

センタレスプローブシステムの交通情報過疎地域への適用

千葉工業大学大学院 学生会員 ○多田俊也

*千葉工業大学 正会員 赤羽弘和

株式会社 アイ・トランスポート・ラボ 小出勝亮

株式会社 アイ・トランスポート・ラボ 正会員 小宮粹史

1. はじめに

円滑な道路交通を実現するためには、適切な時期に適切な内容の交通情報を提供するシステムの整備が重要である。しかし、たとえば観光地などの交通情報インフラの整備が遅れがちな地域において、繁忙期の交通渋滞等に関する情報不足が目立つ。このような状況を改善するための方策の一つに、車をセンサとして交通情報を収集し、伝達するプローブカーシステムの適用が想定される。

本研究では、従来の交通情報インフラに依拠することなく、車車間通信によるアドホック (ad hoc) な移動通信網を、車両が走行する任意の路線、地域に構成し、交通情報を交換、蓄積、処理するセンタレスプローブ (Center-Less Probe vehicle system、以下 CLP) システムの適用性を検討した。

このようなシステムは、大規模災害の被災地においても、頑健性の高い情報収集・提供システムとして実効的に機能し得る。それは、日常的に使い慣れたシステムであればこそ、非常時にも適切に活用されると期待されるからである。

CLP 車両が、収集する詳細な走行軌跡データに基づき、交通渋滞の先頭位置、末尾位置、旅行時間等に関する一定精度の交通情報を生成し、他車両に適切な時期と場所において伝達するためには、従来とは異なるデータ処理が必要である。本稿では、渋滞の先頭位置と末尾位置の推定、渋滞の延伸状況および旅行時間の予測に関して、基本的なデータ処理アルゴリズムを提案し、性能検証の結果を報告する。

2. 実時間情報と蓄積情報の伝達概念

現状での CLP 車載機は、PC 用の無線 LAN 装置により、前後の走行車両や対向車両と相互にデジタル通信できる機能を有している。さらに、CLP 車載機は、自車の走行データを他車からの情報とともに統計的に処理し、情報の精度や内容に応じて情報の伝達を特定地域に集中させることも、広範囲に流布することも可能である。

収集した情報は、実時間提供することとどまらず、蓄積

して統計的手法による渋滞状況や旅行時間の予測にも適用可能である。そのために、たとえば交通情報過疎地域の流入部の路側に、CLP 車載機と電源のみで構成される固定 CLP 局を設置することにより、通過する車両に蓄積情報を提供する一方で、同車両から更新情報を収集することが想定される。また、交通情報インフラや移動通信の基地局が整備された地域に到達した CLP 車両により、固定通信網利用の交通情報システムに対して、交通情報過疎地域の情報をアップロードすることも想定される。

3. 使用データの収集

表 1 に、使用データの収集態勢を示す。収集期間中に開催された河津桜まつりは、住民 9000 人の河津町に例年 100 万人もの観光客を集める。それらの多くは車を利用するため、大規模な渋滞が発生する。このため、河津～伊豆高原間の旅行時間は、通常時 30 分程度であるところが、最大で 120 分程度にも達する。図 1 には、データ収集コースを示す。

表 1 CLP データの収集態勢

日時 データ	2/17	2/24
車両台数(台)	9	9
走行回数(回)	4	4



図 1 データ収集走行コース

Keywords: 旅行時間予測, ITS, センタレスプローブ,
車車間通信, 大規模災害対策

4. CLP による現況旅行時間情報の提供と時間遅れ

図2において、CLP による現況旅行時間の提供を想定する。まず、対向車が地点 α で車両Aとのすれ違い時に、渋滞先頭位置、同末尾位置、および車両Aの旅行時間にに関する情報を得る。対向車は、地点 β で車両Bからも情報を取得できるが、車両Bは渋滞先頭位置まで到達していないため、渋滞通過に要する時間情報は利用できない。車両Cに伝達された車両Aの旅行時間と、車両Cの実際の旅行時間には、渋滞末尾の変動に伴う時間 X なる誤差が生じてしまう。このような誤差を補正するためには、旅行時間を予測する必要がある。

