

移動データに基づいた地図の時空間再構成

横井 逸人^{1,a)} 松村 耕平^{1,b)} 角 康之^{1,c)}

概要: 本稿では、人々が生活している街の中で、徒歩や車などの異なった手段で移動した軌跡から、行動パターンをモデリングし、その人ならではの行動マップを生成するシステムを提案する。ここで提案する行動マップとは、滞在時間に応じたランドマークとそれらの間の移動時間に応じたリンクを浮かび上がらせた地図である。具体的には、GPS による移動データを利用することで、ユーザ自身の生活感覚やユーザにとっての新しい気づきを可視化できる時間地図を生成するシステムを試作した。時間は人々の生活リズムに深く関わるため、この地図は人々の生活パターンに依存するものであり、人々の認識に近いものになると考えている。

Reconfiguring Spatio-temporal Maps Based on Users' Movement Data

HAYATO YOKOI^{1,a)} KOHEI MATSUMURA^{1,b)} YASUYUKI SUMI^{1,c)}

Abstract: In this paper, we propose a system that models the behavior patterns and generates the spatio-temporal map from the locus moved by different means, such as driving a car or walking, in the city where people are living. The spatio-temporal map we proposed here is a map highlights the point corresponding to the residence time and the link corresponding to the travel time among the points. Concretely, we prototyped a system for generating the temporal map that can visualize user's life sense and new awareness by using the movement data by GPS. We think this map depend on the people's life pattern and will be closer to people's perception because time deeply involved in the people's life rhythm.

1. はじめに

本稿では、人々が生活している街の中で、徒歩や車などの異なった手段で移動した軌跡から、行動パターンをモデリングし、その人ならではの行動マップを生成するシステムを提案する。本研究で提案する行動マップとは、滞在時間に応じたランドマークとそれらの間の移動時間に応じたリンクを浮かび上がらせた地図である。ランドマークとは地図上の建物などの目印になるものであり、リンクとはランドマーク間を結ぶ線である。具体的には、家から通学する場合、家と学校に長時間滞在するため、その滞在時間から「家」や「学校」というランドマークが生成される。また、家から学校までを結ぶリンクが生成される。ランド

マークは家や学校といった建物のみに限らない。例えば、家と学校の間によく渋滞する交差点があったとすると、その人自身は通学する際に、その交差点で立ち止まる事が何度かあるだろう。そうした何度も立ち止まることで、「交差点」というランドマークができてくる。「交差点」は利用したユーザにとっては生活している上で当たり前存在するものであり、可視化することでランドマークになっていることに気付く。本稿では、このような行動マップ生成システムを試作した。時間は人々の生活リズムに深く関わるため、この地図は人々の生活パターンに依存するものであり、人々の認識に近いものになると考えている。これにより、生活している人々の「移動」から各自の認識している街のランドマークやそれらの空間構造を可視化できると予想している。

あなたの職場から家に帰るまでの道のりを想像してほしい。そこにはどんな建物や道路があるだろうか？各々、異なった道のりを想像するだろう。それは、各々が違った職

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) h-yokoi@sumilab.org

b) matsumur@acm.org

c) sumi@acm.org

場や家を持っているため、生活空間が異なるからである。本研究では、そういった個人の生活空間の可視化を行動マップとして生成することで可能にする。

杉浦は飛行機の時刻表に応じて、移動時間に応じた都市間の距離によって日本地図を変形することで、時間軸によって歪んだ地図を可視化してみせた。そして、「現代人の生活リズムに深く関わる<時間>を軸にすえ、東京のもつ実態を表現する試み」、「誰もが自分のふるまいによって地図をつくり上げられる」と述べている [1]。我々の試みは杉浦が述べていた「個人個人のふるまいによってつくられる地図」を実際に生成できるシステムの開発であるとも言えよう。

2. 関連研究と先行研究

Ashbrook et al. は、GPS データからユーザ行動をモデル化するシステムの研究を行った [2]。これは、GPS データを用いて、ユーザの滞在時間の長い場所を自動的に抽出して、ランドマークとして可視化するというものである。我々のアプローチでは、これに加え、地図自体を歪めることでリンクの長さを変化させ、ユーザ自身の距離感覚を可視化する。

