地域構造と視覚化時間距離網

古藤 浩

Regional Structure and Visualized Time-Distance Network

Hiroshi KOTOH

Abstract: This paper focuses on the time distance as an index of regional structure, and shows a new method for presenting its structure visually. The method enables us to create a graph of regional structure, which treats each city as a point, and related time distance between cities as the length of an edge. Since constructing the network from any time distance data is generally difficult, some rules are set for constructing the graph. Two types of visualized time-distance networks are designed in this paper. One is minimum time-distance network and the other is delaunay time-distance network. Visualized time-distance network has below good points. It does not contain errors in the figure, it is easy to understand, and it can also visualize additional informations in the figure. To show these methods, the author uses as examples the visualized time-distance networks in Japan and Europe. Moreover, a necessary condition for constructing the graph is also explored.

Keywords: 視覚化時間距離網(visualized time-distance network), 地域構造 (regional structure), 最短所要時間(minimum time required), ドローネ網(delaunay net)

1. はじめに

国土計画など、広域的な都市計画を考えるとときには地域構造を把握することが必要である。地域構造に関する一つの概念として地域の都市相互間の移動利便性が考えられる。これを正しく把握することは次にどの地域に交通施設を整備するべきかを計画するために重要である。

移動利便性の指標としては、地図そのもので表される直線距離の他に、所要時間、道路距離、費用、運行頻度（公共交通機関の場合）などが考えられる。これらの指標は路線個別の計量こそ容易だが、直線距離以外は地域の中でどのような構造にあるかの把握や表現は一般に困難である。

そこで本研究では公共交通機関による最短所要時間をとりあげ、都市の位置関係を表現する新しい概念である視覚化時間距離網を提示し、それによって地域構造を分析する。

従来、所要時間による位置関係の図化は一都市対

複数都市の視点で行われてきた。例えばMcKenzie (1933)はシカゴからアメリカ国内への所要時間の変化を地理的な方向と所要時間に比例する長さで表現した。また腰塚(1985)は時間圏域という概念を導入して東京と近郊地域の関係を図示した。

一方、複数都市間距離を所要時間に比例した長さで表そうとすると通常多次元的になり平面に描けない。これに対応して複数都市間を対象とする研究は多次元尺度法を基礎としていくつか行われた。多次元尺度法はこの問題を解決するため多次元のデータを低い次元で近似表現する方法としてTorgerson (1952)によって提示され、認知地図や時間距離による空間地図の作成に使われた(Ewing and Wolfe, (1977); Golledge and Rushton,(1972); Muller, (1978))。しかし近似手法なので位置に誤差を持ち、図の部分に関する精細な議論に利用するのは適当でない。

多次元尺度法を用いない例では、榎谷ほか(1995)は道路網に注目し、道路を表す辺の上に関して、という限定的な意味で誤差を持たない時間距離網の表現を行った。道路網は原則として平面グラフで表現できるが、本研究で扱う公共交通は交通機関が多様かつ階層性（例えば、鉄道での特別急行、急行、普

古藤：山形市上桜田200番地 東北芸術工科大学情報デザイン学科, Tel.0236(27)2062

Department of Information Design, Tohoku University of Art & Design,
200 Kamisakurada, YAMAGATA 990

図1 札幌・東京・大阪間の位置関係

通)を持つので、基本となるグラフが平面グラフとならず、作図ははるかに困難である。

本研究ではいくつかのアイデアによって作図の困難さに対応する方法を考案し、地域構造を表現する二種類の視覚化時間距離網を提示する。一つは表示している任意の都市間の時間距離が把握できる視覚化時間距離網であり、「最短時間距離網」と呼ぶ。もう一つは対象都市のドローネ網を基本とし、それが時間距離に直すとどう変化するかを見る視覚化時間距離網であり、「ドローネ時間距離網」と呼ぶ。これらの視覚化時間距離網はいくつかの制約がある一方で、多次元尺度法を使ったときにおきるような誤差を含まない。そして、限定的な意味ではあるが都市間の正確な時間距離を知ることが出来るものである。また視覚化時間距離網では時間距離を辺の長さで表すので、辺に幅を持たせたり、彩色することによって情報を付加させることが可能という特長も持つ。

2. 視覚化時間距離網の基本概念

各都市の位置を点で、その隣接関係を辺で表す。そして辺に所要時間に比例する長さを与えて図(グラフ)を構成し、これを視覚化時間距離網と定義する。本研究では所要時間として公共交通機関による最短時間を考えることにする。例えば東京、大阪、札幌の三都市で視覚化時間距離網を作図すれば図1aになる。一方三都市間の地理的な関係を図示すれば図1bとなる。図1a・bを比較すると、地理的な位置と所要時間から見た位置の相違が明快である。例

