

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：21602

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12032

研究課題名(和文) 地図設計原理に基づく抽象データ可視化手法の研究

研究課題名(英文) Information Visualization based on Cartographic Design Principles

研究代表者

高橋 成雄 (Takahashi, Shigeo)

会津大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：40292619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、コミュニティにおける人同士の関係のような抽象データを、図式的路線図として可視化するための様々な手法を定式化することである。図式的地図を用いた視覚メタファーは、我々の生活に既に根付いていることもあり、普通のネットワーク表現よりも可読性が高い可視化が実現できる。しかし、そのためには可視化対象である抽象データを疎性化する必要がある。現状はデザイナーが恣意的に入力データから重要な構造抽出し路線図として描いていた。本研究では、与えられた抽象データのネットワーク構造を疎性化し、図式的路線図表現におけるレイアウトの美的基準を定式化することで、新たな情報可視化表現形態を模索していく。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research project is to formulate techniques for visualizing abstract data including relationships among people in the community with schematic railway maps. Schematic railway maps based on visual metaphors are more likely to provide better readability of the abstract data due to its daily use in our life. However, such visual representations based on railway maps have often been designed individually by expert illustrators because the connectivities of the input networks usually need proper simplification before being transformed into schematic representations. In this research, we first transform the input abstract data into sparse representations and visualizing them as schematic railway networks. This is accomplished by formulating aesthetic criteria for designing schematic railway networks, which also allows us to explore new techniques for visualizing abstract data based on network schematization.

研究分野：可視化, 視覚モデリング

キーワード：可視化 地図学 視覚メタファー 抽象データ 疎性化 地図設計原理

## 1. 研究開始当初の背景

世界主要都市で利用可能な鉄道や地下鉄の路線地図では、ロンドンの地下鉄路線図の設計原理が広く利用されており、それらは可読性が高い**図式的路線地図**表現として、我々の生活にも根付いている。近年このような図式的路線図が、相互関係などの抽象データの可視化に広く利用されるようになった。例えば、広告などで見られるウェブトレンドマップは、各路線がニュースやソーシャルネットワークなど、ひとつのウェブトレンドに対応している。このような路線図を**視覚メタファー**として用いる可視化表現は、対象間の関係などの**視認性の高い可視化表現**を提供する。

しかし、実際に図式的路線図を可視化表現として用いる場合、入力抽象データと想定される路線図ネットワークとの間でノードの接続性における**疎密の差が大きい**ことが問題となる。そのため、密ネットワークから人が個々の判断で重要な**疎ネットワーク構造**を抽出し、手作業で図式的路線図として描くのが現状であった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、上述のような抽象データから**自動的に疎ネットワーク構造**を抽出し、**図式的路線図を視覚メタファーとして用いた可視化手法の構築**にある。本研究の技術的な課題は、**密ネットワーク**から構成される抽象データを、路線図に適した**疎ネットワーク構造**に変換することにある。ここでは、**centrality**を用いて、ネットワークの構成要素であるノードやエッジを適宜削除し、ネットワークポロジの単純化を行う。そして、単純化されたネットワークのクラスタ構造を**疎ネットワーク**に変換し、図式的路線図として適切に配置するための**設計原理を新たに定式化**していく。さらに、得られた図式的路線図配置を基礎に、様々な情報可視化技法を導入して、より**表現力の高いデータ**の可視化を実現する。

## 3. 研究の方法

本研究計画では、**課題A)**粗ネットワーク構造の抽出、**課題B)**図式的路線図設計基準の定式化、**課題C)**図式的路線図に基づく可視化表現の構築の3つの地図可視化問題を、2年間の研究期間において取り組んで行く。特に、平成27年度にまず**課題A)**と**課題C)**に着手し、平成27年度終わりから平成28年度にかけて、**課題A)**と**課題C)**の整合性を保持しながら、**課題B)**に取り組むことにする。また、平成28年度後半においては、全体の研究総括を進めるとともに、構築した路線図メタファーを用いた抽象データの可視化手法の検証と評価を、ユーザによる検証実験や

注視点計測装置により計測される可視化画像上の注視点分布を解析することで行っていく。各課題については以下のように進めていく。

まず、**課題A)**については、抽象データに対応するネットワーク構造を単純化するための、エッジの重み値である**A1) centrality**の**使い方を再検討**する。centralityは、ソーシャルネットワークなどにおける抽象データ構造の特徴抽出などに用いられているが、ここでは特に図式的路線図のための疎ネットワーク構造を抽出するための道具として用いる。次に、このcentralityを用いた**A2) ネットワークからのクラスタ抽出**を行なう。この段階で、ある一定個数のクラスタ部分をもつネットワーク構造への単純化を実現する。最後に、抽出されたクラスタ間の**A3) ハブに対応するノードを特定**したのち、各クラスタに含まれるノードを、路線図における各路線上に再配置することで、**A4) 図式的路線図のための疎ネットワーク構築**を行う。