清水らは、時間地図作成問題を非線形最小二乗問題で表現し、これをベースに数学的に明快かつ実用性の高い汎用解法を提案した [3]。清水らは、地点間の時間距離を地図上の実距離によって把握できるような地図、すなわち時間を縮尺にもつ地図のことを時間地図と言う、と述べている。さらに、清水らは、時間地図と実地図（我々が普段用いている地理的距離を尺度とした地図）との比較によって交通サービス水準の地域格差を示した。また、時間地図の時系列的な比較によって交通サービス水準の時代変遷を視覚的に示すことができる、と述べている。時間地図の作成手法に対する従来のアプローチは 2 つに分けられていて、1 つは、対象地点間全ての時間距離を再現しようとする方法で、もう 1 つは、対象地点を結ぶ連結ネットワークを考え、この辺に相当する地点間の時間距離のみを再現しようとする方法である [4]。清水らの提案した解法はその 2 つのアプローチの双方に適用可能であることを示した。本研究では、清水らの言う 2 つ目のアプローチに該当する。しかし、交通サービス水準に関して研究するわけではなく、個人や複数人の街の空間構造を可視化することを目的としている。

Agrawala et al. は自動で、かつリアルタイムでルートマップを生成するシステム “Line Drive” を作成した [5]。ここでは、ルートマップの使いやすさに注目し、それを向上させるためにデザインされた地図製作の技術を提示した。我々は、Agrawala et al. の考えるルートマップと本研究の行動マップが類似すると考え、地図のデザインの部分で参考になる。

GPS によるデータから交通機関を分析する研究や実地図

に現在地を表示する研究が、Patterson et al. や Schoning et al. によってなされている [6][7]。本研究においては、GPS 受信機を持つ全てのユーザの移動の軌跡を基に行動マップを生成する点で、これらと技術的に類似する。

ネットワークから社会的・空間的な情報を概念地図を使って可視化し分析するような研究が、Shen et al. によってなされている [8]。本研究は、地図上のランドマークやリンクの可視化にこれらの技術を利用している。

3. 行動マップ生成システム

3.1 システム構成

行動マップ生成システムは、GPS による移動データを利用することでユーザの行動パターンを可視化するシステムである。行動マップは、滞在時間に応じた大きさのランドマークと移動時間に応じた長さのリンク、それに応じて変形された実地図によって構成された地図である。

以下に本システムの概要を示す。ユーザは GPS 受信機を日常的に身に付け、ユーザ自身の移動データを収集する。収集した移動データから参照された緯度・経度に応じた点をランドマークとして画面に描画する。描画したランドマークを時間軸に沿って結び、これをリンクとする。ランドマークは滞在時間に応じて大きさを変化させ、リンクは移動時間に応じて長さを変化させる。そこに実地図を背景に貼付け、移動時間の長さに応じて画像を変形させる。

以上の構成で、GPS 受信機から取得した移動データを基に行動マップを生成する。本手法は、Ashbrook et al. によるユーザ行動のモデル化 [2] を参考にしたものである。



図 1 複数人の行動マップ
Fig. 1 Multiple map.



図 2 個人の行動マップ
Fig. 2 Individual map.

3.2 システム利用例

図 1 は、3 人の GPS データを基に滞在場所に基づいて浮き上がったランドマーク（図中では赤丸で示される）を可視化したものである。ランドマークは滞在時間に応じてそのサイズが変化する。以下に代表的な例 3 つを説明する。
A 3 人が日常的に利用する場所（大学）であり、3 人とも滞在時間が長くなるため、全てのランドマークの中で

最も大きなランドマークになっている。

B 3人の中の1人の自宅であり、Aと同じように日常的に利用するため、ランドマークになっている。

C 全員がよく通る交差点であり、3人とも長時間滞在する場所ではないが、何度も利用しているため、ランドマークになっている。

AとBは日常的に利用する建物であるため、当然ランドマークになる場所である。しかし、Cのように、本人たちも意識していなかった場所が、可視化することで初めて浮かび上がるランドマークもある。これは、複数のユーザがそれぞれ異なった生活を行っていても、同じ交差点を利用している事に気付く。行動パターンの可視化は、こういった新しい気付きをユーザに促す。

図2は、図1から1人のデータを抜き出したもので、試みに移動時間に応じて地図を手作業で歪ませたものである。Dは目的地に行くまでに途中で寄り道をしたためリンクが長くなり、Eは目的地に行くまでにどこにも寄らずに行ったためリンクが短くなっている。地理的距離では長さが違うにもかかわらず、移動までの行動が異なっていると、時間的距離では長さが同じくらいになる。移動時間が人の距離感覚を決定付けるため、移動時間に応じて地図を歪ませると個人の生活感覚に近いものになると思われる。