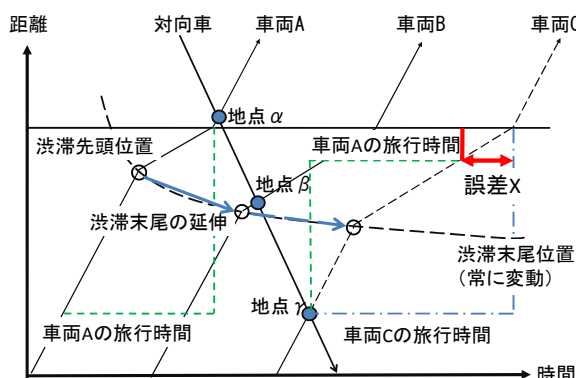


図2 渋滞路線におけるCLPの旅行時間予測の概念

5. CLP による予測旅行時間提供の仕組み

ある車両の現在地から渋滞先頭までの旅行時間は、非渋滞区間と渋滞区間の長さ、それぞれにおける走行速度により算定、予測できる。非渋滞区間と渋滞区間の長さは、車両の現在位置、渋滞末尾の位置、渋滞の先頭位置で規定される。これは、渋滞区間が複数存在している状況でも、基本的に同様である。

CLP 情報により旅行時間を予測する方法として、以下を提案する。

- 1) 定常的な渋滞の先頭位置はほぼ一定なので、蓄積情報を予測に適用する。
- 2) 予測対象路線における渋滞時および非渋滞時の平均走行速度も、定常的な渋滞ではほぼ一定なので、蓄積情報を予測に適用する。
- 3) 渋滞末尾位置は時々刻々変化するので、第一に可能な限り時間遅れがない方法で最新の位置を推定する。第二に、推定位置の変動経緯を外そうして、末尾位置の変化、すなわち渋滞の延伸を予測する。

上記の 1)および 2)を実現するためには、車両の走行軌跡データに基づいて、渋滞先頭位置、区間平均速度を推定し、逐次蓄積し、更新する仕組みが必要である。

6. 渋滞の先頭位置と末尾位置と最小二乗推定

本節では、渋滞先頭まで到達したCLP 車両の走行軌跡データに基づき、渋滞の先頭、末尾位置を最小二乗推定する方法を説明する。この推定結果に基づいて、渋滞区

間、非渋滞区間における平均走行速度を推定することができる。

図3に、走行軌跡の実測データに基づく、渋滞先頭位置と同末尾位置の最小二乗推定の概念を示す。走行の始

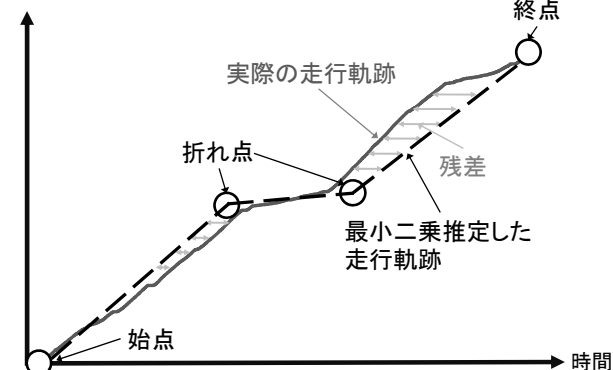


図3 最小二乗推定の概念

点、渋滞末尾、渋滞先頭、および走行の終点を、時空間平面上の直線で結んで、推定軌跡を構成する。このうち、走行の始点と終点とは固定し、推定軌跡の折れ点である渋滞先頭と同末尾の位置を、実際の走行軌跡からの残差二乗和を最小にするように推定する。

実際の走行では、渋滞区間が複数存在する場合も考えられる。そこで、本研究では、AIC (赤池の情報量基準) 値の低下幅が最大となるように、折れ点数を最適化した。

折れ点の候補位置は、素速度の60秒移動平均が20km/h以下で、かつその継続時間が最大の区間の端点から選択設定する。図4に、60秒移動平均速度が20km/h以下の実測データの発生状況を示す。図中の番号は、選択の優先順位の設定例である。

