

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630233

研究課題名(和文) 都市内における渋滞の時空間過程の抽出とその可視化の手法開発

研究課題名(英文) Mining of spatio-temporal patterns of congested traffic in urban areas from traffic sensor data

研究代表者

井上 亮 (Ryo, Inoue)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：60401303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：都市内の一般道路で発生する交通渋滞は、天候・曜日・時刻等で異なる交通需要や、信号制御の影響等により複雑な様相を示す。そのため、渋滞の発生場所や時刻、その延伸・縮小過程、継続時間などで表される渋滞発生状況を定量的に把握することは難しい。本研究は、大量のデータから典型的なパターンを抽出する頻出データマイニングを拡張した手法を構築し、那覇市周辺で長期間観測された車両感知器データから、渋滞領域が時空間上で変化する過程の抽出と可視化を行った。曜日や降雨の有無によって異なる渋滞波及過程の分析を通して、都市内の渋滞発生状況把握における車両感知器データのマイニングに基づく分析手法の有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Road traffic condition in cities are complicated by the daily, weekly, seasonally, and weather-induced traffic demand fluctuations and the effects caused by the control of traffic signals. Therefore, it is difficult to quantitatively analyze typical traffic congestion patterns that are represented by the time and place of occurrence, the process of propagation and diminution, duration time, and many others. This study proposed a method to enumerate traffic congestion patterns from traffic sensor data based on frequent pattern mining developed in information science to understand the present situations of traffic congestion in cities. The feasibility and effectiveness of the proposed method have been evaluated through the analysis of typical congestion patterns using the traffic sensor data in Okinawa, Japan.

研究分野：地理情報科学

キーワード：渋滞波及過程 データマイニング 車両感知器データ 可視化

1. 研究開始当初の背景

都市内の一般道路で発生する交通渋滞は、季節・曜日・時刻や天候の影響で変動する需要や出発地・目的地のパターンや、都市内に設置された信号による制御などの影響によって、複雑な様相を示している。そのため、渋滞の発生場所や時刻、その延伸・縮小過程、継続時間などで表される渋滞発生状況を定量的に把握することは難しい。

都市内の道路交通状況は、幹線道路を中心に設置された交通感知器によって観測されており、長期間に渉って継続的かつ高頻度に観測された大量のデータの蓄積が進んでいる。このデータを用いると、ボトルネックとなる交差点を先頭に発生する渋滞が、時間の経過につれて周辺道路に延伸した後、解消に向けて縮小する「渋滞の時空間過程」を抽出できると予想される。曜日や時間帯、気象条件毎に異なる渋滞の時空間過程を抽出することができれば、都市内の渋滞現象把握に役立つと期待される。

しかし、本研究開始前では、交通感知器データから渋滞の時空間過程を分析する方法論は提案されておらず、都市内一般道路で発生する複雑な渋滞の実態を把握する試みは行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、交通感知器データを活用した都市内の一般道路上で発生している渋滞の実態を把握することを目的に、大量のデータから特徴を抽出する分析手法の一つである頻出パターンマイニングを拡張し、渋滞発生から延伸・解消までの典型的な時空間過程を抽出する新たな分析手法の提案した。提案手法の実観測データへの適用可能性や、抽出結果の渋滞実態把握に対する有効性を確認するため、沖縄県那覇市およびその周辺で観測された交通感知器データへの適用を行った。

3. 研究の方法

(1) 渋滞の時空間過程抽出手法の構築

本研究は、大量の交通感知器データを分析するアプローチとして、情報工学分野で研究されてきたデータマイニング手法の一つである、頻出パターンマイニングに注目した。

頻出パターンマイニングは、もともと購買履歴データの分析を目的に構築された分析手法である。顧客が同時に購入した商品の記録から、購入される商品の典型的な組み合わせを抽出する。本研究では、交通感知器データを基に作成した「渋滞道路リンク・渋滞時刻」の対で構成されるデータ（以後、「渋滞履歴」と呼ぶ）から、多数の日で発生している典型的な渋滞の抽出を行う。

本研究は、前述のように、発生した渋滞が周囲の道路に延伸する、あるいは、解消に向かって縮小する、渋滞の時空間過程を抽出する。その際には、空間的に接続している道路リンクで構成されている渋滞履歴の組み合

