

# 大学の学生募集に資するアクセスマップ作成の新しいアプローチ —時間地図に基づく表現—\*

○鈴木宏典 大島義之（日本工業大学）

**概要** 少子化に伴って大学を取り巻く環境が厳しさを増す中で、「大学へのアクセスの良さ」は、学生募集に際しての重要な要因となりつつある。本稿では、大学への通学の利便性を示す一つ的手段として活用されているアクセスマップに着目し、これを時間地図で表現する新しい試みを行う。そして、作成された時間地図の精度や課題を整理する。

**キーワード:** 時間地図, アクセスマップ, 経路選択, 学生募集

## 1 はじめに

近年の顕著な少子化に伴い、大学を取り巻く環境は厳しさを増している。第二次ベビーブーム世代の学生数を受け入れるため、一時期都心から郊外にキャンパスを移転したものの、そのアクセスの不便さと学生募集の観点から、キャンパスを「都心回帰」させる大学もあり、学生募集の問題は一定数の大学にとって、毎年重要なテーマとなっている。

一方で、鉄道各社による相互乗り入れが進展するなど、郊外から都心を経由して郊外へ至る長距離移動の利便性は向上しつつある。これまで、その大学までの通学は不便と考えられていた地域であっても、利便性が向上すれば、アクセス圏内として学生募集の戦略も変化する可能性がある。

そこで本稿では、大学への通学の利便性を示す一つ的手段として活用されているアクセスマップに着目し、これを時間地図 (time-distance map) で表現する新しい試みを行う。そして、作成された時間地図の精度や課題を整理する。

## 2 初期の時間地図と大学のアクセスマップ

一般に、移動の利便性は時間地図で表されることが多い。清水<sup>1)</sup>によると、初期の古典的な時間地図は非常に単純で、ある一地点に着目したとき、その地点から複数の地点までの所要時間を単純に距離に置き換えたものであった。Fig. 1に一例を示す。地点Oの周囲に、地点A、Bが配置されているとする。O-A、O-Bの所要時間の比に応じて地点A、BをOとの相対位置上に直線的に移動することにより、Oを中心とした時間地図が作成される。しかし、この時間地図は地点Oのみにとって正しい時間地図であって、O以外の地点間の相対位置は一切保証されない。例えば、この例では、Bは地理的にAの北東に位置するにも関わらず時間地図では南東に配置されてしまい、位置関係は破壊される。また、A-B間の所要時間30分は時間地図上では必ずしも正確に表現される保証はない。

大学が公表するアクセスマップも、基本的にこの初期の時間地図をベースに、デザイン的要素を付加したものとして作成されるため、同様の問題が生じる。例えば、著者の所属する日本工業大学が発行するガイドブック<sup>2)</sup>には、Fig. 2に示すアクセスマップが採用されている。大学最寄り駅の新白岡駅から高崎駅、宇都宮駅までの所要時間はそれぞれ100分、60分であるが、アクセスマップでは高崎駅が近くに配置されてしまい、宇都宮からのアクセスが悪い印象を与えてしまう。地

\*本研究は、2018年第59回システム工学部会研究会で発表したものである。

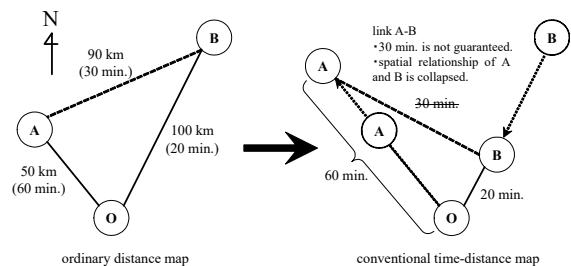


Fig. 1: Conventional time-distance map.

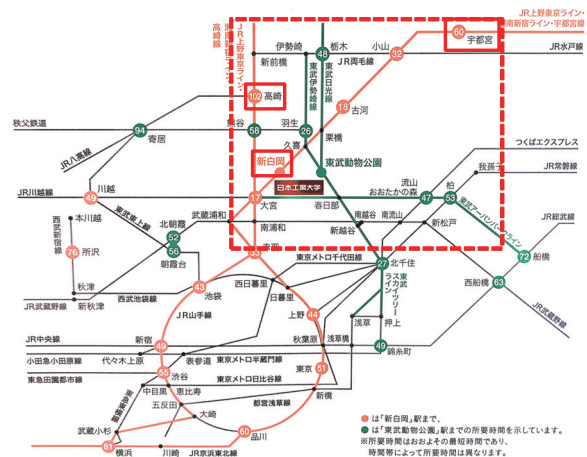


Fig. 2: Access-map of Nippon Institute of Technology<sup>2)</sup>.

