地域間流動の視覚的表現法に関する研究

宗永英起，井上亮，清水英範

A New Visualization Method for Interregional Flow Data

Hideki MUNENAGA, Ryo INOUE and Eihan SHIMIZU

Abstract: 地域間流動データから地域の依存関係や階層構造を抽出し，その結果を可視化する方法は，十分に検討されていない．本研究では，地域間の依存関係等を抽出するために，近傍グラフ作成手法を用いて主要な点対を結び，できるだけ少ない直線分で表現する．また，直線分上に他の点が接近していた場合には読図が困難となることを考慮し，地理的位置関係を崩さないように接近を緩和させて表現するグラフ配置手法を提案する．

Keyword: 地域間流動（interregional flow），視覚化（visualization），近傍グラフ（neighborhood graph），距離カルトグラム（distance cartogram）

1. はじめに

近年，情報通信技術の発展に伴い，国民は省庁等によって収集された様々な統計データを Web から無償で容易に入手可能となっており，統計データを利用して国土や地域の実態を探ることが可能となってきた．また，GIS では様々な統計データの内，地理的位置に関連づけられた地理空間情報を管理し，さらに，主要機能の一つとして地理空間情報の視覚化機能を提供している．しかし，その視覚化対象は，ある一地域あるいは一地点のみに関連づけられた属性値に限られている．

地理空間情報の中には，交通流動等のように，発地・着地という複数の地理的位置に関連づけられ，地点間の関係の強弱を表現する統計データ，地域間流動データも存在する．しかし，地域間流動データから地域の依存関係や階層構造を抽出し，その結果を可視化する方法は十分に検討されていない．本研究では，近傍グラフ作成手法を用いた主要点対抽出を通して，少ない辺で地域間流動の特徴を表現することを目指す．また，辺上に他の点が接近すると読図が困難となることを考慮し，地理的位置関係を崩さないように接近を緩和させて表現するグラフ配置手法を提案する．

2. 近傍グラフ作成を用いた主要辺の抽出法

近傍グラフとは，ユークリッド空間上の点集合について，点間距離に基づき定義されるグラフで，最小全域木や相対近傍グラフ，ガブリエルグラフがその代表である．最小全域木（例えば Granam and Hell, 1985）は，非巡回，全点連結かつ，距離総和が最小となるグラフである．相対近傍グラフ(Toussaint, 1980)は，点i・jの距離d_{ij}を半径とした円を点iと点jを中心に描き，両円の共通領域に他点が存在しない場合，ij間に辺を生成するグラフ(図 1)で，辺選別条件は式(1)で表される．

$$d_{ij} \le max\left(d_{ik}, d_{jk}\right) \qquad \forall k \ne i,j \qquad (1)$$

ガブリエルグラフ(Gabriel and Sokal, 1969)は，点i・jを直径とする円内に他点が存在しない場合に，点ij間に辺を生成するグラフ(図 2)で，辺選別条件は式(2)である．

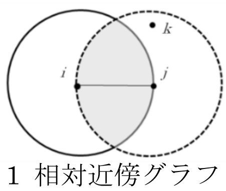

図 1 相対近傍グラフ辺選別条件

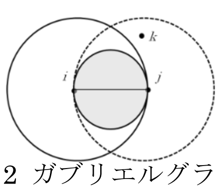

図 2 ガブリエルグラフ辺選別条件

宗永英起 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
電気通信研究所 2 号館
Phone：022-217-6368
E-mail：munenaga@plan.civil.tohoku.ac.jp

$$d_{ij}^2 \le d_{ik}^2 + d_{jk}^2 \qquad \forall k \ne i,j \quad (2)$$

なお，最小全域木は相対近傍グラフの，相対近傍グラフはガブリエルグラフの部分グラフであることが知られている．

ここで，近傍グラフ作成手法を用いて地域間流動データから主要辺を抽出することを考える．点間距離に代わり，地域間流動量に基づき定義する近接性を用いて，近傍グラフ作成を行う．本研究では，ij間双方の流動量の和T_{ij}の逆数$1/T_{ij}$によって 2 点間の近接性を表現する．なおこの近接性指標は，通常，距離の公理を満たさない．そこで，近接性指標に対する近傍グラフ作成手法の適用で，辺の抽出が可能であるか確認を行う．