わせや、時間的に継続している時刻から構成されている渋滞履歴の組み合わせを抽出する必要がある。

既存の頻出パターンマイニングアルゴリズムを渋滞履歴データに適用すると、空間的・時間的に連続な渋滞履歴の組み合わせに加えて、空間的・時間的に不連続な組み合わせも大量に抽出されてしまう。しかし、渋滞履歴間の時間的・空間的な連続性を考慮できる分析手法を構築できると、渋滞履歴の組み合わせに関する探索範囲を大幅に限定できるため、効率的に分析することが可能になり、分析時間の短縮など、分析手法の実行可能性を向上させることができる。

また、都市では、ほぼ同時刻に同一ボトルネックを先頭に発生した渋滞が長時間継続し、周辺に影響が波及する様子が、毎日のように観察される。そのため、ある時刻に常に渋滞する一連の道路リンクの組み合わせや、ある道路リンクが常に渋滞する時間帯など、高い割合で観察される、多数の渋滞履歴から成る集合が存在する。頻出パターンマイニングアルゴリズムは、分析過程で頻出パターンのすべての部分集合を列挙するため、大規模なパターンを含むデータに対して既存アルゴリズムをそのまま適用すると、実行可能性が著しく低下する。そのため、前処理として出現割合が高いパターンを事前に集約した分析を行う手順を提案した。

以下にこれらの概要を示す。

① 渋滞履歴の空間的・時間的な連続性を考慮した効率的な頻出渋滞履歴パターン抽出アルゴリズムの構築

本研究では、最も高速な頻出パターンマイニングアルゴリズムとされるFP-Growthを基に、空間的・時間的に連続な渋滞履歴の組み合わせを抽出可能なアルゴリズムを構築した。FP-Growthアルゴリズムでは、FP-Treeと呼ばれる木構造を用いて組み合わせデータをコンパクトに格納し、効率的に頻出する組み合わせを列挙する。ここで、10日間の渋滞履歴（表1）から、2日以上で発生した渋滞履歴の組み合わせを抽出する場合を例にFP-Growthの手順を示す。

最初に、全ての渋滞履歴をFP-Treeに格納する操作を行う。まず、出現日数の降順に渋滞履歴を並べる（図1内表）。なお、d・fは2日に満たないため、以後の分析から除外する。次に、各観測日の渋滞履歴を出現日数の降順に並べ、根ノードから順にFP-Treeに追加する（図1）。各ノードには、履歴名称と出現日数に加え、親ノードおよび同一履歴が格納された次ノードへのポインタを記録する。

FP-Growthアルゴリズムは、FP-Treeを用いて条件部に設定した渋滞履歴集合を含む観測日の履歴を抽出する操作を繰り返し、頻出渋滞履歴集合を列挙する。手順①「出現頻度の降順に履歴を1つ選び条件部の履歴集合に追加」、手順②「条件部の履歴集合を含む観測

表 1 渋滞履歴データ

観測日	渋滞履歴	観測日	渋滞履歴
1	a, b, e	6	b, c
2	b, d	7	a, c, e
3	b, c	8	a, b, c, e
4	a, b	9	a, b, c
5	a, c, e	10	f

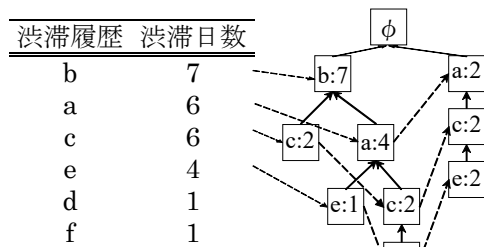


図 1 渋滞履歴リストと FP-Tree

日データを FP-Tree から抽出し、手順③「各履歴の出現頻度を数えて頻出パターンを抽出」、手順④「手順②の観測日データから条件付き FP-Tree を作成」の 4 手順を再帰的に繰り返す。

図 1 の例では、まず履歴 e を条件部の履歴集合に加え、次に FP-Tree から条件部の履歴集合 {e} を含む観測日の渋滞履歴を取り出し、他のアイテムの出現頻度を確認する。(b, a, e) 1 日, (b, a, c, e) 1 日, (a, c, e) 2 日 が取り出され、 $a \cdot b \cdot c$ が抽出条件を満たすため {a, e} {b, e} {c, e} を頻出渋滞履歴パターンとして出力する。次に、抽出された観測日の渋滞履歴から、条件部 {e} に関する条件付き FP-Tree を作成する。この操作を再帰的に繰り返すと、渋滞履歴 e を含むすべての頻出渋滞履歴パターンを列挙できる。なお、条件部への渋滞履歴の追加は、渋滞日数の昇順に行う。