えば地理的には東京-大阪間よりはるかに遠い位置にある札幌市が、実は東京-大阪間の移動とそれほどは変わらない程度の時間で行ける位置にあること、所要時間の面から見れば札幌市は東京からも大阪からも同じ程度離れていることが理解できる。もちろんこの三都市間の所要時間の関係のイメージは図を作るまでもなく理解されていることであろう。しかし、多数の都市間の所要時間に関してこのような図があれば、地域の理解に大きな助けとなるはずである。一方、都市の数が多いときは、様々な理由によって作図が困難となる場合が多い。

以上をふまえ、続く3節、4節ではより多くの都市を対象としたときに視覚化時間距離網を作図する考え方を議論していく。

3. 最短時間距離網

3.1. 最短時間距離網の定義

最短時間距離網は、対象とする都市群内の任意の二都市間の時間距離を全て調べて作成する視覚化時間距離網である。

最短時間距離網ではいくつかの規則に従って辺を削除することによって作図を可能にする。そして残った辺によって視覚化時間距離網を作図する。その中で、もしも二都市が直接辺で結ばれていれば時間距離は正確にわかる。また直接辺で結ばれていなくても二都市を結ぶ辺列の最短な長さの和によってその時間距離を近似的に知ることが出来るという特長を持つ。

3.2. 作図の規則

まず視覚化時間距離網を作図する基本的手順を次に決める。最初に任意の都市を点としておき、次に別な点の一つ取り、二点を所要時間の長さの辺で結ぶ。この最初に描く二点と一辺は位置決定に自由があり、これによって図の原点と方向が決定する。そして順次一点ずつ加えながら、その点とそれまでに描いた点につながる辺を加えていき、作図をすすめる。

このとき作図の困難の問題がいくつかおきるのので、以下ではその問題と最短時間距離網での対処方法を説明する。なお以下では点a,bを結ぶ辺の長さを

$l(ab)$ と書く。

(1)三角方程式を満たさず作図できない場合

二辺によって点の位置を決定するときに、辺の出発点間の時間距離が二辺の長さの和より長い場合である。例えば図2aのように、三点a,b,cが互いに辺で結ばれるべきときに、関係 $l(ab) + l(bc) < l(ac)$ が成立する場合で、都市aからcへの最短経路がbで乗り換えをする場合にbでの待ち時間が加わるのでおきる。

対応：該当三角形の最も長い辺（図2aでは辺ac）は描かない。そして辺列abcはbで自由に折り曲げて描けるとし、他の困難を解決するために利用する。4点以上の時間距離網でこの問題が発生する場合を含め、この対応法は「ある辺の所要時間が、別な点列を経由した和の所要時間以上の場合、その辺を除く」とする。

(2)点や辺の位置を特定できない場合

例えば図2bの点dのように、一辺のみによって点の位置が制約されている場合、位置は一意には決まらない。また図2bの点e,fのように四辺によって二点の位置が制約される場合などもこれに該当する。

対応：逆に言えば位置決定には自由があるので、位置は自由とし、他の困難を解決するために利用する。

(3)所要時間に対応する点の位置が存在しない場合

一般に二辺によって点の位置は決まるので、図2c

の点dのような三辺、またはそれ以上の辺によって点の位置を決めなくてはならない場合、点の位置決定は不可能である。

対応：(1),(2)の対応によって得た自由によって処理する。

以上の方法によって東京、大阪、札幌、名古屋間の最短時間距離網を表1から作図すれば、図3になる。図3では東京-大阪間の最短時間経路は名古屋経由なのでこの辺が除かれ（表1で網掛け表示）、それによる自由によって札幌の位置が決定できる。対応[1]によって二都市が直接辺で結ばれていなくても二都市を結ぶ辺列の最短な長さの和によってその時間距離を近似的に知ることが出来る。つまり、図3の例のでは、東京-大阪間の最短所要時間は、札幌経由の辺列と名古屋経由の辺列の長さを比べ、短い方、つまり名古屋経由の辺列の長さの和と（待ち時間を別として）知ることができる。