始めに，近接性指標を用いた最小全域木作成では，非巡回，全点連結かつ，流動量の総和が最大となるグラフを作成することと同義である．

次に，近接性を用いた相対近傍グラフ作成では，辺選別条件は式(3)と表される．

$$1/T_{ij} \le max\,(1/T_{ik}, 1/T_{jk}) \qquad \forall k \ne i,j \qquad (3)$$

最後に，近接性を用いたガブリエルグラフ作成では，辺選別条件は式(4)となる．

$$(1/T_{ij})^2 \le (1/T_{ik})^2 + (1/T_{jk})^2 \quad \forall k \ne i,j \quad (4)$$

近接性指標$1/T_{ij}$はユークリッド距離ではないため，ガブリエルグラフの辺生成条件式(2)における近接性指標の 2 乗はユークリッド距離の 2 乗とは異なり，特別な意味を持った値ではない．そこで，本研究ではガブリエルグラフを用いた辺抽出の拡張を考える．例えば，ユークリッド空間上でのガブリエルグラフの辺生成条件式(2)の各変数の次数を 1 とすると式(5)となる．同様に，地域間流動量データへの適用は式(6)となる．

$$d_{ij} \le d_{ik} + d_{jk} \qquad \forall k \ne i,j \qquad (5)$$

$$1/T_{ij} \le 1/T_{ik} + 1/T_{jk} \quad \forall k \ne i,j \qquad (6)$$

このとき，式(5)の等号は点kが辺ij上にあるとき成り立ち，ユークリッド空間上では点i,j,kは距離の公理を満たしているため，式(5)は常に成立する．よって，辺の抽出に利用できない．しかし，式(6)では近接性指標は距離の公理を満たしていないため，辺が抽出される可能性がある．よって，式(4)の次数を変化させ，式(7)という新たな主要辺の抽出法を設けてもグラフを構築することが可能である．

$$(1/T_{ij})^\alpha \le (1/T_{ik})^\alpha + (1/T_{jk})^\alpha \quad \forall k \ne i,j \qquad (7)$$

3. 距離カルトグラム作成手法の応用による グラフ配置手法の提案

次に，近傍グラフの抽出結果をグラフ表示する際に，辺に点が接近し読図が困難となる問題に対し，点と辺の接近を回避するグラフ配置手法の提案を行う．しかし，無意味に点と辺を離してしまえば，地理的位置関係が大きく崩れ，読図が困難となる恐れがある．そこで，本章では地理的位置関係を保ちながら点配置を更新できるグラフ配置手法の一つである距離カルトグラム作成手法(清水・井上, 2004)を応用した手法を提案する．

距離カルトグラム作成とは，出力されるカルトグラム上の点ij間距離d_{ij}^Cが，点ij間に与えられたデータt_{ij}に合うように点を配置する問題である．データが与えられた点間の辺の集合をLとすると，目的関数は最小二乗法で表現できる．

$$min \textstyle\sum_{ij \in L} \left(d_{ij}^C - t_{ij}\right)^2 \qquad (8)$$

しかし，距離カルトグラム作成問題は，カルトグラム上の点間距離情報を与えただけでは，その点位置を一意に決定することはできない不良設定問題である．そこで，点間の方位角変化を抑制する項を導入し，問題の正則化を行う．辺ijの地理座標上の方位角をθ_{ij}，カルトグラム上の方位角をθ_{ij}^C，正則化項の重みをμとすると式(9)となる．

$$min \textstyle\sum_{ij \in L} \left[\left(d_{ij}^C - t_{ij}\right)^2 + \mu\left(\theta_{ij}^C - \theta_{ij}\right)^2\right] \qquad (9)$$

距離カルトグラム作成手法ではカルトグラム上の辺の方位が，地理的地図上の方位に近く表現されるため，地理的地図との比較が容易となる．

そこで，距離湖カルトグラム作成手法を応用し，地域間流動データのグラフ表現における点と辺の接近を回避するグラフ配置手法の提案を行う．

主要辺の抽出結果を地理的地図上に配置した時，図 3 のように，点 k が主要辺 ij に接近して配置されていたとする．もし，点kから主要辺ijま

での点と辺の間の距離$d_{ij,k}$が許容値以下であれば，図 3 の矢印の向きに，$d_{ij,k}$が許容値まで離したと仮定して点 ik や点 jk 間の距離と方位角を更新し, その結果を距離カルトグラム作成手法に入力して新たな点の配置を得る.

