

ETC2.0 プローブデータを用いた 経路選択データベース生成

久米 大河¹・柳沼 秀樹²・寺部 慎太郎³・康 楠⁴

¹学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: 7616610@ed.tus.ac.jp

²正会員 東京理科大学 講師 理工学部土木工学科 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: yaginuma@rs.tus.ac.jp

³正会員 東京理科大学 教授 理工学部土木工学科 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: terabe@rs.noda.tus.ac.jp

⁴正会員 東京理科大学 助教 理工学部土木工学科 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: kangnan@rs.tus.ac.jp

ETC2.0 に代表されるプローブデータの出現により、ドライバーの目的地や利用経路などの行動実績データを長期・正確・大量に把握することが可能となった。しかしながら、データ受信の障害やプライバシー保護、マップマッチングの精度など、様々な要因によって欠損が存在しており、分析に耐えうる経路データを作成するのはマニュアルでの修正が必要な状況にある。本研究では、データの欠損要因を分析し、システムティックに経路データを生成するアルゴリズムを構築して実データを用いた検証を行う。具体的には、関東地方の1ヶ月間のETC2.0 データを対象に、欠損要因分析から抽出した空間・時間条件を適用して結合・分割の判別を行い、トリップ単位での経路利用実績データを自動生成する手法を検討した。実データを用いた適用分析では、高速かつ正確に経路実績データを生成することが示され、本手法の有効性が確認された。

Key Words: probe data, ETC 2.0, trip splitting condition, route data

1. 序論

将来における交通状態を、より効率的に運用するためには目的地や経路選択行動などの現況の交通実態を把握することは必要不可欠である。これまでにアンケートによるOD調査やトラフィックカウンターによる交通量調査などから、交通実態の把握に努めてきた。しかしながら、これらの調査によるデータは被験者の記憶による主観的情報、また1断面におけるオイラー的手法の調査であることから、個々の車両の俯瞰的な交通行動を把握するのは非常に困難であった。しかし近年では、GPS技術や情報通信技術の発展もあり、民間プローブデータやETC2.0プローブデータ¹⁾に代表されるラグランジュ的手法の調査結果も現れてきた。これらのプローブデータは基本的にはデータ記録地点における個ドットデータとして記録されるため、経路選択行動を分析するためには、複数のドットデータを連結して一つの経路選択データを生成する必要がある。しかしながら、これらのデータは建造物による通信障害などによりデータが記録されない事象が少なからず存在し、そのため、データが欠損している個所がたびたび発生する。また、プライバシー保護や利用するマップマッチングアルゴリズムによっては、データ補正の際

に人為的にデータが消去される事案もあり、現状でプローブデータを経路データとして扱うには、困難があると考えられる。

そこで本研究では、ETC2.0プローブデータを対象として、トリップ単位での分析に耐えうる経路データを生成する手法の構築を目的とする。具体的には、走行履歴情報からトリップ単位に接続するための諸条件を実データを用いて明らかにし、その上で欠損部分を補間する方法を検討した。これにより、ETC2.0プローブデータから自動的に経路選択データを生成すること可能となり、実務的な負担軽減につながると期待される。

2. 対象データ

本研究で対象とするプローブデータは2015年9月1日～2015年9月30日の1ヶ月の期間において取得された関東地方のETC2.0プローブデータの走行履歴情報である。

ETC2.0プローブデータの走行履歴情報²⁾は、ETC2.0搭載車が200m走行するか、進行方向が45度以上変化したときに、その時点での緯度、経度、時刻等を取得した情報である。ETC2.0を搭載した各車両がプローブデータを蓄積し、蓄積したデータを路側にあるITS

スポットに送信することで、データを取得する。ここで、補足として ETC2.0 プローブデータを代表とするプローブデータは、大半が一般プローブデータで構成されており、一般プローブデータはドライバーのプライバシー保護のため、運転者個人が特定されないよう加工がされている。ETC2.0 の一般プローブデータの場合は、起終点において 500 m 程度のデータが消去、また、1 日単位で車両 ID が変更されるよう加工がされている。加えて、データ蓄積の容量の都合上、最初に遭遇する ITS スポット以前の 80km 分のデータをしか蓄積されないという制約があることを明記しておく。

本研究では、走行履歴情報内の緯度、経度、GPS 受信時刻、また ASL-ID と呼ばれる ETC2.0 搭載車の日ごとに変更される個々の車両の運行 ID を用いて、走行履歴情報のトリップ単位での分割、欠損データの判別・補完、そして、経路データの生成を行う。トリップごとに分割された ETC2.0 プローブデータの走行履歴より経路データを作成するには、走行履歴の欠損箇所の補間が必要である。そして、その補間を行うためには欠損部分の把握が必要である。しかし、先述の通り、ETC2.0 プローブデータはプライバシー保護のため起終点周辺 500m のデータは自動的に消去されるようになっている。このため、時系列を把握できない GIS ソフトなどでデータを表現した場合、トリップ分割箇所と欠損部分の区別は困難である。このため、欠損部分の把握の前にトリップ分割箇所の把握をする必要がある。そして、走行履歴情報をトリップ単位ごとに分割する。