なお都市の位置関係を表現したときに、地図上の（直線距離による）関係との対応がわかりにくいと、空間のイメージを捉えることが困難になる。そこで視覚化時間距離網では点と辺のもともとの地理的な位置関係をできるだけ保持することとした。また、以下の議論では二点間の辺が除去されず、結ばれている場合に「隣接関係がある」と呼ぶことにする。なお、視覚化時間距離網では辺に沿ってのみ意味があり、図を縦横に測ることに意味がないので

図2 様々な作図困難状態

表1 4都市間の移動所要時間

	札幌	東京	名古屋	大阪
札幌		198	198	193
東京			97	164
名古屋				65

(分)

図3 4都市間の最短時間距離網

注意されたい。

最短時間距離網は選択した都市と、都市間を結ぶ辺の長さのみ意味を持ち、選択しない都市は無関係となる。しかし、公共交通機関では一般に乗降できるのは駅や停留所など点的施設なので、あらゆる位置を考慮することには意味がない。また、上記の対応方法によっても時間距離網を必ず描けるとは限らないので、後述する事例では必要に応じて都市を選択するとした。

以上のように制約がある一方で、最短時間距離網は多次元尺度法を利用したときにおきるような誤差が辺に存在せず、辺の長さの意味がはっきりしているという長所を持つ。また都市間の関係が辺によって明確に視覚化されているので、辺に情報を載せることによって地域構造を多面的に表現することが可能という特長も持つ。例えば、辺の太さや色を様々な条件によって変えて行くことによって時間距離だけでなく、その運行頻度や交通機関の種類を表現することが可能である。

任意の都市と時間距離の集合から必ず最短時間距離網を描けるとは限らない。そこで作図できるように都市数を限定しなくては行けない。このときいくつかの都市を取り上げるかはそれぞれの地域の特徴を勘案して決めることとした。また都市の数と辺の数がどのような関係にあれば作図可能かという議論は5節で行う。

3.3. 関東・中部地方の最短時間距離網

まず関東・中部地方の最短時間距離網を考察する。対象都市は各都県で人口が多い順に2市を選び、計32都市とした。時間距離は以下の原則で計算した。各都市の起点は都市名と同じ名前のJR駅(存在しない場合、地図を参考に決定)とした。時間距離の算定には市販ソフトウェア“駅スパート全国版”(ヴァール研究所)を利用して求める。ただしこのソフトウェアは時刻表を記憶せずに近似計算をするプログラムであること、地方交通線では不完全な点が多いことから、次の確認作業を行った。(1)航空機や特急列車間の乗り換え待ち時間は時刻表で確認する。(2)待ち時間の算出法がソフトウェアでは不透明なので(1)以外の乗り継ぎは10分とし、航空機は20分とする。(3)普通列車で60分以上の乗車は快速列車がないか時刻表で確認する。(4)運行頻度は時刻表で別に確認する。

時間距離が短くても、一日の運行本数があまりに少なければ時間的に近いとはいえないので、一日5往復以上運行する経路で時間距離を設定した。また同じ路線の特別急行列車でも停車駅等の条件によってわずかに所要時間が異なるので、最も短い所要時間の便に対して30分の31以下の時間で結ぶ便の数で運行本数とした。同じ路線で停車駅が異なっても本数に数えるが、路線そのものが異なる場合は共通の線で表す意味がないので所要時間が短い方の路線のみをとり、両者の所要時間の差が30分の31以下の差でもとりあげないとした。さらに、一つの辺の中で乗換を必要とする場合、待ち時間を加えて時間距離とした。以上の結果、対象都市間の辺数は52本となり、その地理的構造は図4に表わされる。ここで東京-富山、東京-小松間は航空機の利用、他は鉄道路線である。

図5が関東及び中部地方の最短時間距離網である。図5では運行本数の情報を辺の太さをによって表現した。凡例は時間距離が辺上でのみ意味を持つことを表している。最短時間距離網によって図の中央が東海道本線沿線、左右両端が北陸地方と山梨県になった。東海道線は運行本数も多く、沿線地域の交通利便性の良さが浮き出た。関東地方では足利市の交通上の不便さが目立つ。足利市へは東武鉄道など私鉄

も入っているので、交通機関の選択肢は多いが、どの経路でも所要時間が相対的に長いようである。東京-名古屋間は新幹線のぞみがあるので、同じ新幹線

を利用する経路である静岡、浜松、豊橋経由とは別に結ばれた。のぞみの早さが浮き彫りになったといえよう。このように同じ線路上を走るとしても、そ

図4 関東及び中部地方の地理的位置関係と所要時間
(边上の値は所要時間(分))