3.3 行動マップの特徴

ユーザごとの行動マップ

行動マップは、実地図のように地理的距離を尺度とした地図とは異なり、時間的距離を尺度とした地図である。時間的距離を尺度としているため、使用するユーザによって行動マップが変わる。なぜならば、ユーザによって生活空間や移動手段などが異なるからだ。すると、行動マップに使用するユーザそれぞれの行動パターンが反映される。移動時間が人の距離感覚を決定付けるため、移動時間に応じて地図を歪ませると個人の生活感覚に近いものになる。

複数人での行動マップ

複数人で使用すると、複数人それぞれが普段から利用する場所は当然ランドマークになる。しかし、可視化することで初めて浮かび上がるランドマークもある。それぞれの移動において同じ地点を利用している部分があるためである。それぞれが異なった生活を送っていても、行動マップに共通のランドマークが浮かび上がってくる。すると、複数のユーザがそれぞれ異なった生活を送っていても、共通している部分に気付く。行動パターンの可視化は、そうした新しい気付きをユーザに促す。

4. システム試作

ここでは簡易的な試作システムを基に基本アイデアの動作確認と今後の方針を説明する。

4.1 構成

我々は、行動マップ生成システムのコンセプトをプロトタイプとして実装した。図3は、行動マップを実装する上で、我々がシステムの作成を以下の手順で行ったことを示している。

1) GPS ロガーによる足跡情報

ユーザはGPSロガーを普段から持つことで、街での生活のログデータを収集する。ログデータは、Wintec社が開発したGPSロガーWBT-202を用いて収集している。このGPSロガーは、5秒に1回の割合で、緯度・経度・標高・時間を記録する。収集したログデータをWBT-202に付属しているソフトウェアWBT_ToolでCSVファイルに変換する。そのファイルから緯度・経度・時間データを取り出し、データベース管理システムであるSQLiteでそれらをまとめたデータベースを作成する。

2) 空間スケールによる空間メッシュ

プログラム内では緯度・経度を約1cm, 10cm, 1m, 10m, 100m, 1km, 10kmの空間スケールで区切ったメッシュを作成する。

3) 時間スケールによる時間メッシュ

空間スケールと同じように、時間にもログの数に応じた時間スケールを定義する。

4) ランドマークの作成

緯度・経度に応じた点を見つけ、それを空間スケールに応じたメッシュに入れる。そのメッシュの位置をランドマークとして画面に描画する。滞在時間の長い地点、つまりメッシュの範囲内のデータの数が多い地点ではサイズの大きなランドマークとなり、短い地点ではサイズの小さなランドマークとなる。

5) リンクの作成

描画したランドマークを時間軸に沿って結び、リンクとする。時間スケールを変更すると、それに応じてランドマークの数が増える。そのため、ランドマーク間のリンクの結びつきも変わってくる。

6) 実地図の貼付

ランドマークやリンクを描画した背景に実地図としてGoogleマップを貼付ける。

7) 地図の変形

移動時間に応じてリンクを短くすることで画像を変形させる。

4.2 デモンストレーション

行動マップ生成システムのコンセプトの有効性を確かめるために、実装したプロトタイプを用いて、行動マップの生成を試みた。3人のユーザにGPSロガーのデータの収集に協力してもらい、約1ヶ月の移動データから行動マップを可視化した。3.2節でも説明した通り、図1は3人全

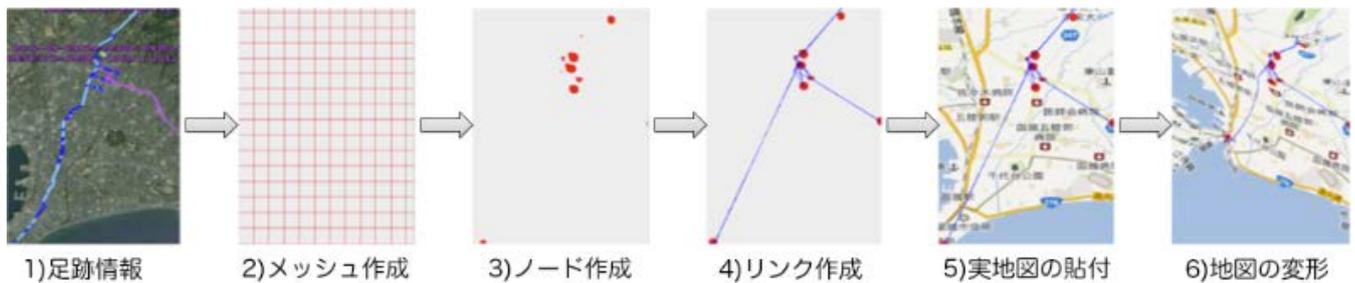


図 3 行動マップ生成システム作成の流れ

Fig. 3 Flow of creating a spatio-temporal maps generation system.

