

移動データを基に変形した地図による生活時空間の認知

横井 逸人^{1,a)} 角 康之^{1,b)} 松村 耕平^{2,c)}

概要：本稿では、人の滞在時間や移動時間に基づいて変形した地図「行動マップ」を生成するシステムを提案する。そのために、様々な移動手段、人、時間帯、季節のデータが含まれた長期間の移動データを収集した。行動マップでは、人々の生活の中での滞在時間や移動時間を基準に変形することで、生活空間だけではなく、時間感覚も含めた「生活時空間」を可視化した。提案手法の具体的な実装として、行動マップ生成システムを試作する。この試作システムを用いた予備検討として、ユーザや季節による行動マップの比較を行う。さらに、行動マップを他人と見せ合い議論を行い、新たな気づきを得られるか調査を行う。また、行動マップと手描き地図との比較を行い、その差異による気づきの調査を行う。

Spatio-Temporal Recognition in Everyday Life with Deformed Maps Based on Users' Movement Data

HAYATO YOKOI^{1,a)} YASUYUKI SUMI^{1,b)} KOHEI MATSUMURA^{2,c)}

Abstract: In this paper, a system for generating "Spatiotemporal maps" that are maps deformed based on users' movement data is proposed. The long-term movement data including various transportation devices, people, time zone and seasons are collected. The spatiotemporal maps are considered that they can be visualized "Time and Space in Everyday Life" including not only the life space but also the time sense to be deformed based on users' movement data in their life. The spatiotemporal maps generation system is prototyped and the spatiotemporal maps made by users and seasons, as a preliminary study using this prototype system are compared. Furthermore, the spatiotemporal maps are discussed after sharing them to investigate new awareness. In addition, the spatiotemporal map and the cognitive map are compared to investigate new awareness.

1. はじめに

本稿では、人の長期間の移動データを収集し、その滞在時間や移動時間に基づいて変形した地図「行動マップ」を生成するシステムを提案する。この移動データには、位置情報と時間のデータが含まれているが、ここから様々な移動手段や人、時間帯、季節を読み取ることができる。図1は、本稿で提案するシステムの概要図である。まず、ユーザに日々の生活の移動データを蓄積してもらおう。その移動データから設定した時間の範囲と空間の矩形範囲に合わせ

て、滞在点をノード、それらを結んだ線をリンクとして生成する。その後、移動時間によってノード間の距離を求め、ノードの表示位置を決める。移動時間を反映したそれぞれノードの位置に合わせて、地図を変形させる。この変形地図のことを本稿では行動マップと呼ぶ。本稿では、その行動マップを見ることによって、ユーザが自身の住んでいる地域に対してどのような考えや気づきを得るかに関する調査を行う。

本稿では、約2年のGPSによる8人の移動データの蓄積を行った。同時に、ユーザそれぞれの行動マップを生成するシステムを試作した。行動マップを見ることで、住み慣れた街の中で生成が予想されたノードはもちろんのこと、意外な場所で生成されたノードが見つかった。また、試作システムを利用し、ユーザによる比較や季節による比較といった検討を行った。その結果、行動マップは、人、季節、

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

² 立命館大学
Ritsumeikan University

a) h-yokoi@sumilab.org

b) sumi@acm.org

c) matsumur@acm.org



図 1 システム概要図

時間帯で行動マップが変化することがわかった。これは、ユーザごとの生活空間の違いや、季節ごとの気候、時間帯ごとの交通量の違いによるものである。さらに、同じ街に住む複数ユーザの行動マップを可視化し、彼らの中で交わされた気づきを紹介し、提案手法の効果を議論する。一方、複数ユーザに自身の住む街の地図を描いてもらい、それぞれの行動マップと手描き地図を比較し、彼らで行われた議論を紹介する。

2. 関連研究

GPS を利用した行動パターンを利用する研究は Ashbrook et al.[1] や Patterson et al.[2]、藤岡ら [3] の GPS データを利用したユーザの行動予測が挙げられる。彼らは地図を可視化するのではなく、ノードとリンクを生成し、それを分析することでユーザの行動を推定している。本稿では、生活の場である街の行動パターンを地図の形で可視化して、街に関する気づきを促進することを目的としている。