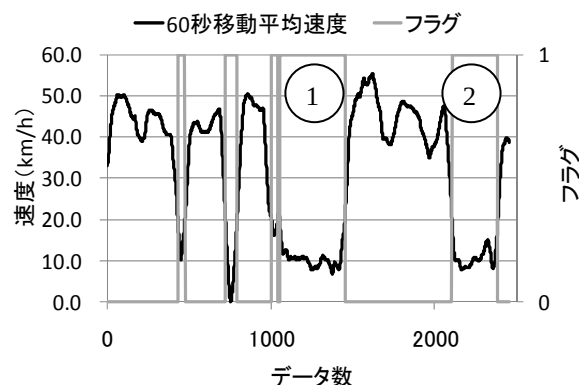


図4 速度による折れ点の候補位置の選択

図5に、AIC 値と折れ点の関係を示す。1~5号車では、折れ点数の最適値はいずれも4となり、渋滞区間が2つ存在したと推定された。これは実際の交通状況と整合する結果である。6号車のみは、折れ点が6で最適化され、渋滞区間数は3と推定された。これは調査区間の最下流端における速度低下を渋滞と推定したためであるが、実際に渋滞していたか否かは、観測データからは判定でき

なかった。図6に、1～3号車の走行軌跡の実測値と、最小二乗推定された折れ点を例示する。

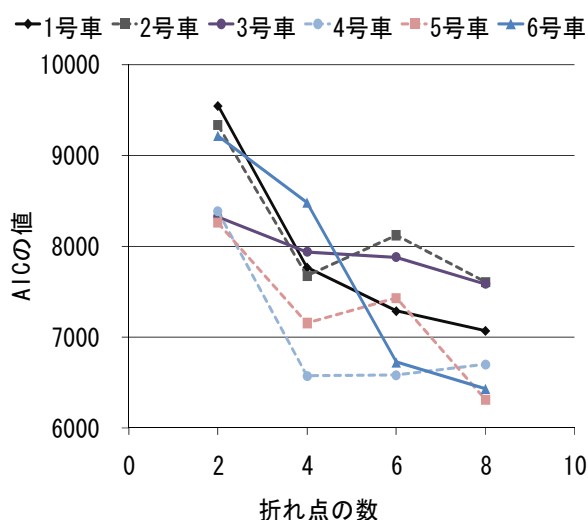


図5 折れ点数とAIC値

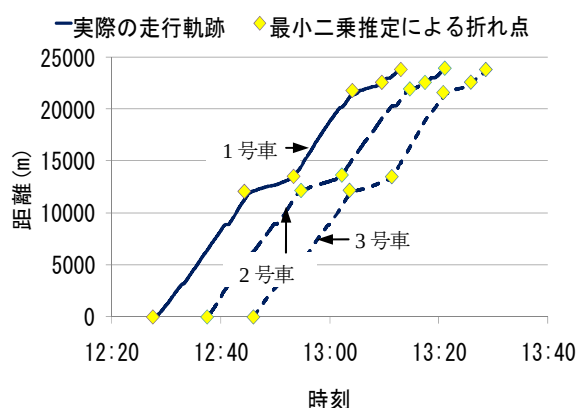


図6 実走行軌跡と折れ点の推定結果

表2 推定した渋滞先頭位置と区間平均速度

車両番号	1	2	3	4	5	6
先頭位置の推定誤差(m)	14	15	20	7	9	12
区間平均速度(km/h)	9.4	10.6	11.5	10.1	11.3	11.3
推定区間平均速度(km/h)	8.9	9.6	11.5	10.1	10.1	10.5

表2に、素速度データの目視により判定した渋滞先頭位置からの最小二乗推定した渋滞先頭位置の誤差、同区間平均速度を示す。渋滞先頭位置の推定誤差は最大でも20m程度、区間平均速度の誤差は最大でも1km/h程度であり、一定の推定精度が実現できている。