点と辺の接近の検出, 緩和を目指した距離と方位角の更新, 距離カルトグラム作成を用いた点配置の更新という一連の操作を繰り返すことで, 点の地理的な配置を保ったまま, 点と辺の近接問題を緩和することが可能になると考えられる.

4. 提案手法の適用

第 4 回(平成 17 年) 全国幹線旅客純流動調査を用いて提案手法の適用可能性の検証を行う.

このデータは通勤･通学等の日常生活圏内の流動を除く, 都道府県を跨ぐ長距離流動を対象としている. また, 交通機関の乗り継ぎ状況によらず, 実際の出発地から目的地までの流動を集計したデータである. 集計ゾーンは都道府県を基本とするが，北海道は 4 つの地域に分割し，首都圏・中京圏･近畿圏の三大都市圏内の流動は都道府県内の流動と同様に扱う．グラフ配置に関して，県庁所在地などの代表点を地理的位置に設定し, 沖縄県は表示上理由で首都圏の南に配置する.

まず，2 章で述べた近傍グラフを本研究の使用データに適用し, 地理的位置に配置した結果は図 4,5,6 及び表 1 である．辺の配色は全 OD の 860 本のうち，純流動上位 5%の辺を赤色，上位 10%を橙色， 上位 15%を緑色とする．ここで，例えば図 4 の首都圏, 中京圏, 近畿圏に注目してみる. 実際にはこの 3 つの点間には, 近畿圏から首都圏, 中京圏から近畿圏の 2 本の辺しか存在しないが, 近畿圏から首都圏の辺上に中京圏が存在するため，読図者の誤解を招く可能性がある.

次に，3 章の時間地図作成手法の応用によるグラフ配置手法を適用すると，図 7,8,9 となる．図 7 では近畿圏から首都圏への辺に対して中京圏の辺が離れた位置に配置されているのが分かる. 結果，全国幹線旅客純流動調査のデータでは，中京圏は首都圏よりも近畿圏に対して依存度が高いことが把握しやすくなった.

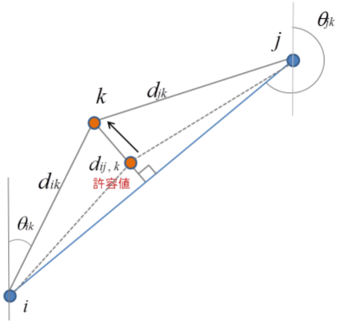

図 3　点線間距離を許容値まで離したと仮定したときの配置

表 1　近傍グラフによる抽出結果

近傍グラフ	全流動量に対する表現流動量割合	辺数
最小全域木	63.0%	41
相対近傍グラフ	66.5%	47
ガブリエルグラフ(α=1.5)	71.4%	53

また，図 5,8 の相対近傍グラフでは，抽出された辺は 47 本にもかかわらず，純流動上位 15%の緑色で描かれた富山県と新潟県間の辺が抽出されている．このことから，富山県と新潟県の依存関係が強く, 他県から富山県かつ新潟県との繋がりが強い県が存在しないことが把握できる. このように，近傍グラフを用いれば，単に流動量の多い辺を抽出するだけではなく, 地域間の依存関係等の構造的な特徴を把握することが可能である.

また，ガブリエルグラフのαの値を作図者の目的に応じて変化させることで，図 6・9 のように辺数を変化させたグラフ作成が可能である.

5. おわりに

本論文では, 地域間流動データの視覚化に関して，近傍グラフの応用による主要辺の抽出法，および, 地理的位置関係を保持したグラフの配置手法について時間地図作成手法を応用した提案を行った．提案手法では，表現する辺の数を変化させた柔軟な地域間流動データの表現が可能である．また，地理的位置関係を保持し，点と辺の接近を回避したグラフ配置が可能で, 視覚的に分かりやすい表現を行うことができる.