時間距離は边上に沿ってのみ意味を持つ

図5 関東及び中部地方の最短時間距離網

の時間距離の相違が視覚化できるのは最短時間距離網の特徴の一つである。運行本数でも時間距離と同様に東海道本線沿線の利便性の良さが明らかとなった。また逆に甲信越地方の相互のつながりは非常に弱いことが表現された。実際、図5で運行が10往復未満の線は7本あるが、そのうち4本がこの地方と関係している。

位置の自由が多少あるので、形はこれに限るわけではないが、図4の地図とは全く異なる所要時間に関する構造が明らかになった。なお、直接結ばれていない都市間の最短所要時間は最短となる辺の長さの合計に、経由点での待ち時間（図にその情報はない）を加えることで得ることができる。

3.4. ベルギーとオランダの最短時間距離網

国内外を比較するためにベルギーとオランダを合わせた地域の最短時間距離網も分析する。10万人以

上の人口を持つ24市を基本としたが、それらの都市間では作図が不可能なため、作図可能にするためさらにZwolle, Deventer および Zutphenの3市を加え、合計27市とした。なお都市の数を調整するための条件については第5節で議論する。経路は鉄道のみを対象とし、時刻表を参考に時間距離を調べた。ただし、この領域内ではBrussels - Amsterdam 間に航空路線が就航しているのでこの図は完全な最短時間距離網ではない。対象都市間の辺数は39本で、その地理的構造は図6に表わされる。

最短時間距離網を作図した結果が図7である。図4、図5と異なり、地理的な構造と最短時間距離網が非常に似ていることが直ちにわかる。その理由として、この範囲には新幹線のような高速鉄道路線がないこと、最高標高が500m未満と地形が平坦で鉄道が蛇行するような障害がないこと、鉄道の歴史が古く、十分鉄道網が発達していることが挙げられよ

図6 オランダ・ベルギーの地理的位置関係と所要時間
(边上の値は所要時間(分))

図7 オランダ及びベルギーの最短時間距離網

う。運行本数の面から見ると、人口稠密なオランダで本数が多い路線が多いという地域差が見られるが、ベルギーでも一日10往復未満の路線は一本のみである。つまり、時間距離だけでなく運行本数の面からも、この地域全体の交通網が日本の場合よりもはるかに均質に出来ていることがわかる。結局、図5、図7の比較から、地域構造に強く影響する最短時間距離に関する要因として次のものが挙げられる。

- (1)新幹線のような特別な高速路線の有無。
- (2)山岳地域の有無など地形的起伏の大きさ。
- (3)鉄道網の面的に整備されている程度。

4. ドローネ時間距離網

4.1. ドローネ時間距離網の定義

最短時間距離網では日本全体など、より広い地域の作図は一般的に出来ない。なぜならば何百キロメートルという長距離を結ぶ交通機関は航空路線が主となるので、辺は直接に結ばれることとなり、作図が不可能になるからである。例えば東京、大阪、札幌、福岡の四都市間は互いに直接に航空便が就航しているので、最短時間距離網の作図は不可能である。そこで、ここでは広い地域の都市間構造の視覚化を目的とした、別の規則による視覚化時間距離網を提示する。

任意の地域と都市群を考えドローネ網を作図し、そのドローネ網の各辺を時間距離で置き換えたものをドローネ時間距離網と定義する。その意味は次のように考えられる。ドローネ網は最小角を最大にした地域の三角形分割であり、辺の長さの和を最小にしたものではないが、かなりそれに近いものと考えられる(伊理・腰塚(1986))。また、ボロノイ図で隣接している点の組が辺で結ばれているので、辺で結ばれている都市間は、ある意味で隣接した位置関係にある。つまりドローネ網は地理的に密接な関係にある位置の都市間を結ぶ網といえる。そこで、ドローネ網の辺を時間距離に置き換えれば、それぞれの部分部分で地域としてのまとまりがどの程度存在しているかを考察する一つの道具となるのである。

4.2. 作図の規則

ドローネ時間距離網作図の基本的手順と辺の削除

の基本的な規則は最短時間距離網の場合と同じとし、さらに次の規則を加える。

- (1)ドローネ網は都市群の凸包の大きさになるが、あまり離れた都市のペアはたとえ辺が存在しても隣接した関係にあるとはいえない。例えば、次節で議論する日本のドローネ網では札幌-松江など札幌と日本海側のいくつかの都市間に辺が存在する。そこで、ある距離以上の辺は削除する。なお、それぞれの場合で対象地域の広さを勘案し、適当な基準となる距離を設定しなくてはならない。
- (2)二都市間の最短時間経路に対象都市群に属している他の都市がある場合は、その辺を削除する。これは三角方程式を満たさない場合に辺を削除する規則よりも強い規則である。しかし、経由地に他の都市が入る場合、当該都市間はもはや「隣接した関係」とはいえないと考え削除することとした。