理的にも、高崎までは102km、宇都宮までは62kmであるため、距離地図としても時間地図としても必ずしも正確に表現されているとは言えない。

## 3 時間地図作成手法の確立

そこで、吉本<sup>3)</sup>は、多次元尺度構成法 (Multi Dimensional Scaling, 以下MDS) を用い、複数地点間の距離指標が与えられた際にこの相対的な位置関係を最も適切に表現する時間地図の作成を試みた。そして清水<sup>1)</sup>は、これを拡張し、MDSをベースとした手法を複数提案した。しかしながら、MDSは全ての地点間の所要時間を必要とするだけでなく、変換後の位相が破壊される問題点があった。

この問題に対処するため、清水・井上<sup>4)</sup>は、一部の地点間の所要時間のみで構成する時間地図を非線形最

小二乗問題として定式化し、これをLevenberg-Marquardt法（以下、L-M法）を応用した汎用手法（Shimizu-Inoue法、以下S-I法）で解くことに成功した。そして、L-M法に比べて精度が高いことや、地点の相対的な位置関係が極端に乱れにくい手法であることを示した。S-I法で1965年から1995年までの10年毎の鉄道時間地図を作成し、その時間距離が縮まっている様子を高い精度で再現した。

本研究では、一つの例として、筆者の所属する日本工業大学を対象とし、アクセスマップの作成を前提とした時間地図をS-I法<sup>4)</sup>を用いて作成する。そして、その精度を検証し、課題点等を整理する。

#### 4 S-I法による時間地図の作成手法<sup>4)</sup>

##### 4.1 非線形最小二乗問題の定式化

Fig. 3に示すように、2地点*i, j*の時間地図上の位置座標をそれぞれ  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$ 、所要時間を  $t_{ij}$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n, j=0, 1, 2, \dots, n$ ) とする。ただし、 $(x_0, y_0)$ の座標は既知とし、未知の座標は  $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n$  とする。また、所要時間が与えられたリンク  $ij$ の集合を  $L$  とする。この時、時間地図上のリンク間距離と、与えられた  $t_{ij}$  の差分が最小となるように  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$  を決定すれば良い。したがって、(1)式の非線形最小二乗問題として定義できる。

$$\min J = \sum_{ij \in L} \left( t_{ij} - \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \right)^2 \quad (1)$$

##### 4.2 S-I法による解法

S-I法では、時間地図上のリンクの座北方位角が距離地図上のそれと極力乖離せず、距離地図上の地点の位置関係が破壊されるのを極力防ぐ。これを反映したものが(2)式である。

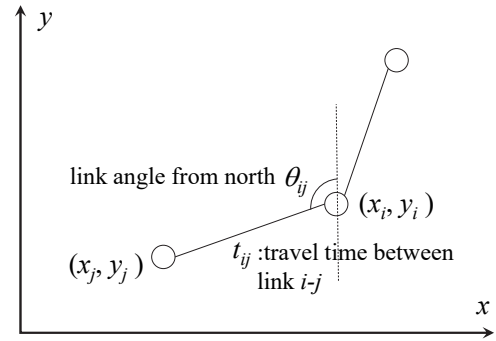
$$\min J = \sum_{ij \in L} \left[ \left( t_{ij} \sin \theta'_{ij} - (x_j - x_i) \right)^2 + \left( t_{ij} \cos \theta'_{ij} - (y_j - y_i) \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここに、 $\theta'_{ij}$ は時間地図上のリンク  $ij$ の座北方位角  $\theta_{ij}$ の近似値である。(2)式は、リンク所要時間の正弦と余弦が、時間地図上の  $x$  軸、 $y$  軸方向の差分と限りなく等しくなるように地点の座標を定めることを示す。(2)式は  $x$  軸、 $y$  軸方向それぞれ独立して解いても構わないため、(3)式のように分割する。

$$\begin{cases} \min J_x = \sum_{ij \in L} \left( t_{ij} \sin \theta'_{ij} - (x_j - x_i) \right)^2 \\ \min J_y = \sum_{od \in L} \left( t_{ij} \cos \theta'_{ij} - (y_j - y_i) \right)^2 \end{cases} \quad (3)$$