上記のアルゴリズムは、一部の渋滞履歴集合を集約した FP-Tree を活用して、効率的な頻出渋滞履歴パターンの抽出を図っている。しかし、本分析では抽出の必要がない、空間的あるいは時間的に連続ではない渋滞履歴集合も探索範囲に含まれており、その点では非効率な手順となっている。

そこで、アルゴリズムの手順を改変し、連続な渋滞履歴集合のみを探索するアルゴリズムを開発した。提案手法では、FP-Tree 構築手順において、条件部の渋滞履歴集合と接続する渋滞履歴のみを分析対象とする。すなわち、手順①を手順①'「条件部の渋滞履歴集合と連続な渋滞履歴を出現頻度の降順に 1 つ選び条件部の履歴集合に追加」に変更することで、空間的あるいは時間的に連続な渋滞履歴集合のみを探索するアルゴリズムに拡張することができる。渋滞履歴の中で、空間的・時間的に連続な渋滞履歴の組み合わせは非常に少ないため、通常の FP-Growth アルゴリズムよりも大幅に分析範囲を限定できる。

② 頻出渋滞履歴集合の集約による探索

都市では、ほぼ同時刻に同一ボトルネックを先頭に発生した渋滞が長時間継続し、周辺

に影響が波及する様子が、毎日のように観察される。そのため、ある時刻に常に渋滞する一連の道路リンクの組み合わせや、ある道路リンクが常に渋滞する時間帯など、高い割合で観察される渋滞履歴集合が存在する。

長時間継続し広範囲に広がる渋滞の分析では、多くの渋滞履歴集合が頻出パターンを構成する。頻出パターンマイニングアルゴリズムは、分析過程で頻出パターンのすべての部分集合を列挙するが、あるパターンの部分集合の数はアイテム数に対して指数関数的に増加するため、分析の実行可能性が大幅に低下してしまう。

この問題への対処として、渋滞データの特徴である互いに同時に出現する割合が高い渋滞履歴集合を、頻出パターンマイニングアルゴリズム適用前に集約する。この対応により、入力データ量が減少し、かつ、集約した渋滞履歴集合の部分集合が列挙されなくなるため、飽和集合以外のパターン出力が大幅に減少し、計算時間の短縮が期待できる。

本研究では、渋滞履歴集合の出現日数の、各渋滞履歴の出現日数に対する割合の最小値を判定基準とし、閾値を超える場合にその渋滞履歴集合を集約する。

提案した上記 2 種類の拡張により、探索範囲の限定、部分集合抽出の削減ができるため、本研究で使用するアルゴリズムは、大規模データに対する適用可能性を大幅に向上させることができる。

(2) 提案手法による渋滞の時空間過程分析

沖縄本島南部の 3 つの二次メッシュ (那覇 392725・糸満 392715・与那原 392726) 内のすべての VICS リンク 510 本に関する、2011 年 6 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日まで 853 日間の交通感知器データを使用し、提案手法による渋滞の時空間過程の把握を試みた。

分析の空間単位は VICS リンクとし、端点ノードを共有するリンクの組み合わせが接続していると判定した。ただし、複数の VICS リンク端点ノードが設定されている交差点は、それらを集約した交差点ノードを作成した後に、接続関係を判断した。

なお、提案手法による分析に先立ち、交通感知器データからリンク毎の臨界速度を推定し、各リンク・各時間帯の渋滞の有無を判定した渋滞履歴データを作成した。

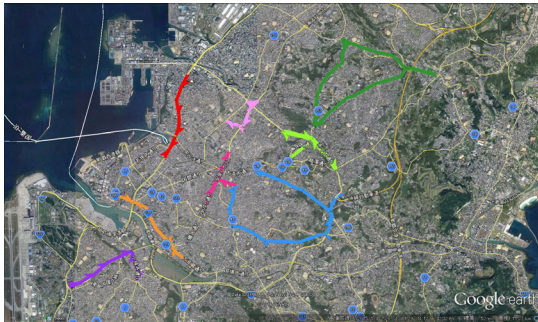
分析結果の例として、那覇市周辺の平日の 7 時から 10 時の朝・通勤時間帯に注目し、降雨の有無や曜日による渋滞発生・渋滞波及過程の違いに着目した分析・可視化例を示す。