員の同じ期間での行動の軌跡をマッピングしたもので、本人たちも意識していなかった場所が、可視化することで初めて浮かび上がるランドマークがあった。また、図2は1人の行動の軌跡をマッピングしたもので、移動時間に応じて地図を変形したものである。個人の認識している街のランドマークやそれらの空間構造を可視化することで、個人の生活感覚に近いものになった。

4.3 今後の課題

本稿では、実地図として Google マップの貼付と画像の変形を試みに手動で行った。今後、以下の点を自動化し、行動マップの可視化と、それに基づいた認知地図の可視化について議論したい。

時空間スケールの設定

本稿で紹介する試作システムでは、時空間スケールはユーザがスライダーバーを動かすことで変えることができる。最終的には、ユーザに全く負担をかけることの無いように、我々で時空間スケールを設定しておく必要がある。画像変形

我々が普段用いている地理的距離を尺度とした地図とは異なり、行動マップでは時間的距離を尺度とするために、地図を歪ませる必要がある。そこで、我々は Schaefer et al. の移動最小二乗法を利用した画像変形の技術を利用したプログラムを作成する [9]。

多人数データからの行動マップの生成

現在は、GPS ロガーを用いて、GPS データを収集しているが、スマートフォン用のアプリ等を開発し、配布することで、より多くのユーザからのデータ収集が可能になる。多くのデータから、集合的に処理すれば、季節や時間帯、世代ごとのコミュニティに応じた行動マップを作成することが出来る。これはユーザに個人個人の生活の違いや街の中の問題点といった新しい気付きをもたらす。

5. おわりに

本稿では、ユーザの移動データから行動マップを生成するシステムのアイデアを示した。このシステムでは、生活している人々の「移動」から各自の認識している街のラ

ンドマークやそれらの空間構造を可視化することができる。また、コミュニティのデータを集合的に共有すれば、季節や時間帯による街のランドマークの移り変わり、世代間や個人個人の間の生活の違いの顕在化、街の中の問題点なども顕在化するのではないかと考えている。

我々は前述のコンセプトに基づいて実装したプロトタイプから、GPS による移動データからユーザの生活によってそれぞれ異なる地図の歪みを確認することができた。今後は、プロトタイプの実装を進め、そのユーザ評価などからコンセプトの評価と深化を進めたいと考える。また、将来的にはスマートフォンなどの GPS 内蔵の携帯機器を利用しようと考えているため、そのための実装も試みたい。

参考文献

- [1] 白田 捷治: 杉浦康平のデザイン, 平凡社新書 (2010) pp.99-103
- [2] Daniel Ashbrook and Thad Starner. Learning Significant Locations and Predicting User Movement with GPS. In *Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 101-108, 2002.
- [3] 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, pp.105-114, 2004.
- [4] 清水英範: 時間地図の作成手法と応用可能性, 土木学会論文集 No.10, pp.15-29, 1992.
- [5] Maneesh Agrawala and Chris Stolte. Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 241-250, 2001.
- [6] Donald J. Patterson, Lin Liao, Dieter Fox and Henry Kautz. Inferring High-Level Behavior from Low-Level Sensors. In *Proceedings of UbiComp 2003*, pp.73-89, 2003.
- [7] Johannes Schoning, Keith Cheverst, Markus Lochtefeld, Antonio Kruger, Michael Rohs and Faisal Taher. PhotoMap: Using Spontaneously taken Images of Public Maps for Pedestrian Navigation Tasks on Mobile Devices. In *Proceedings of MobileHCI09*, 2009.
- [8] Zeqian Shen and Kwan-Liu Ma. MobiVis: A Visualization System for Exploring Mobile Data. In *Proceedings of Pacific Visualisation Symposium 2008*, 2008.
- [9] S. Schaefer, T. McPhail and J. Warren. Image Deformation Using Moving Least Squares. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006*, pp. 533-540, 2006.