(3)式のそれぞれの式を未知数  $x_i$  (または  $x_j$ )、及び  $y_i$  (または  $y_j$ ) で偏微分してそれを0と置いて等式を得る。

$i(=1, 2, \dots, n)$ に着目し、結合している  $j$ に対して既知の  $t_{ij}$ と  $\theta'_{ij}$ を(4)式のそれぞれに与えれば、 $x$ 座標、 $y$ 座標それぞれ  $n$ 本の等式が得られる。未知数  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 及び  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ と等式の数が一致しているため、



$$\begin{cases} \frac{\partial J_x}{\partial x_i} = 0 \Leftrightarrow 2 \sum_{ij \in L} \left( t_{ij} \sin \theta'_{ij} - (x_j - x_i) \right) \cdot 1 = 0 \\ \frac{\partial J_y}{\partial y_i} = 0 \Leftrightarrow 2 \sum_{ij \in L} \left( t_{ij} \cos \theta'_{ij} - (y_j - y_i) \right) \cdot 1 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

未知数の集合をそれぞれ  $\mathbf{x}=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 及び  $\mathbf{y}=[y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ として、(5)式の行列計算で未知数が求められる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{C}_x, \quad \mathbf{y} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{C}_y \quad (5)$$

ここに、 $\mathbf{A}$ は式(4)の  $x_i, x_j$ 及び  $y_i, y_j$ の係数行列、 $\mathbf{C}_x, \mathbf{C}_y$ は  $t_{ij}$ と  $\sin \theta'_{ij}$ 及び  $\cos \theta'_{ij}$ を含む式(4)の定数項の係数行列である。前述した通り、 $(x_0, y_0)$ の座標は既知の値を常に入力する。

Fig. 4に計算手順を示す。まず  $t_{ij}$ を準備し、これと距離地図上の各リンクの座北方位角を  $\theta_{ij}$ として  $\mathbf{A}, \mathbf{C}_x, \mathbf{C}_y$ を計算する。次に、(5)式により  $\mathbf{x}$ と  $\mathbf{y}$ を求める。得られた  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$ は時間地図上の座標であり、この値から座北方位角  $\theta_{ij}$ を計算する。前ステップの  $\theta'_{ij}$ と現ステップの  $\theta_{ij}$ の誤差が収束条件を満たせば計算を終了させ、そうでない場合は  $\theta_{ij}$ を  $\theta'_{ij}$ として改めて  $\mathbf{A}, \mathbf{C}_x, \mathbf{C}_y$ を計算し、収束するまで繰り返し  $\mathbf{x}$ と  $\mathbf{y}$ を求める。

本稿では、繰り返し計算1ステップ毎に位相が入れ替わることが確認されたため、前2ステップと当該ステップでの地点座標を参照し、(6)式が満たされた段階で収

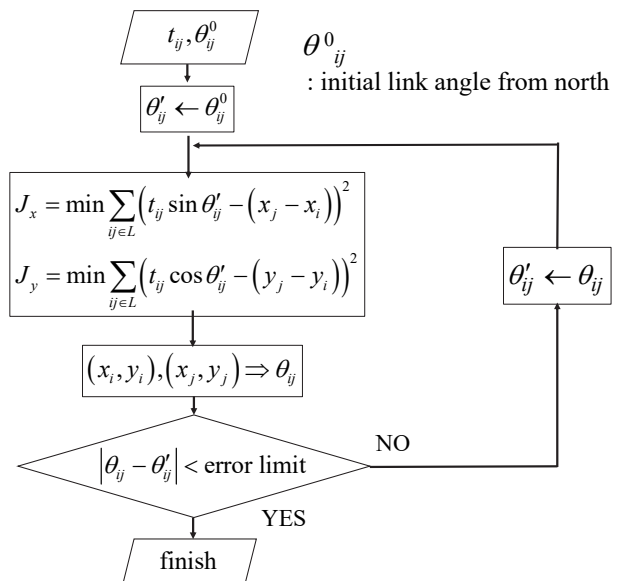


Fig. 4: Procedure for creation of time-distance map.

