなる。この円が大きくなっている頂点がどのような頂点なのかを知ることは、Line Simplification で考慮されている各頂点と隣接する 2 点が構成する三角形の面積以外にどのようなことを考慮すべきかを知るための手がかりになると考えられる。

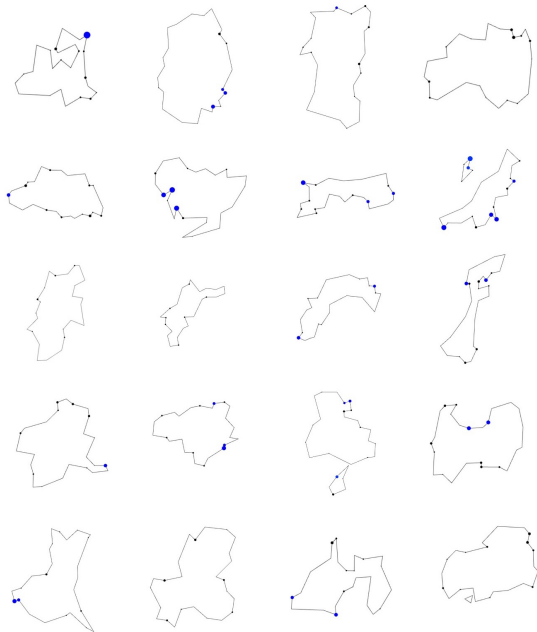


図 9 Line Simplification と実験結果の比較

Fig. 9 Comparison of maps deformed by Line Simplification and experiment participants

7.2 Line Simplification では残されるが実験参加者は消した頂点

次に、Line Simplification でデフォルメされた地図と比較した時に、Line Simplification でデフォルメされた地図では残されているが、実験参加者がデフォルメした地図では消されている頂点に着目した。図 10 は、ある 1 人の実験参加者がデフォルメした石川県の地図 (左) と、それと同じ頂点数 10 まで Line Simplification でデフォルメした地図 (右) である。実験参加者がデフォルメした地図では消されているが、Line Simplification でデフォルメされた地図では残されている 3 つの頂点が黄色で表示されている。

7.3 比較

第 7.1 節の Line Simplification では消されるが実験参加

20

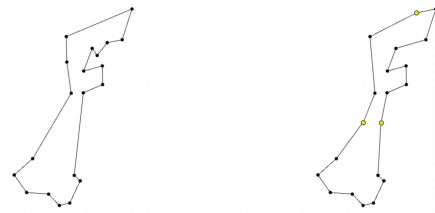


図 10 実験参加者がデフォルメした地図 (左) と同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図 (右)

Fig. 10 Map deformed by experiment participants and Line Simplification

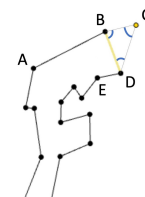


図 11 消される頂点と隣接する 2 点で作る角度、頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差の例

Fig. 11 Example of an angle created by 3 vertices and Example of difference between disappearing and appearing angles

者は残した頂点と第 7.2 節の Line Simplification では残されるが実験参加者は消した頂点の違いを探ることで、各頂点と隣接する 2 点が構成する三角形の面積以外の重要な要素を見つけたい。そのために、第 7.1 節の Line Simplification では消されるが実験参加者は残した頂点が Line Simplification で消された時どのような状態だったか、また第 7.2 節の Line Simplification では残されるが実験参加者は消した頂点の実験参加者のデフォルメで消された時どのような状態だったかについて、以下の 3 つを計算した。

A1 消される頂点と隣接する 2 点を作る角度

消される頂点とその頂点と隣接する 2 つの頂点で作られる角度を計算する。図 11 を用いて説明をすると、頂点 C が消される場合 $\angle BCD$ を計算する。先行研究 [5] で面積比が 4% 以上、角度が 60° 以下の頂点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ため述べられているため調べることにした。

A2 四角く出っばっている (または凹んでいる) ところの角度

図 12 のように、直線 CB と直線 DE がなす角を計算し、角度が小さいところは四角く出っばっている、または凹んでいるとみなす。

A3 頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差

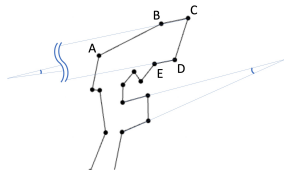


図 12 四角く出っばっている（または凹んでいる）ところの角度の例

Fig. 12 Example of the angle of the square

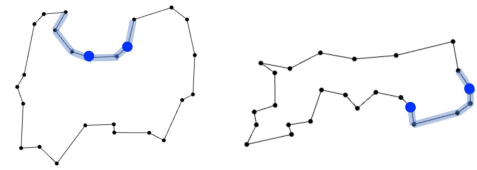


図 14 弧を描いているところの一部になっている頂点の例

Fig. 14 Example of vertex that is a part of an arc

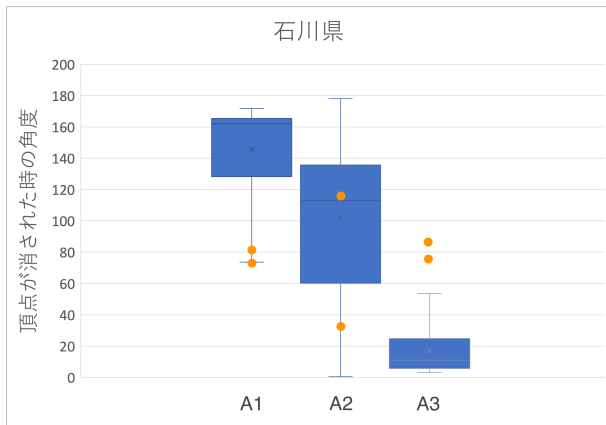


図 13 石川県の A1, A2, A3 の計算結果

Fig. 13 A1, A2, A3(Ishikawa)

その頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差を計算する。削除する頂点の右側と左側で2つの角度を計算する。図 11 を用いて説明をすると、頂点 C を消したときに消える角度 $\angle ABC$ と新しく出現する角度 $\angle ABD$ の差すなわち $\angle CBD$ と、頂点 C を消したときに消えるもう一つの角度 $\angle CDE$ と新しく出現する角度 $\angle BDE$ の差すなわち $\angle CDB$ を求める。

ここでは例として、石川県の計算結果を示す。石川県は第 7.1 節で示した、自分がデフォルメした地図とそれと同じ頂点数まで Line Simplification でデフォルメした地図を比較したときに、Line Simplification ではその頂点が消されているが自分はその頂点を残したという人が半数以上いた頂点が 2 つあった。図 13 は、石川県について、Line Simplification では残されているが実験参加者は消した頂点（実験参加者全員分）の A1, A2, A3 を青い箱ひげ図で、Line Simplification では消されているが半数以上の実験参加者は残していた 2 つの頂点の A1, A2, A3 をオレンジの点で表現したものである。

まず、A1 について見ていく。Line Simplification では消されるが半数以上の実験参加者は残していた 2 つの頂点は、どちらも Line Simplification では残るが実験参加者は消した頂点より小さくなっている。そのため、実験参加者の多くがこの 2 つの頂点を消さなかった要因は A1 の角度が小さいことにある可能性があると考えた。A1 については、Line Simplification では消されるが実験参加者は残し

た頂点の角度が、Line Simplification では残るが実験参加者は消した頂点の角度の第 1 四分位数より小さいかどうかを調べた。

A2, A3 についても A1 と同様に計算した。Simplification では消されるが実験参加者は残した頂点の角度が、A2 は Line Simplification では残るが実験参加者は消した頂点の角度の第 1 四分位数より小さいかどうか、A3 は Line Simplification では残るが実験参加者は消した頂点の角度の第 3 四分位数より大きいかどうかを調べた。

図 13 の A2 を見ると、Line Simplification では消されるが半数以上の実験参加者は残していた 2 つの頂点のうち 1 つの頂点の角度の値は箱の中にあるので、この頂点が消された要因は A2 ではないと考えられる。また、もう一つの頂点は第 1 四分位数より小さいので実験参加者の多くがこの頂点を消さなかった要因は A2 の角度が小さいことにある可能性があると考えた。

他の県に対しても同じように計算し、A1, A2, A3 が、それぞれの頂点が消された要因である可能性があるかどうか調べた。A1, A2, A3 のどれにも当てはまらなかった頂点は全て図 14 のように、5 頂点以上連続して同じ方向に曲がっている（弧を描いている）ところの一部になっていた。

以上の Line Simplification との比較から、第 7.1 節の Line Simplification では消されるが実験参加者の半数以上が残した頂点は、以下の 4 つのいずれかに当てはまる頂点だと言える。

- A1 頂点と隣接する 2 点で作る角度が小さい頂点
- A2 四角く出っばっている（または凹んでいる）ところの頂点
- A3 頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差が大きい頂点
- A4 5 頂点以上連続して同じ方向に曲がっている（弧を描いている）ところの頂点

これらの特徴を持つ頂点を消さないように Line Simplification のアルゴリズムを改良すれば、より良いデフォルメが可能であると考えられる。

8. まとめ

削除する頂点を一つずつ選んで都道府県の地図をデフォルメしてもらう実験を行い、実験で得られた地図とそれと同じ頂点数まで Line Simplification を用いてデフォルメした地図を比較した。比較の結果、地図が何を表しているか認識するのに重要な頂点は、三角形の面積が大きい頂点以外に、頂点と隣接する2点を作る角度が小さい頂点、四角く出っばっている（または凹んでいる）ところの頂点、頂点を消した時に消える角度と新しく出現する角度の差が大きい頂点、5つ以上の頂点が連続して同じ方向に曲がっているところの頂点であることが分かった。

今後は、実験結果から見つけた4つの特徴を持つ頂点を消さないように Line Simplification のアルゴリズムを改良したい。今回使用しているデータは頂点が数千個ある状態からデフォルメを開始するので、角度などが認識できる大きさになるまである程度従来の Line Simplification でデフォルメをする必要がある。そのため、4つの特徴と面積比の関係を調査しようと考えている。

謝辞 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] Maheswari Visvalingam and James Duncan Whyatt. Line generalisation by repeated elimination of the smallest area. Cartographic Information Systems Research Group (CISRG) Discussion Paper 10, The University of Hull, 1992.
- [2] 松山莉沙. デフォルメ地図とメンタルイメージの関係に関する研究. 筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒業研究論文, 2020
- [3] 新貝力哉. デフォルメ地図とメンタルイメージに関する研究. 筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒業研究論文, 2021
- [4] 三末和男. 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. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI). 2021, 2021-HCI-195, 2, p.1-8.
- [5] Kazuo Misue. Conditions of Preserving Mental Images by Contour Deformation, Proceedings of The 15th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction (VINCI 2022, 16-18, Aug. 2022, Chur, Switzerland), 5 pages, 2022.
- [6] K Stuart Shea and Robert B McMaster. Cartographic generalization in a digital environment: When and how to generalize. In Proceedings AutoCarto 9, pp. 56-67, 1989
- [7] 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, pp. 261-270, 2011.
- [8] <https://github.com/givemegohan/geojsontools>.