ドローネ時間距離網では、直接辺でつながっていない二都市間の時間距離を限定的な意味でも知ることとは出来ない。ドローネ時間距離網は、あくまで、地域の隣接関係が移動の利便性の観点で見たときにどのように相違するかを視覚化する道具なのである。

4.3. 日本のドローネ時間距離網

日本の都道府県庁所在地間の隣接関係をドローネ時間距離網で表す。ここで追加規則(1)によって削除する辺の長さの基準は250 km とした。基準以上の辺を削除すると、図8のように残った辺は108本となった。なお、那覇市と札幌市にはつながる辺は残らなかったため、これら二都市は表示されない。そして時間距離は最短所要時間によとし、前章と同じ手順で算定した。なお、ソフトウェアは海路に対応してないので、瀬戸内海をまたがる辺は時刻表で海路を調べ、陸路、空路と比較した。辺の削除の結果、図8で点線で表される35本の辺が除かれ辺数は73となった。また空路は4辺、海路は3辺となった。

以上による日本のドローネ時間距離網は図9になった。図9では1997年3月の秋田新幹線「こまち」の開業前後で形がどの程度変わったかも視覚化した。点線が開業前、実線が開業後である。ここから次のようなことがわかっていく。

図8 日本の都府県庁の250km以上の辺を除いたドローネ網
(破線はドローネ時間距離網では削除される辺)

図9 日本のドローネ時間距離網

まず、東海道新幹線沿線の都市は海岸線に位置するが、ドローネ時間距離網では都市群の中央を抜ける位置になる。また本数でも関東地域と、近畿地域のつながりが強いことがわかるが、特に名古屋から神戸までの地域のつながりは非常に強いことがわかる。逆に、日本海沿岸部・九州・四国の都市間の時間距離は一般に長く、また本数も少ないので、行き来が容易な関係にあるとはいえない。「こまち」の効果はそれほど強烈には見えないが、これは、当路線が走行時間よりもむしろ盛岡での乗換をなくすことに効果が存在

するからであろう。

なお、ドロネ網を基本としているため逆に地域構造を正しく表現できない場合もおきた。例えば福岡と広島は実際には図で見るよりも近い関係にあるといえよう。しかしドロネ網で福岡と広島は結ばれておらず、また山口は新幹線が通ってないため、実際の感覚よりも離れた位置になった。つまり、ドロネ時間距離網では元となる網がドロネ網なため、かえって実感と異なる表示になる場合もあるということを注意する必要がある。

5. 作図可能な必要条件

任意の都市と時間距離の集合から必ず視覚化時間距離網を描けるとは限らない。そこで点と辺の数に注目して作図可能なための必要条件を議論する。ここで議論する条件は三本以上の辺によって点の位置を決定しなくてはならない場合、一般に作図できないことを基礎概念とする。

対象とするデータの点（都市）の数を V 、辺（隣接関係）の数を E とおく。最も単純な視覚化時間距離網は二つの都市とその隣接関係で表されるが、このとき $V=2, E=1$ である。この図形によって原点、方向が決まるので、これを基本形と呼ぼう。

最初の仮定として基本形以外の全ての点が二辺によって決められるとする。そして基本形に点と辺を加えて視覚化時間距離網を作図していくことを考える。すると、一点を加える度に辺が二本ずつ加わるので、点と辺の関係は

$$2(V-2)=E-1 \quad (1)$$

となる。

次に仮定を緩和し、式(1)に一辺のみで位置が決定する点を加えることを考える。このような点と辺の組の数を a とおき、式(1)の点と辺から a の数を除けば等式は、

$$\begin{aligned} 2(V-2-a) &= E-1-a \\ 2(V-2) &= E-1+a \end{aligned} \quad (2)$$

となる。そして a は視覚化時間距離網の中で位置の決定に自由がある点の数を表す。

さらに仮定を緩和し、式(2)に三辺以上によって位置が制約される点を加えよう。ただし、このような

点が一カ所でもあると視覚化時間距離網は作図できない。三辺以上で位置が制約される点数を VI 、辺数を EI とおき、さらに EI は VI の3倍以上なので

$$EI = 2VI + \beta, \quad \beta \geq VI$$

と書くことにする。式(2)の点と辺から VI と EI に関する数を除けば等式は、

$$\begin{aligned} 2(V-2-VI) &= E-1+a-2VI-\beta \\ 2V-E-3 &= a-\beta \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ここで