なお、気象庁沖縄気象台那覇観測所のアメダス・時間雨量データを用いて、分析時間帯すべてで時間降水量が 0mm の日を「晴天日」、その他を「雨天日」とする。晴天日は曜日毎の分析結果を、雨天日は日数が少ないため平日全てのデータを用いた分析結果を示す。なお、90%以上の割合で共起する渋滞リンク・時間

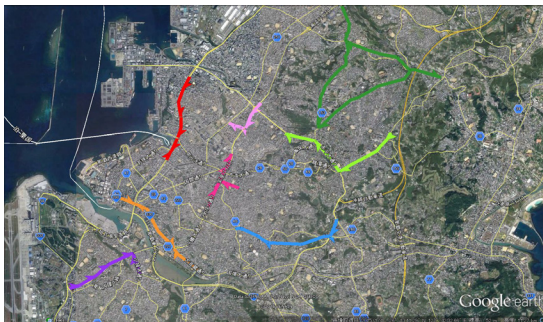
帯の集合を集約した後、60%以上の日で発生した渋滞履歴の頻出飽和集合を抽出した。

抽出された頻出飽和集合から、渋滞継続時間が長く、渋滞履歴の構成要素数が多く、出現日数が多いものから順に、既抽出の時空間過程と重複していない集合を抽出した。抽出された集合に含まれている渋滞リンクを、集合毎に色を変え図2に示す。(i)は晴天日の平日で渋滞履歴数が最大の火曜日、(ii)は最小の木曜日、(iii)は雨天日の平日の結果である。なお、渋滞リンク・時間帯の頻出集合の要素に共通部分が多い集合を同色で示しており、都心部を赤系、郊外部を緑・青系の色で表す。

晴天日の火曜日と木曜日は8箇所の渋滞、雨天日の平日は7箇所の渋滞が発生している。曜日や降雨に関わらず、ほぼ同一地域に渋滞が発生しているが、分析条件によって影響の波及範囲が異なる様子が観察できる。例えば、集合内の渋滞リンク数が最大となる青矢印で表した渋滞は、火曜日は広範囲に影響が波及するものの、木曜日や雨天日ではその影響範囲は狭い。



(i) 晴天・火曜日



(ii) 晴天・木曜日



(iii) 雨天・平日

図2 朝・通勤時間帯の渋滞波及範囲

次に、最も渋滞履歴数が多い晴天の火曜日を例に、郊外部で渋滞が発生した直後の7時30分から8時の時間帯と、中心部近くの道路でも渋滞が発生する8時からの時間帯の渋滞領域を図3に示す。各渋滞領域の渋滞発生時刻の違いや、渋滞延伸状況を把握できる。

また、火曜日の青矢印の渋滞について、共通要素を持つすべての頻出集合に含まれる渋滞リンクを併せて水色矢印で図4に示す。都心近くで発生する図2・3上の濃い桃色の渋滞領域と連なる渋滞が発生することが確認できる。また、郊外の南東部に渋滞が延伸する場合があることも確認できる。一方、他の方向に渋滞が延伸する様子は見られず、郊外では、図2・3に黄緑や緑で示した郊外部の他の渋滞とは連なった渋滞を構成することは少ないことが確認できる。

このように、提案手法を用いた交通感知器データの分析を通じて、都市内の一般道路で発生する渋滞の波及範囲に関する情報を得られることを確認した。



(i) 7:30~7:45



(ii) 8:00~8:15

図3 朝・通勤時間帯の晴天・火曜日の渋滞

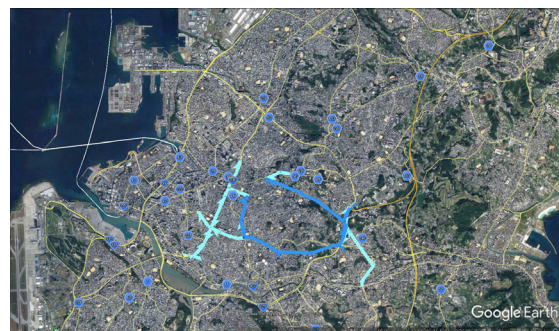


図4 朝・通勤時間帯・晴天・火曜日の最大要素数集合に関する重複集合を併せて表現した渋滞波及範囲

4. 研究成果

本研究は、車両感知器データを基に作成した、渋滞する道路リンクとその時刻を記録した渋滞履歴データから、長時間に渉り継続し、空間的に連なる、日常的に発生する渋滞を抽出する分析手法を開発した。また、提案手法によって抽出される渋滞履歴の頻出集合を利用した渋滞の時空間過程分析を行い、都市内の渋滞実態把握において有用であることを確認した。