**課題B)**においては、まず図式的路線図を生成するためのネットワークの初期配置を、**B1) バネモデルによる配置アルゴリズム**を利用することで計算する。その後、**注釈ラベルの配置**も含めて、**B2) 図式的路線図生成のための設計基準を定式化**し、混合整数計画問題の制約として導入することで、可読性の高い**図式的路線図メタファー**を実現していく。

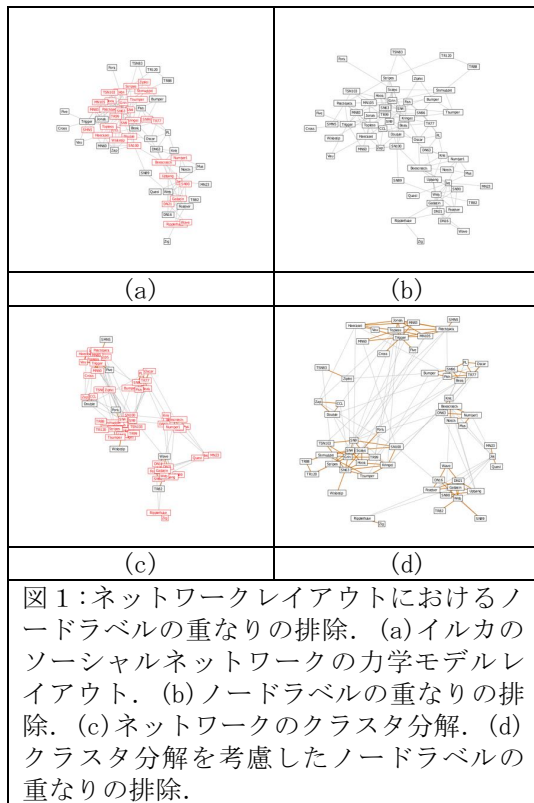
**課題C)**に関しては、先に得られた図式的路線図配置を、**C1) タグクラウド**と**C2) 画像モザイク分割**に変換する設計基準の定式化を行なう。ここでは、図式的路線図を視覚メタファーとして用いた、最適なテキスト及び画像のレイアウトを実現するアルゴリズムを定式化するとともに、**課題B)**における図式的路線図の設計基準の参考とする。加えて、図式的路線図を利用した、集合の相互関係を表現する**C3) オイラー図**のレイアウトの定式化について検討していく。

## 4. 研究成果

以下、前節の研究の方法において述べた手順を遂行する過程において得られた個々の研究成果について示す。既発表の研究成果に関しては、**後述する発表論文との対応**も合わせて示す。

### 4. 1. ノードラベルの重なり排除するネットワークレイアウト

この研究においては、一般的な抽象データとして得られるネットワークレイアウト問題において、元々のネットワークのレイアウトを保持しながら、そのノードに**テキストラベルを重なりなく割り当てる**ための、レイアウト計算手法を構築した。ここでは、ネットワークノードの重心ボロノイ分割から得られる



レイアウトを、ノードごとに適応的に参照することで、空間効率を重視したネットワークレイアウトを得るアルゴリズムを構築している(発表論文[5, 7]). 図1は、本研究で得られたネットワークレイアウトの例を示している. 本研究の過程において、ネットワークの階層化の計算を行うための基礎的な手法も得ることに成功した.