生活のランドマークや移動時間に注目した地図の変形手法を用いる研究においては、杉浦 [4] の時間地図変形地図や暦本ら [5] の滞在時間に注目した歪地図を可視化、Agrawala et al.[6] のルートマップの自動生成が挙げられる。杉浦の地図は、飛行機の時刻表から地図を作成している。また、Agrawala et al. は手描き地図のように必要な情報だけを抽出した地図を生成している。そのため、個人のデータを扱う本稿とはアプローチが異なる。暦本らは、滞在時間の長

さに着目し、その滞地点を魚眼レンズ的歪方法を利用した地図を作成している。本稿では、可視化手法として、移動時間に注目した歪ませ方を採用した。これは、人の距離感移動時間と深い関わりを持つ [7] ために、移動時間に合わせた変形が有効であると考えたためである。

3. 行動マップ生成システム

生活時空間を可視化するために、行動マップ生成システムを試作した [8]。本試作は、人の移動データを利用することで、その人ならではの行動マップを生成する。これは行動マップを生成した場合に、ユーザの移動や時間に関わる感覚が可視化できると考えたためである。このコンセプトにより、行動マップがどのような気づきをユーザに与えたのかを評価しやすいようにした。

3.1 移動データの収集、及びデータベース化

移動データは、対象の緯度・経度の場所データと、その場所に居た時刻や時間を示す時間データを含んでいる必要がある。移動データの収集には、GPS ロガーを使用する。

GPS による移動データは CSV 形式で保存される。これらのデータはデータベースに保存して取り扱う。データベースを作成するにあたっては、データベース管理システムである SQLite を利用した。

3.2 時間・空間スケールの決定、及びノード・リンク生成

移動データ(図2)を利用して、時間・空間スケールを設



図 2 移動データ

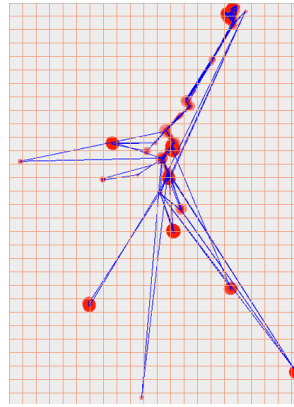


図 3 ノード・リンク

定する．時間スケールとは，一定の時間の長さの範囲のことであり，空間スケールとは，一定の空間の広さの範囲のことである．空間スケールで区切った空間メッシュ内にあるデータを時間スケール以上の滞在があるかどうかの閾値処理を行う．閾値処理によって，メッシュ内に点（ノードと呼ぶ）を生成し，この処理で求めた複数の点を結んだ線（リンクと呼ぶ）を生成する．図 3 は約 100m の空間メッシュから約 3 分の時間スケールによる閾値処理を行ったノードとリンクを表示しているものである．

本システムでは，日時指定を行うことにより，行動マップを生成する．この日時指定を 2 種類の方法で実装した．

1 つ目は，開始と終了の日時を指定し，その間の移動データから生成するものである．移動データの開始日時，及び終了日時の年・月・日・時をそれぞれコンボボックスから指定する．そうすることで，指定した範囲内の全ての移動データを利用したノード・リンクを生成することができる．

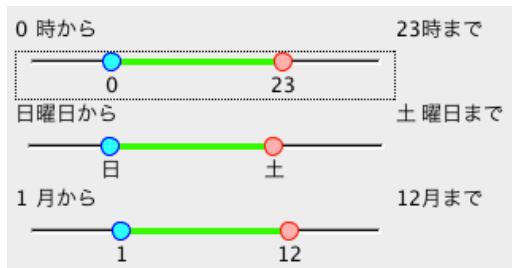


図 4 時間・曜日・月の 3 つのスライダー

2 つ目は，時間・曜日・月の 3 つのスライダーを用意し，それぞれで絞り込んだ範囲での移動データから生成するものである（図 4）．これらは，上から時間範囲指定スライダー，曜日範囲スライダー，月範囲スライダーとなっている．これらにより，それぞれ時間帯による行動マップ，平日や休日による行動マップ，季節間での行動マップが見られる．例えば，時間帯による行動マップであれば，朝や夕方方は通勤時間と重なり道路が混雑していることが読み取れると推測できる．スライダーの左側の円は範囲の in 点になっており，右側の円は範囲の out 点となっている．例え