このように各車両の走行軌跡データに基づいて最小二乗推定された渋滞先頭位置および区間平均速度は、一日単位の中央値で代表させ、さらに指数平滑で更新する。

7. 渋滞末尾位置の実時間推定

60秒間移動平均速度が閾速度（今回は20km/h）を下回った時点から、さらに60秒後までの走行軌跡データを使用して、渋滞末尾位置の判定を行う。すなわち、渋滞末尾を通過してから最大で120秒の遅れを許容して、末尾位置を推定する。

表3 渋滞末尾の推定誤差

車両番号	1	2	3	4	5	6
位置誤差(m)	-101	-127	35	-5	-48	-4
時間誤差(s)	56	41	-21	17	71	-10

走行の始点、渋滞末尾、および走行軌跡データの下流端を、時空間平面上の直線で結んで、推定軌跡を構成する。前節と同様に、始点および下流端を固定し、速度低下地点を初期値として末尾位置を最小二乗推定する。

表3に、各車両の全走行軌跡データから推定した末尾位置を基準値とし、実時間推定した末尾位置と末尾への到達時間の誤差を示す。位置誤差は最大でも100m程度、時間誤差は70秒程度と、推定精度は良好であった。

8. 渋滞末尾位置の予測

前節の方法で、走行軌跡の実測データから最新の末尾位置2点を逐次推定し、時空間平面上の直線で同2点を外そうすることにより、渋滞の延伸を予測する。前出の図2に、この概念を示す。

表4に、基準となる末尾位置と予測末尾位置との誤差を示す。位置誤差は最大でも30m程度、時間誤差は100秒程度の範囲に収まった。

表4 渋滞末尾位置と予測渋滞末尾位置

車両番号	1	2	3	4	5
位置誤差(m)	-1	31	-16	2	-33
時間誤差(s)	-100	-13	101	102	-112

9. 旅行時間の実時間予測精度

2/17および2/24の渋滞先頭位置、渋滞区間および非渋滞区間の平均速度の中央値を算定し、指数平滑により仮想的に更新した。これらの更新値および末尾位置の予測値に基づき、再び両日を対象として、旅行時間を予測した。図7に、実旅行時間と予測旅行時間を示す。誤差は最大でも1分程度であり、一定の予測精度が示された。

10. CLPによる伝達余裕時間および伝達余裕距離

前節で予測した旅行時間を対向車を介して後続車に伝達する状況を検討する。先行車が渋滞区間を通過し終えてから対向車を介して後続車に交通情報を伝達する場合と、先行車が渋滞末尾に遭遇した直後に伝達する場合とにおいて、後続車が渋滞遭遇前に情報を取得できるま

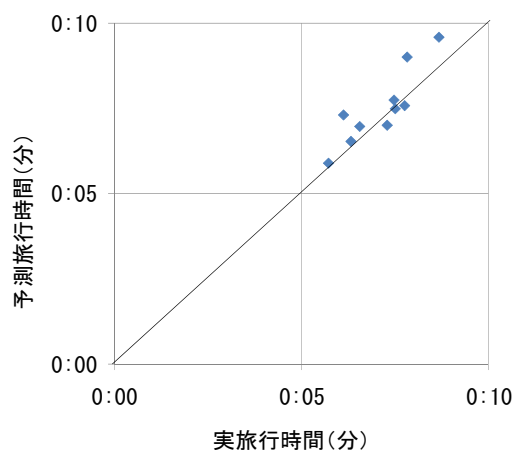


図7 実旅行時間と予測旅行時間

での伝達余裕時間および伝達余裕距離を検証する。実験で得られた非渋滞時の走行速度を平均し、対向車の速度とした。また、CLP車は10分おきに走行させた。図8に伝達余裕時間、同距離を示す。