束とした。Fig. 4の収束条件とは異なるが、本質的には同一である。

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( (x_i^{(k)} - x_i^{(k-2)})^2 + (y_i^{(k)} - y_i^{(k-2)})^2 \right)}{n}} < 1.0 \times 10^{-3} \quad (6)$$

ここに、 $x_i^{(k)}$ は第 $k$ 回目の繰り返し計算の地点 $i$ の $x$ 座標を表す。

## 5 数値計算

### 5.1 対象とする駅とリンク

時間地図作成の対象とする駅とリンクの結合はガイドブック<sup>2)</sup>とほぼ同等とし、これを距離地図としてFig. 5に示す。距離地図は駅の緯度と経度を検索して地図として表示したものである。駅数は33、リンク数は34である。日本工業大学には最寄り駅が2駅存在するため、新白岡駅を最寄り駅とするJR上野東京ライン、JR湘南新宿ライン・高崎線、宇都宮線、西武池袋線、JR京浜東北線を赤色、東武動物公園駅を最寄り駅とする東武日光線、東武伊勢崎線、東武アーバンパークライン、東武スカイツリーライン、JR武蔵野線を緑色で表示した。

リンク間の所要時間は、一般的な路線検索ソフト「駅すばあと」<sup>3)</sup>を用い、平日の朝の通学時間帯で検索した。今回、結合する直近のリンク間同士での検索であるため、乗り換え時間や待ち時間は含まれていない。

### 5.2 時間地図の作成結果

作成された時間地図をFig. 5の距離地図との対比としてFig. 6に示す。ここでは、アクセスマップの効果を検証するため、栃木駅と錦糸町駅の位置が両地図でほぼ同等となるように、時間地図の縮尺を変更して表示した。

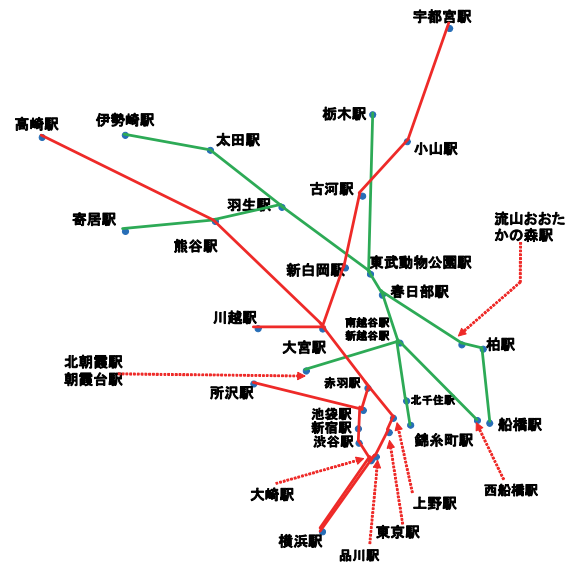


Fig. 5: Ordinary distance map.

この結果、距離的には北に離れている宇都宮駅、南に離れている横浜駅が、時間地図では大学最寄り駅である新白岡駅に顕著に近い位置に表示された。これは、南北を縦貫するJR湘南新宿ライン・高崎線、宇都宮線が相互乗り入れを行い、速達性が高まっていることを顕著に反映している。特に、横浜駅までは埼玉県、東京都、神奈川県という一都三県を経由するため、横浜からは遠い印象があるが、時間距離的にはさほど遠くない印象を持たせることができる。

一方、緑色で示された東武鉄道を中心とするルートは、相対的に速達性が低いため時間的に遠い印象があるものの、時間地図全体としてはコンパクトに大学周辺に駅が配置された印象となった。