渋滞の波及過程を観察する場合は、渋滞の継続時間が長く、渋滞履歴の構成要素数が多い頻出集合に注目すると同時に、その注目した渋滞と共通の構成要素を有する頻出集合を抽出し、あわせて確認することを提案している。これらの分析により、交通条件毎に異なる、渋滞の影響が及ぶ領域を適切に把握することが可能になる。得られた結果は、信号制御などの交通管制を行うべき空間的範囲の設定に活用できると期待される。また、本分析のアプローチを活用して、現在観測されている道路交通状況と類似の状況を過去の履歴から検索すると、短期的な将来に生じる可能性の高い渋滞状況の予報に繋がり、ドライバーに新たな交通情報を提供できる可能性があると考えている。

また、この分析方法を、様々な都市で観測された交通感知器データに対して活用すると、それぞれの都市内で日常的に発生する典型的な渋滞の波及過程を分析することができ、それぞれの都市の道路交通の特徴把握に利用できると期待される。

<引用文献>

- ① 井上 亮, 宮下 明久, 杉田 正俊. 2017. 車両感知器データのマイニングによる那覇市の渋滞波及過程抽出. 交通工学論文集 (特集号), Vol.3, No.2, pp. A_145-A_152.
- ② Inoue, R., Miyashita, A., and Sugita, M. 2016. Mining of spatio-temporal patterns of congested traffic in urban areas from traffic sensor data. Proceedings of 19th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 731-736.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 井上 亮, 宮下 明久, 杉田 正俊. 2017. 車両感知器データのマイニングによる那覇市の渋滞波及過程抽出. 交通工学論文集 (特集号), Vol.3, No.2, pp. A_145-A_152. 査読有.
DOI: 10.14954/jste.3.2_A_145
- ② Inoue, R., Miyashita, A., and Sugita, M. 2016. Mining of spatio-temporal patterns of congested traffic in urban areas from traffic sensor data. Proceedings of 19th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 731-736. 査読

有.

DOI: 10.1109/ITSC.2016.7795635

- ③ 井上 亮, 宮下 明久, 杉田 正俊. 2016. 車両感知器データのマイニングによる都市内渋滞の時空間形態抽出. 第 36 回交通工学研究発表会論文集 (2016/8/8-9, 日本大学理工学部駿河台キャンパス), pp. 27-32. CD-ROM. 査読有.
- ④ 宮下 明久, 井上 亮. 2016. 車両感知器データのマイニングによる都市内の渋滞パターンの時空間分析. 土木計画学研究・講演集, Vol.53, CD-ROM. 査読無.
- ⑤ 井上 亮. 2015. 交通感知器データに基づく都市内の渋滞発生・拡大形態の時空間分析. 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM. 査読無.

[学会発表] (計 4 件)

- ① Inoue, R., Miyashita, A., and Sugita, M. Mining of spatio-temporal patterns of congested traffic in urban areas from traffic sensor data. The 19th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2016/11/1-4. Rio de Janeiro (Brazil).
- ② 井上 亮, 宮下 明久, 杉田 正俊 車両感知器データのマイニングによる都市内渋滞の時空間形態抽出. 第 36 回交通工学研究発表会, 2016/8/8-9, 日本大学理工学部駿河台キャンパス (東京都・千代田区).
- ③ 宮下 明久, 井上 亮 車両感知器データのマイニングによる都市内の渋滞パターンの時空間分析. 土木計画学研究発表会. 2016/5/28-29, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ④ 井上 亮 交通感知器データに基づく都市内の渋滞発生・拡大形態の時空間分析. 土木計画学研究発表会. 2015/6/6-7, 九州大学 (福岡県・福岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 亮 (INOUE Ryo)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：60401303