ば 20 時から 7 時といった指定がしたい場合は，図 5 のように 0 時から左側にある 20 時を in 点とするとといったことが可能になっている．



図 5 例．20 時から 7 時の範囲指定

3.3 地図変形

本システムでは，移動時間を地図上に表示させるため，移動時間に応じて地図を変形させる．このため，ノード間の移動時間を基にノードとリンクの位置を再構築し，元々の緯度・経度によって表示されていた一般的な地図を，再構築されたノードの情報に合わせてアフィン変換により変形する．

ノードの位置計算

移動時間を基にノードとリンクの位置を再構築するために，時間地図の作成手順 [9] を利用する．時間地図の作成手法に対する従来のアプローチは 2 つに分けられており，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，対象地点を結び連結ネットワークを考え，このリンク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．

本稿では，移動軌跡からノードとリンクの結びつきを求めることができるため，前述の 2 つ目のアプローチに該当するリンクに相当する地点間の時間距離を再現するアプローチを取る．

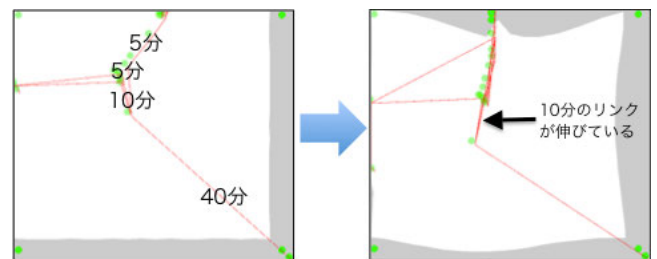


図 6 ノードの位置計算の例

図 6 は，ノードの位置を再構築するために，実際に使用したアルゴリズムの適用例である．左図にあるように，ノード間の移動時間をそれぞれ与えることで，右図が出来上がる．移動時間の長さに応じて，ノードの位置が変わり，それに伴ってリンクの長さも変わっていることがわかる．

地図変形

本システムで生成される行動マップは地図の一種であるため，元の地図にある位置関係をなるべく保存したまま変形する必要がある．そのため，本システムでは，Schaefer et al. の移動最小二乗法を用いた画像変形 [10] を用いる．

移動最小二乗法を用いた画像変形とは、メッシュを作成し、制御点を動かす事でメッシュ上の各頂点も近くの制御点の動きを真似るように動くことで実現される変形手法である。また、本システムでは、移動最小二乗法を用いた画像変形におけるアフィン変形を採用した。この手法は、地図を変形した際に、地図に強調表現を取り入れることができる点で最適と考えた。



図 7 地図変形の例

図 7 は、地図変形を実現させるために、実際に作成した画像変形プログラムでの適用例である。左図の画像上の任意の部分をクリックし、矢印のようにそのままドラッグすることで画像が変形され、右図のようになる。

4. 予備検討

行動マップのコンセプトの有効性を確かめるために、実装した試作システムを用いて、行動マップの生成を試みた。

4.1 ユーザによる行動マップの比較



図 8 ユーザによる行動マップの比較

3人のユーザにGPSロガーで移動データを収集してもらい、約1ヶ月の移動データから行動マップを生成した。図8(a)は、主に家と学校を往復するだけのユーザAが蓄積した移動データから生成した行動マップで、(b)は、街の様々な場所へ積極的に赴くユーザBが蓄積した移動データから生成した行動マップである。人によって生活環境や移動の仕方が違うため、異なった行動マップが生成された。



図 9 季節による行動マップの比較

4.2 季節による行動マップの比較

同一ユーザによる時間帯や季節による行動マップの比較検討を行った。図9(a)は、春に蓄積した移動データから生成した行動マップで、(b)は、冬に蓄積した移動データから生成した行動マップである。冬の行動マップは春の行動マップに比べて、あまり歪んでいない。これは、雪道によって春に比べて速度を落として移動しているためであると解釈できる。つまり、行動マップの歪み方の違いから、その季節による道路状況の違いや天候の違いが確認できることがわかった。

5. 行動マップを見せ合うことによる気付き

行動マップを見せ合うことによる気付き、及び気付きから得られる街の中の問題点や地元ならではの情報などを収集することを目的とした調査を行った。他人の行動マップには、自分の認識していない範囲のものが可視化される可能性があるため、自分が気付かなかった部分を他人に気付かされることを期待した。また、自身の行動を振り返ることによって、その行動の意図からそのユーザならではの情報が得られることを期待した。