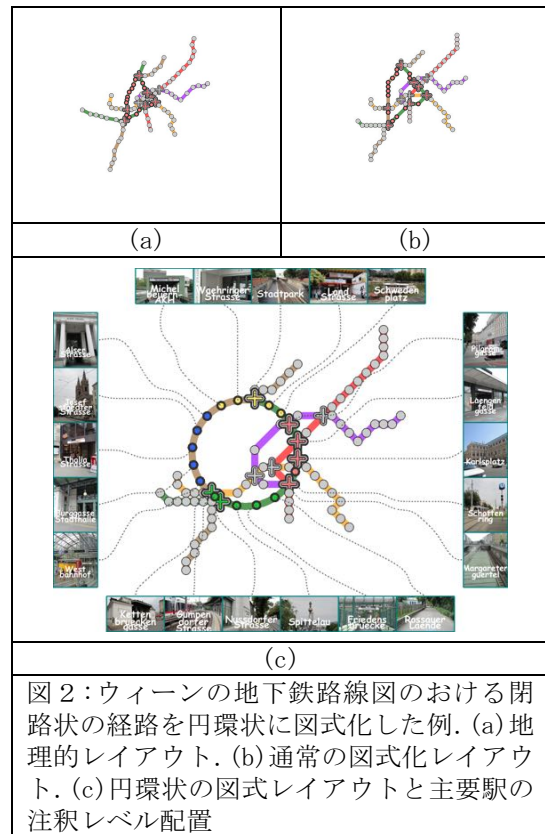
#### 4. 2. 鉄道路線図レイアウトの高度化

本研究では、鉄道路線図レイアウトにおいて、特徴的なトポロジーをもつ部分を効果的に図式化する新たな定式化を提案した. 具体的には、閉路をもつ特定の鉄道路線に対して、従来用いられてきた整数計画法の定式化を効果的に拡張し、円環状の図式化表現に変換することに成功した(発表論文[8]). 図2は、そのような定式化で得られる円環状の図式的路線図表現の例を示している.

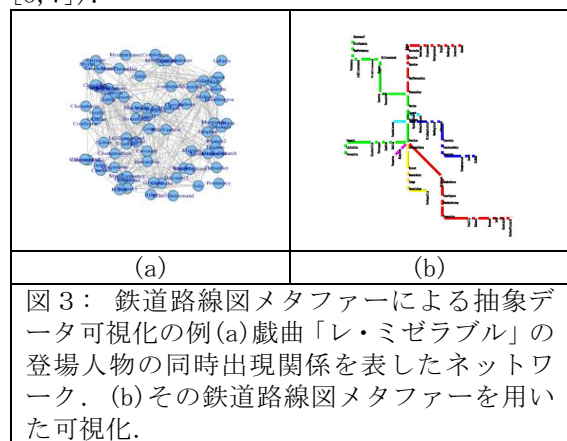
本論文のアイデアは、さらにカリキュラムにおける科目間の依存関係、さらにはネットワークにおけるハブの階層関係などの図式的可視化表現を生成するアルゴリズム定式化の基礎となった(発表論文[3]).

#### 4. 3. 鉄道路線図メタファーの構築

本研究では、与えられたネットワークを複数のクラスタに分割し、各クラスタを集合ととらえそれらの重なりを評価することで、オイラー図のような集合の相互関係を表す図に対応する疎性化されたネットワーク表現を定式化した. 具体的には、ネットワークのエッ



ジとノードの betweenness centrality を計算し、適宜グラフの縮約を起こすことで、重なりのあるクラスタを抽出している. これにより、任意のネットワークデータを、路線図メタファーを用いて図式的な表現に変換することが可能となる. 図3は、レ・ミゼラブルの戯曲において、どの登場人物が同時に現れるかを表したネットワークを、鉄道路線図として表現した結果を示している. この結果は、先のネットワークレイアウトのクラスタ解析にも拡張していることを付記する(発表論文[5, 7]).



#### 4. 4. タグクラウド地図の最適化

鉄道路線図メタファーを用いた視覚表現をさらに高度化するため、一般的な地図を下地にしたタグクラウド構築手法の構築を行った. ここでは、地図全体を格子状の小正方形領域に分割し、テキスト(タグ)を格子に沿って縦

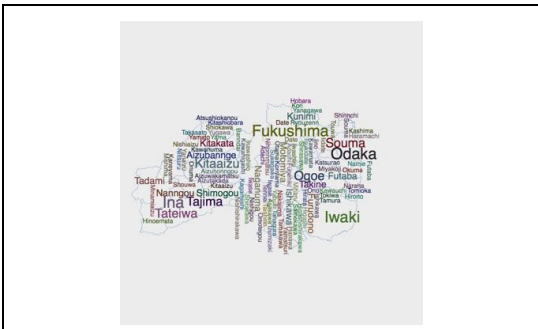


図4：福島県の地名を用いたタグクラウド生成事例。

横に配置することとし、路線図などの表現から容易にタグクラウド表現に変換できるようにしている。テキストの実際の配置の最適化計算は、遺伝的アルゴリズムを用いて行っており、テキスト間に隙間が生じないように、またテキストの配置が下地の地図の輪郭に沿うように、コスト関数の定式化に工夫を加えている。図4は、構築した手法で具体的に作成したタグクラウド地図を示している。