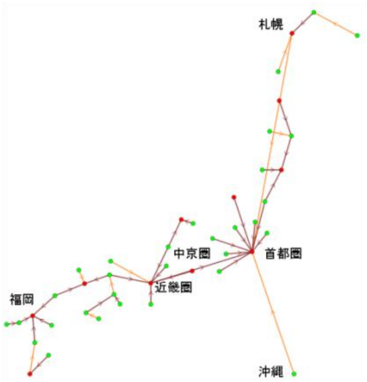

図 4　主要辺の抽出結果(最小全域木)

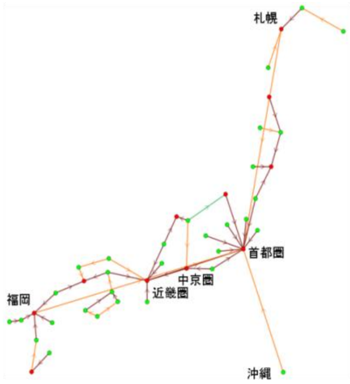

図 5　主要辺の抽出結果(相対近傍グラフ)

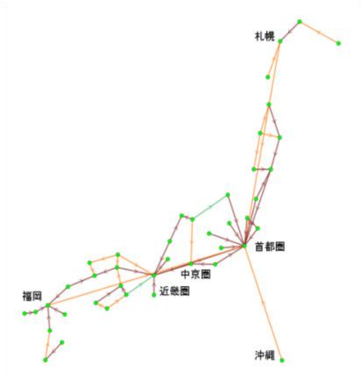

図 6　主要辺の抽出結果

（ガブリエルグラフα =1. 5）

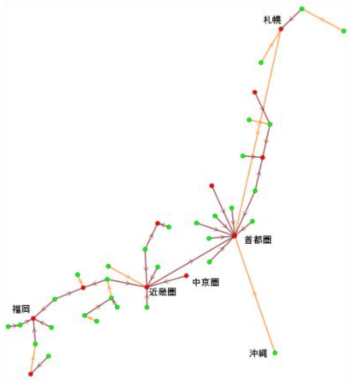

図 7　点辺の接近緩和の結果(最小全域木)

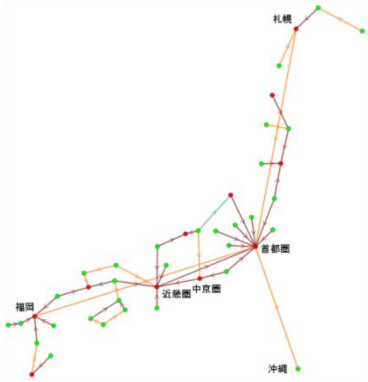

図 8　点辺の接近緩和の結果(相対近傍グラフ)

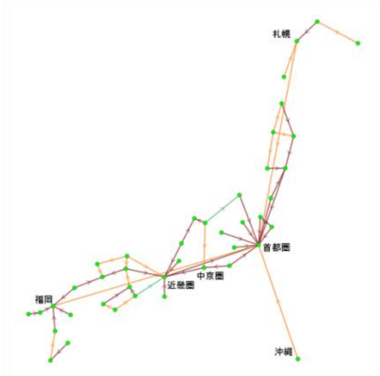

図 9　点辺の接近緩和の結果

（ガブリエルグラフα =1. 5）

謝辞

本論文は, 日本学術振興会科学研究費助成事業の基盤研究(A) 24241053 の援助を受けて行われた研究の一部である.

参考文献

Gabriel, K.R., Sokal,R.R. 1969. A new statistical approach to geographic variation analysis. *Systematic Zoology*, **18**(3): 259-278.

Granam, R.L., Hell, P. 1985. On the history of the minimum spanning tree problem. *Annals of the History of Computing*, **7**(1): 43-57.

Toussaint, G.T. 1980. The relative neighbourhood graph of a finite planar set, *Pattern Recognition*, 12(4), 261-268.

清水英範，井上 亮. 2004. 時間地図作成問題の汎用解法,土木学会論文集, (765 IV-64): 105-114.