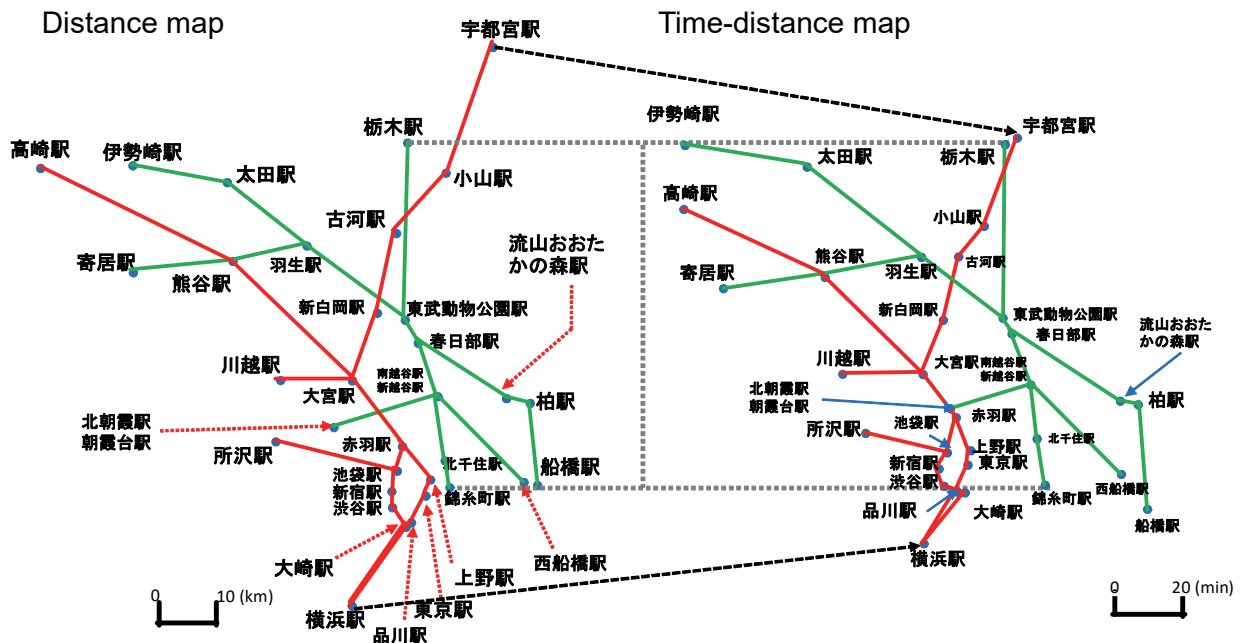


Fig. 6: Comparison of distance map and created time-distance map.



### 5.3 精度の検証

得られた時間地図の精度を検証するため、横軸に実際の所要時間、縦軸に時間地図上の距離をプロットする。Fig. 7にこの結果を示す。プロットした点の回帰直線の重相関係数 $R^2$ は1.00であり、全34リンクに対して、完全に時間距離が再現されていた。このため、時間地図の精度は確保されていた。

また、Fig. 6から、全33駅の相対的な位置関係は大きく破壊されておらず、このことから、今回作成されたアクセスマップの精度は高いと判断された。

### 5.4 リンク結合数の変更による時間地図への影響

試みに、Fig.8に示すように、対象範囲を茨城県まで拡大し、さらに結合するリンク数も増やした場合で時間地図の作成を試みた。駅数は41、リンク数は68とし、Fig.5のそれより大幅に増加させた。

この条件で作成された時間地図をFig. 9に示す。駅の位置関係は大きく破壊され、不適切な時間地図となった。全リンクの、実際の所要時間と時間地図上の距離をプロットした回帰直線の $R^2$ は0.405であった。

このように、リンク数を増やして結合を強くと、相対的に時間地図上の自由度が減少すると、適切な時間地図が得られないことも経験上示されている。目的に応じて、どのようなリンクを選択するべきか、も恣意的なパラメータとして残された課題である。

## 6 おわりに

本稿では、大学の通学利便性評価の一つとして、大学の学生募集に資するためのアクセスマップの作成を目的とし、今回そのベースとなる時間地図を作成する試みを行った。時間地図は、初期の古典的な手法ではなく、非線形最小二乗法を適用し、繰り返し計算で時間地図状の座標解を求めるS-I法を用いて作成した。

この結果、速達性の高い路線の駅は大学の周辺に配置され、距離的には遠い地域にあっても所要時間が短かければ、その利便性が高いことを表す適切な時間地図が作成できることを示した。また、時間地図上の距離と実際の所要時間は完全に一致した精度の高い時間地図が作成され、また駅の位置関係も大きく破壊され