#### 4. 5. 地図における地名テキストラベルの最適配置



図5：日本地図における縮尺の違いによる地名ラベルの配置手法の結果例。上から下に地図を拡大している。

先のタグクラウド地図の手法を拡張して、地名などのテキストラベルを、地図の縮尺の変化においても、突然消滅・出現したり、場所が飛んだりしないように配置する手法の構築を行った(発表論文[1, 2])。この手法においても、遺伝的アルゴリズムを工夫することで、地図における効果的な地名ラベル配置手法の定式化に成功している。図5は、地図の縮尺の変化に頑健な地図ラベル配置の例を示している。

#### 4. 6. 地図における注目領域の同定

地図がどのように見る側の視覚注意を誘導するかは、地図メタファーを用いた視覚表現構築において重要な知見を提供する。本研究では、地図に特化した視覚注意誘導のモデル(発表論文[6])、さらには地図を含む一般的な図式的視覚表現が、どのようにユーザの視覚注意を誘導するか(発表論文[4])について、種々の結果を得た。図6は、そのような研究結果の例を示している。

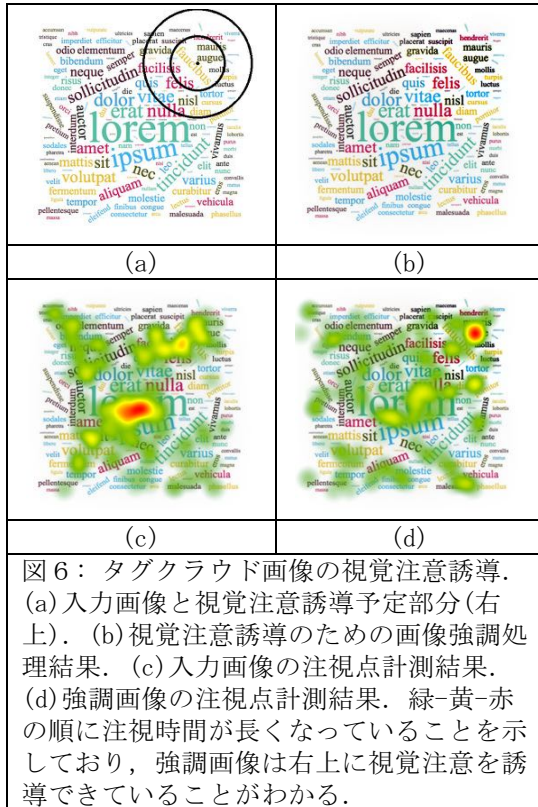


図6：タグクラウド画像の視覚注意誘導。(a)入力画像と視覚注意誘導予定部分(右上)。(b)視覚注意誘導のための画像強調処理結果。(c)入力画像の注視点計測結果。(d)強調画像の注視点計測結果。緑-黄-赤の順に注視時間が長くなっていることを示しており、強調画像は右上に視覚注意を誘導できていることがわかる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

[1] Hsiang-Yun Wu, Shigeo Takahashi, Sheung-Hung Poon, and Masatoshi Arikawa. Introducing Leader Lines into Scale-Aware Consistent Labeling, in