$$f = 2V - E - 3 \quad (4)$$

と定義すると次がわかる。まず f が負ならば明らかに β は1以上なので作図できない。また f が正でも β と a が打ち消しあっているだけで、 β は正かもしれないので、作図できるとは限らない。そこで $f \geq 0$ の場合に $\beta = 0$ かを確認するためには、隣接関係から任意に、いくつかの点とそれら点間の隣接関係の辺を取り出し f を計算しなくてはならない。このとき、常に $f \geq 0$ が成立すれば明らかに $\beta = 0$ である。以上をまとめると次が言える。

必要条件：任意の都市と時間距離の集合から任意の都市群とそれら都市間の時間距離を取ったときに必ず $f \geq 0$ であることは、視覚化時間距離網が作図できるための必要条件である

なお作図時の点と辺の関係として三点を六辺によって決める場合、五点を十辺によって決める場合などもあるが、この条件はそれらを含む。

この条件は必要十分条件ではない。すなわち $\beta = 0$ であっても辺の長さなど他の理由によって作図できない可能性も存在する。例えば図10は作図できない例であるが、ここでは $f = 0$ なので必要条件の意味では視覚化時間距離網を作図できないとは言えない。必要十分条件とするためには、辺の長さが関係する条件が必要である。しかし、視覚化時間距離網はおりがえしなど図形の描き方の自由が大きいため、ここでは示さないが、辺に関する条件は非常に複雑となった。むしろ、不完全ではあるが、上記の点と辺の数に関する必要条件での f の値にある程度の余裕を持たせたデータから、作図する方が効率がよいようである。

辺の長さを保ったまま
点eを作図することは
出来ない

図10 作図できない時間距離網

6. おわりに

複数都市間の関係を視覚的に考察するための視覚化時間距離網という考え方を提示し、その作成事例を分析した。そして作図するための条件についても考察した。

4節で説明したように、本研究の方法は航空機路線の作図には適さないもので、その場合は従来の多次元尺度法に依った方が有効であろう。また全体の大まかなイメージをつかむ場合も多次元尺度法による方が有効であろう。しかし多次元尺度法は近似手法のため、一本の辺に誤差が集中する可能性があり、図の部分で議論するには不安がある。本研究の方法ではそれぞれの辺の長さに誤差がなく、特に最短時間距離網の場合は任意の都市間の所要時間も辺の合計として表示できる（待ち時間は表示されないの、下限であるが）。また時間距離の長さの辺で点を結んでいくという考え方は、意味がわかりやすいともいえよう。さらには辺そのものに新たな情報を載せていくことが可能という点など、多次元尺度法には無いいくつかの長所を持つ。

以上のことを考慮した上で、視覚化時間距離網を地域構造表示の新しい手法の一つに加え、必要に応じてどの方法で表現するかを決めながら、既存の手法と平行して使われていくことを願いたい。

謝辞

本研究を進めるに当たって、貴重なコメントを下さいました筑波大学社会工学系腰塚武志先生、同系大澤義明先生に記してお礼申し上げます。

参考文献

- 伊理正夫・腰塚武志(1986)『計算幾何学と地理情報処理』, 共立出版。
- 腰塚武志(1985)時間圏域の面積について, 「日本OR学会秋季研究発表会アブストラクト集」, 176-177.
- 梶谷有三・田村亨・斉藤和夫(1995)道路網を対象とした時間距離行列の視覚化, 「土木計画学講演集」, 17, 65-68.
- Ewing, G. , Wolfe, R. (1977) Surface feature interpolation on two-dimensional time-space, *Environment and Planning A*, 9, 429-437.
- Golledge, R.G and Rushton, G.(1972) *Multidimensional Scaling : Review and Geographical Applications*, Technical Paper, No.10, Washington, D.C.:Association of American Geographers.
- McKenzie, R.D.(1933) *The Metropolitan Community*, (Reprinted in 1967, New York: Russell & Russell).
- Muller, J. C.(1978) The mapping of travel time in Edmonton, Alberta, *Canadian Geographer*, 22, 3.
- Torgerson(1952) Multidimensional scaling : I, theory and method, *Psychometrika*, 17, 401-419.