5.1 条件設定

参加者は函館に在住している修士2年生と学部4年生の2名で、それぞれの移動データを収集してもらった。移動データの収集にはGPSロガーを利用し、日々の生活の中での移動データを収集するため、常に持ち歩いてもらった。本調査では、2週間分の移動データを利用した行動マップを生成した。2名はお互いの行動マップを見せ合い、疑問に思ったことや感じたことを話し合ってもらった。また、他人に指摘された点から、各自の行動を振り返ってもらった。

図10は、実際に生成された行動マップのノードとリンクである。

5.2 結果

他者の行動マップを見せ合ったことで、ユーザには以下の2種類の気付きが得られた。



図 10 生成された行動マップのノードとリンク

ノードによる気付き

- 交差点がノードとして現れると予想されたが、少し離れたバス停付近がノードとして現れた(図 10(1)). これは、道路の混雑による影響が行動マップに現れていると考えられる。
- 同じ道を通っているはずだが、リンクが枝分かれするようなノードが存在した(図 10(2)). これは、バスや路面電車といった交通機関の速度の違いが行動マップに現れていると考えられる。

リンクによる気付き

- 直線距離の方が近い場所を迂回しているようなリンクが存在した(図 10(3)). これは、ユーザが迂回しなければ、時間がかかると判断したことを示している。

上記の結果から、道路の交通量や交通機関の違いといったローカルな情報や、距離的には近くても時間的には遠いために迂回する必要があるという地域の中の問題点を得ることができた。

5.3 考察

これらの結果は、その場所に住む人にとっては当たり前のことであったが、同じ地域に住んでいてもその場所の方にあまり行かない人にとっては疑問として浮かんできた。その疑問を解消することで、上記のようなローカルな情報が得られた。

また、同じ地域に住んでいる人同士で、お互いが共通認識していた、距離的には近くても時間的には遠いために迂回する必要があるという地域の問題点に気付くことができた。これは、お互いが当たり前のことのように感じていたが、行動マップとして可視化することで、初めて問題点として認識することができた。

上記の結果は、ユーザが同じ地域に住んでいるからこそ得られたものである。そこで、地元の人と観光客との間で同様の検証を行った場合は以下の仮説が立てられる。まず、地元の人だからこそ知りうる地元ならではの情報が得られると想定される。また、地元の人にとっては当たり前のことであっても観光客にとっては当たり前ではないことが

疑問になって浮かび上がると想定される。

6. 行動マップと手描き地図との比較

行動マップと手描き地図との比較による気付き、及び気付きから得られる街の中の問題点や地元ならではの情報などを収集することを目的とした調査を行った。行動マップを見るだけでは、その人の生活パターンが反映されているかが判断しにくい。行動マップと手描き地図を比較した際に、ノード間のリンクの長さが手描き地図内のランドマーク間の道の長さや似たスケールになっていると、ユーザの距離感が行動マップに反映されていると考えた。また、その他の行動マップが手描き地図に似ている点や異なる点から行動マップにユーザの生活時空間が反映されることを期待した。

6.1 条件設定

参加者は函館に在住している修士 2 年生 2 人と学部 4 年生の 3 名で、それぞれの移動データを収集してもらった。移動データの収集には GPS ロガーを利用し、日々の生活の中での移動データを収集するため、常に持ち歩いてもらった。本調査では、調査を行った直近の 2 週間分の移動データを利用した行動マップを生成した。また、参加者には空港・駅・街の観光名所・自宅・大学の 5 つの地点を含んだ地図を描いてもらった。3 名のうち、1 人は駅・街の観光名所・自宅・大学をよく利用しているユーザである(以下、ユーザ A とする)。1 人は自宅と大学周辺をよく利用しているユーザである(以下、ユーザ B とする)。1 人は自宅と大学周辺をよく利用しており、たまに空港に行くユーザである(以下、ユーザ C とする)。3 名はそれぞれの行動マップと手描き地図を見比べ、気付いたことを話してもらった。また、他人に気付いた点を指摘してもらい、指摘された点を考察してもらった。



図 11 ユーザ C の行動マップと手描き地図

図 11 は、同ユーザの行動マップと描いてもらった手描き地図である。

6.2 結果

行動マップと手描き地図を見比べてみた際に、ユーザには以下の 2 種類の気付きが得られた。

行動マップが手描き地図に似ていた点

- 全てのユーザに共通して、家の周りやよく利用する施設の周りは詳しく描かれている（図 11 中の丸で示した部分）。行動マップにおいては、よく利用する施設を中心に拡張されているように生成されていた。
- ユーザ A が手描き地図を描く際に、あまり利用しない施設は、道のりへの記憶が乏しいために近く描く傾向があった。行動マップにおいても、よく利用する施設に比べて近くにあった。