- Advances in Cartography and GIScience: Selections from the International Cartographic Conference 2017, Springer, pp. 117-130, 2017.  
DOI: 10.1007/978-3-319-57336-6\_9
- [2] Hsiang-Yun Wu, Shigeo Takahashi, Sheung-Hung Poon, and Masatoshi Arikawa. Scale-Adaptive Placement of Hierarchical Map Labels, in Short Paper Proceedings of the 19th Eurographics Conference on Visualization (EuroVis2017), pp. 1-5, 2017.  
DOI: 10.2312/eurovisshort.20171124
- [3] Hsiang-Yun Wu, Shigeo Takahashi, Hiroko Nakamura Miyamura, Satoshi Ohzahata, Akihiro Nakao. Inferring Partial Orders of Nodes for Hierarchical Network Layout, *Journal of Imaging Science and Technology*, pp. 60407-1-60407-13(13), Vol. 60, No. 6, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2016.60.6.060407>
- [4] Kouhei Yasuda, Shigeo Takahashi, and Hsiang-Yun Wu. Enhancing Infographics Based on Symmetry Saliency, in Proceedings of the 9th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction (VINCI 2016), pp. 35-42, 2016.  
DOI: 10.1145/2968220.2968224
- [5] Rie Ishida, Shigeo Takahashi, and Hsiang-Yun Wu. Adaptive Blending of Multiple Network Layouts for Overlap-Free Labeling, in Proceedings of the 20th International Conference on Information Visualisation (iV2016), pp. 15–20, Jul. 19-22, 2016, Lisbon, Portugal.  
DOI: 10.1109/IV.2016.25
- [6] Fumiya Sato, Hsiang-Yun Wu, Shigeo Takahashi, and Masatoshi Arikawa. Extracting important routes from illustration maps using kernel density estimation, in Proceedings of International Symposium on Smart Graphics 2015, Aug. 26-28, 2015, Chengdu, China. Vol. 9317 of Springer Lecture Notes in Computer Science, pp. 167-174, 2017.  
[Best short paper award]  
DOI: 10.1007/978-3-319-53838-9\_14
- [7] Rie Ishida, Shigeo Takahashi, and Hsiang-Yun Wu. Interactively Uncluttering Node Overlaps for Network Visualization, in Proceedings of the 19th International Conference on Information Visualisation (iV2015), pp. 200–205, Jul. 21-24, 2015, Barcelona, Spain.  
DOI: 10.1109/iV.2015.44
- [8] Hsiang-Yun Wu, Sheung-Hung Poon, Shigeo Takahashi, Masatoshi Arikawa, Chun-Cheng Lin, and Hsu-Chun Yen. Designing and Annotating Metro Maps with Loop Lines, in Proceedings of the 19th International Conference on Information Visualisation (iV2015), pp. 9–14, Jul. 21-24, 2015, Barcelona, Spain.  
DOI: 10.1109/iV.2015.14
- [学会発表] (計 10 件)
- 高橋 成雄. 情報可視化における最適化モデルの定式化. 日本機械学会, 計算力学部門 設計情報駆動学会. 2017年3月5日～6日, 葉山 相洋閣, 三浦郡, 神奈川県.
  - Hsiang-Yun Wu, 高橋 成雄, Sheung-Hung Poon, 有川 正俊. 異なるスケール存在範囲をもつ地図ラベルの一貫性を保持した配置, CSIS DAYS 2016「全国共同利用研究発表大会」, 2016年11月17日～18日, 東京大学, 柏市, 千葉県.
  - Shigeo Takahashi, Schematizing Graphics for Visual Understanding, The 8th International Conference on Graphics and Image Processing (ICGIP2016), Oct. 29-31, 2016, Shinjuku, Tokyo. (Invited talk)
  - 佐藤 史弥, 有川 正俊, Hsiang-Yun Wu, 高橋 成雄, 今井 浩. イラスト地図読者の視覚的注目点のシミュレーション手法, 日本地図学会 定期大会 口頭発表, 2016年8月8日～10日, 就実大学・就実短期大学キャンパス, 岡山市, 岡山県.
  - 高橋 成雄, Hsiang-Yun Wu, Sheung-Hung Poon, 有川 正俊. 対話地図の縮小編集操作における転位と取捨選択アルゴリズムの実現, CSIS DAYS 2015「全国共同利用研究発表大会」, 2015年11月19日～20日, 東京大学, 柏市, 千葉県.



6. 高橋 成雄, Hsiang-Yun Wu, Sheung-Hung Poon, 有川 正俊. 連続スケールにおける地図ラベル配置の最適化, CSIS DAYS 2015 「全国共同利用研究発表大会」, 2015年11月19日~20日, 東京大学, 柏市, 千葉県.
7. Shigeo Takahashi, Egocentric Design in Geospatial Mapping, 1st IEEE International Symposium on Big Data Visual Analytics, Sep. 22-25, 2015, Hobart, Tasmania, Australia. (Invited talk)
8. Shigeo Takahashi, Formulating Optimization Models for Visual Computing, International Symposium on Smart Graphics 2015, Aug. 26-28, 2015, Chengdu, China. (Invited talk)
9. 高橋 成雄, Hsiang-Yun Wu, Sheung-Hung Poon, 有川 正俊. 連続スケールにおける地図ラベルの取舍選択, 日本地図学会 定期大会 口頭発表, 2015年8月5日~7日, 日本大学経済学部, 千代田区, 東京.
10. 佐藤 史弥, Hsiang-Yun Wu, 高橋 成雄, 有川 正俊. カーネル密度推定を利用したイラスト地図における重要ルートの抽出, 日本地図学会 定期大会 口頭発表, 2015年8月5日~7日, 日本大学経済学部, 千代田区, 東京.

[その他]

ホームページ等

<http://www.tak-lab.org/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高橋 成雄 (TAKAHASHI Shigeo)  
会津大学・コンピュータ理工学部・教授  
研究者番号: 40292619

##### (2) 研究分担者

有川 正俊 (ARIKAWA Masatoshi)  
東京大学・空間情報科学研究センター・特任教授  
研究者番号: 30201510

##### (3) 連携研究者

呉 湘筠 (WU Hsiang-Yun)  
慶應義塾大学・理工学部・特任助教  
研究者番号: 00706749