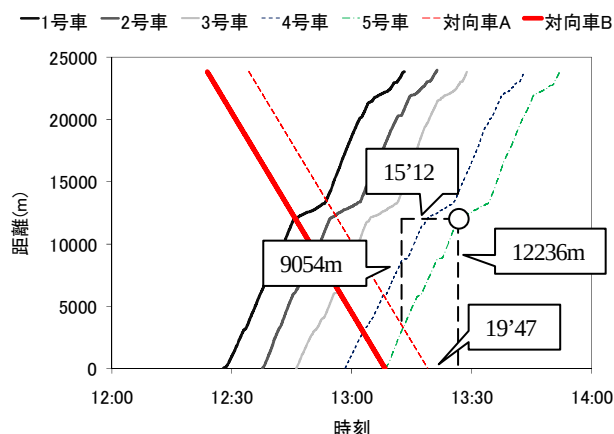


図8 対向車による伝達余裕時間・同距離

同図より、前者では対向車Aを介した伝達余裕時間は約15分で同距離は約9kmに対し、後者では対向車Bを介した伝達余裕時間は約20分で同距離は約12kmとなった。渋滞区間長が長くなれば、CLP車載機により渋滞末尾を実時間判定し、旅行時間を予測する優位性はさらに高まると考えられる。

11. まとめ

本研究では、従来の交通情報インフラに依拠することなく、車車間通信によるアドホック(ad hoc)な移動通信網を、車両が走行する任意の路線、地域に構成し、交通情報を交換、蓄積、処理するセンタレスプローブシステムの適用性を検討した。

CLP車両が収集する詳細な走行軌跡データを活用した、渋滞の先頭位置と末尾位置の推定方法、渋滞の延伸状況および旅行時間の予測方法を提案し、次のような結果を得た。

① 渋滞先頭位置まで到達したCLP車両の走行軌跡デ

ータに基づき、渋滞の先頭、末尾位置を最小二乗推定し、渋滞区間、非渋滞区間における平均走行速度を推定する方法を提案した。渋滞先頭位置の推定誤差は最大でも20m程度、区間平均速度の誤差は最大でも1km/h程度であり、一定の推定精度が実現できた。

- ② 渋滞末尾を通過してから最大で120秒の遅れを許容して、同位置を最小二乗推定する方法を提案した。同方法による位置誤差は最大でも100m程度、時間誤差は70秒程度となった。
- ③ 走行軌跡の実測データから最新の末尾位置2点を逐次推定し、時空間平面上の直線で同2点を外そうすることにより、渋滞の延伸を予測した。その結果、予測における位置誤差は最大でも30m程度、時間誤差は100秒程度の範囲に収まった。
- ④ 二日間の観測データに基づき、渋滞先頭位置、渋滞区間および非渋滞区間の平均速度の中央値を算定し、指数平滑により仮想的に更新した。これらの更新値および末尾位置の予測値に基づき、再び両日を対象として、旅行時間を予測した結果、誤差は最大でも1分程度となった。
- ⑤ 予測した旅行時間を対向車を介して後続車に伝達する状況を検討した。その結果、予測をしない場合と比較して、後続車が渋滞に遭遇するより手前で、旅行時間を伝達できる優位性を確認した。

本研究では、1秒毎の走行データを使用した。計算能力がそれほど高くはない車載機への適応を考慮し、10秒程度毎のデータ適用を検討することなどが、今後の課題である。

本研究は、「NEDO事業 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト高速移動知能(公共空間分野)の開発 センタレスプローブ研究委員会」の活動の一環として実施し、同プロジェクト・メンバーである財団法人日本自動車研究所の和田光示氏、株式会社アイ・トランスポート・ラボの堀口良太氏を始めとする皆さんの協力を得た。また、千葉工業大学・学生(当時)の池田龍二氏、沼田仁氏の貢献も大きかった。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) (財)日本自動車研究所：高速移動知能を搭載した高速移動体の有効性検証，2008。
- 2) (財)日本自動車研究所：自動車研究，センタレスプローブの活用，第29巻，第10号，pp53-56，2007。
- 3) (財)日本自動車研究所：自動車研究，センタレスプローブ情報処理アルゴリズムの開発 第29巻，第10号，pp57-60，2007。
- 4) (財)日本自動車研究所：センタレスプローブ情報システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書，2007