行動マップが手描き地図と異なっていた点

- ユーザ C の手描き地図上の自宅から近くのスーパーまでの距離と観光名所と駅までの距離が同じくらいであった（図 11 中の線で示した部分）。しかし、行動マップ上は全く異なっていた。
- ユーザ B の手描き地図上で、ある交差点から空港まで続く広い道路が短く描かれていた。しかし、行動マップでは長かった。

上記の結果から、移動データに含まれている利用施設に関して、行動マップと手描き地図のどちらもが詳細に描かれていることがわかった。あまり利用しない施設に関しては、ユーザによって手描き地図の描き方が異なり、行動マップと似ている手描き地図と似ていない手描き地図を描くユーザに分かれた。

6.3 考察

行動マップが手描き地図に似ていた点

実際に利用していて、かつ移動データにも含まれている施設やその周りは、行動マップと手描き地図が似ている特徴を持つことがわかった。移動データには、よく利用する施設やその周りの情報が多く含まれているため、行動マップ上では利用施設を中心に拡張されるように表現される。手描き地図では、ユーザの利用した記憶などが反映されるため、利用施設の周辺を詳細に描く傾向があった。このことから、ユーザの生活空間が行動マップに反映されていると考えられる。

また、よく利用する施設間のリンクの長さが行動マップと手描き地図とで似ている特徴を持っていた。移動手段が異なると、それに伴った長さが行動マップ上で反映されていた。手描き地図でも、移動手段によって利用施設の位置関係が、実際の地図と異なっていた。このことから、ユーザの距離感が行動マップに反映されていると考えられる。

行動マップが手描き地図と異なっていた点

利用していない施設やその周辺の地域は、行動マップ上で手描き地図のように表現することはできていなかった。これは、行動マップが移動データから生成されているため、生活空間外の地点まで干渉できなかったためであると考えられる。

7. おわりに

本稿では、個人の生活時空間の可視化を目指し、個人の位置情報だけではなく、移動した際の滞在時間や移動時間を基準にした地図変形を提案した。この提案手法の具体的な実装として、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データを蓄積し、その滞在時間や移動時間によって変形された地図「行動マップ」を生成するシステムを試作した。

この試作システムを利用した予備検討では、ユーザごとの行動マップを見比べることで、一人一人の生活パターンを可視化することができる可能性を示した。さらに、季節ごとの行動マップを見比べることで、その季節による道路状況の違いや天候の違いが確認できる可能性を示した。

また、行動マップを他人と見せ合うことによる気付きを紹介する議論において、ローカルな街の情報を知ったり、街の問題点の共通認識を持ったりするきっかけとなった。行動マップと手描き地図とを比較する議論においては、実際に活動する範囲に関して行動マップは手描き地図に似ていることがわかった。これは、ユーザの距離感が行動マップに反映されていると考えられる。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 藤岡 大輔, 原 直, 阿部 匡伸: GPS データから構築したネットワークにおけるノード度数に基づく行動分析法の提案, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 2014-UBI-42(6), pp. 1–6, 2014.
- [4] 杉浦康平ほか: 時間のヒダ、空間のシワ...[時間地図]の試み: 杉浦康平のダイアグラム・コレクション, 鹿島出版会 (2014) pp. 60–85.
- [5] 暦本純一, 味八木崇: WHEN–becomes–WHERE: WiFi セルフロギングによる継続的位置履歴取得とその応用, インタラクシオン 2007, pp.223–230, 2007.
- [6] Maneesh Agrawala and Chris Stolte. Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 241–250, 2001.
- [7] 本多 敏雄: 距離感とはなにか–地図上のへだたりと心理的なへだたり, BOUNDARY No.14, pp.64–70, 1998.
- [8] Hayato Yokoi, Kohei Matsumura and Yasuyuki Sumi. Visualization of Life Patterns through Deformation of Maps Based on Users' Movement Data. In *Proceedings of AMT'13*, pp37–45, 2013.
- [9] 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.
- [10] S. Schaefer, T. McPhail and J. Warren. Image Deformation Using Moving Least Squares. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006*, pp. 533–540, 2006.