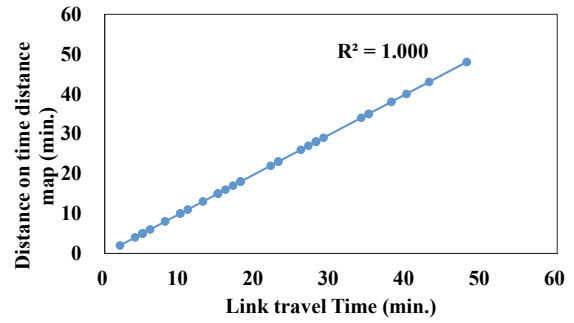


Fig. 7: Linear regression of link travel time vs. distance on time-distance map.

ることはなかった。得られた時間地図にデザインの要素を付加することで、学生募集に資する適切なアクセスマップの作成が期待される。

しかし、駅と駅をつなぐリンクの数を増加させて自由度が失われると、不適切な時間地図が得られることも示された。時間地図の目的に応じて適切なリンクを選択する必要があるという課題点も明らかにされた。

### 参考文献

- 1) 清水英範：時間地図の作成手法と応用可能性，土木計画学研究・論文集，No. 10, 15/29 (1992)
- 2) 日本工業大学：日本工業大学 GUIDE BOOK 2018 (2018)
- 3) 吉本剛典：全国主要都市間時間距離の地図化の試み，地理学評論，Vol. 54, No. 11, 605/620 (1981)
- 4) 清水英範・井上亮：時間地図作成問題の汎用解法，土木学会論文集 No. 765/IV-64, 105/114 (2004)
- 5) <https://roote.ekispert.net/ja> (駅すばあと for Web) (参照日 2017年 12月 26日)

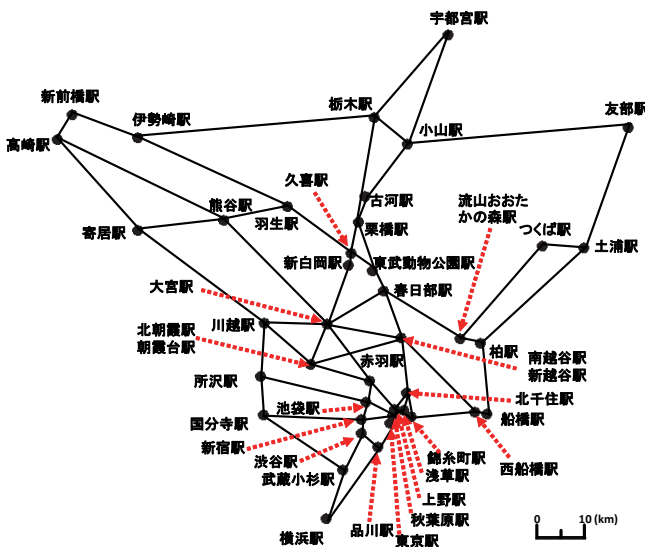


Fig. 8: Distance map for greater area.

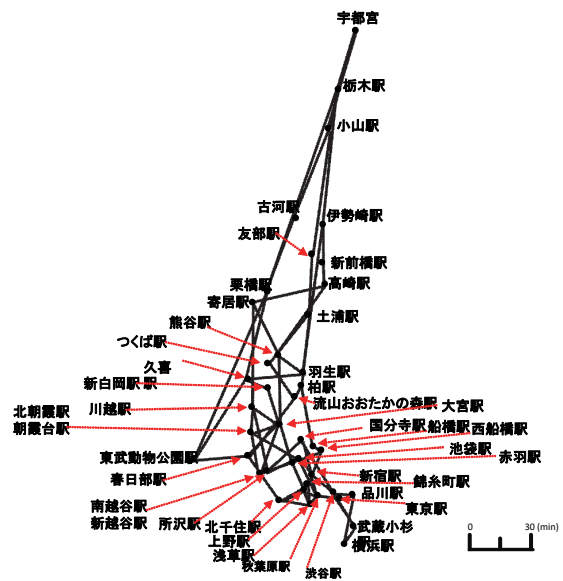


Fig. 9: Inappropriate time-distance map for greater area.