3. 走行履歴のトリップ単位での分割

(1) 既存のトリップ分割条件の課題

経路データを個別の座標データから生成する際には、どこからどこまでが一連のトリップデータかという判断が必要となる。すなわち、走行履歴情報をトリップ単位ごとに分割することが重要となる。ETC2.0 プローブデータの既存のデータ処理においてもトリップ分割は行われており、以下に示す条件で分割が行われている。

時間条件 前後の走行履歴情報の GPS 受信時刻が 30 分以上空いた場合

空間条件 前後の走行履歴情報の位置が 250 m 以上離れた場合

既存のトリップ分割は以上の条件のいずれかに該当した際に、前後のデータを別トリップとして分割している。しかし、この分割条件では過度にトリップ分割が行われていると考える。図-1 は二次メッシュコードで 5339 (北緯が約 35 度 ~ 36 度、東経が 139 度 ~ 140 度の地域) と表される地域を走行する車両の総トリップ

数を示したものである。対象車両は 2015 年 9 月 1 日から 2015 年 9 月 30 日の 30 日間における各日レコード数の多い上位 20 台、すなわち、計 600 台を対象に二次メッシュコード 5339 の地域におけるトリップ数を測定した。図-1 に示されるように二次メッシュコード 5339 の地域を走行した車両のトリップ数は、二桁に上る車両が多く、中にはトリップ数が 1000 を超える車両も存在する。またトリップ数の多い車両の走行した道路種は自動車専用道路が最も多く、自動車専用道路における停車可能施設の数と考えると、既存の分割条件では過度なトリップ分割が行われていると考えられる。また、過度なトリップ分割が行われる要因についてだが、二次メッシュコード 5339 の地域は首都圏中心を含む地域であり、高層ビル群やトンネルの存在が多い。そのため、GPS の受信障害が発生し、データの欠損が発生したためと考えられる。ETC2.0 プローブデータは 200 m 走行ごとに記録が行われる。そのため、既存の空間条件では一度受信障害などにより、データの欠損が発生すると、その前後の走行履歴は別トリップとして認識されることが考えられる。

正確な交通実態の分析を行うにあたって、分析に用いる経路データは現実の運行状態を示したデータでなければならないのは自明の理である。すなわち、分割されたトリップも現実に即したものでなければならない。しかし、既存の分割条件では過度な分割が行われていると考えられ、現実に即したトリップに生成されているとは言い難い。そのため、本研究では現実に即したトリップを生成するため新たな分割条件を提案する。

(2) 新たに提案するトリップ分割条件

現実の運行状態に近いトリップにデータを分割するには、既存の分割条件に置き換わる新たな分割条件が必要となる。分割条件は時間条件、空間条件、速度条件などに分けられ、既存の分割条件においても、時間条件と空間条件の 2 つの条件を用いて分割を行っている。しかし、前節でも記述したが、ETC2.0 プローブデータには欠損が存在すると考えられ、その欠損の範囲が予測できない現況では、空間条件による分割は、過度なトリップ分割を生み出す恐れがあると思われる。

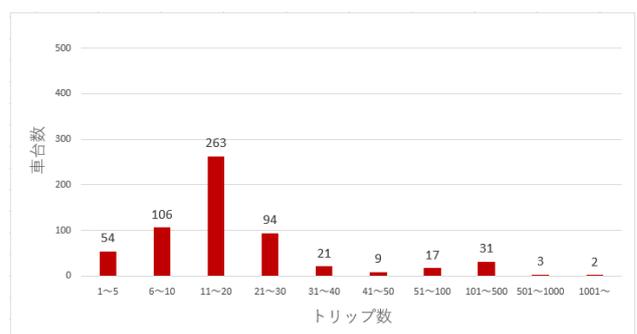


図-1 既存トリップ分割条件によるトリップ数別の車台数

これを確認するために時間条件，空間条件がそれぞれどれくらい分割を行っているか調査を行った．その結果を図-2，図-3 に示す．図-2 は前節のトリップ数を測定した 600 台に対し新たに既存の分割条件における時間条件のみを適用し，トリップ数を測定した結果である．また，図-3 は同対象に既存の分割条件における空間条件のみを適用し，トリップ数を測定した結果である．なお，本来空間条件において判別する値は，走行距離が望ましいが，ETC2.0 プローブデータには走行距離が記録されていないため，本研究では，ヒュベニの公式³⁾を用いて，前後の走行履歴の位置の距離 d の算出を行った．ヒュベニの公式を以下に示す．

$$d = \sqrt{(d_y M)^2 + (d_x N \cos \mu_y)^2}$$

ここで， d_x は 2 地点間の経度の差， d_y は 2 地点間の緯度の差， μ_y は 2 地点間の緯度の平均， M は子午線曲率半径， N は卯酉線曲率半径を示す．

図-2，図-3 を比較すると，時間条件にて分割されたトリップ数よりも空間条件にて分割されたトリップ数のほうが多いことが判る．これより，空間条件をトリップ分割条件に組み込むのは適していないといえる．また，速度条件も空間情報を使用するので，組み込むのは適していないと考えられる．そのため本研究では，時間条件のみでトリップを分割を行うこととした．また，時間条件の閾値だが，本研究では閾値を 10 分とした．これは厚生労働省が定める連続運転時の最低休憩時間が 10 分⁴⁾であることから，この閾値に決定した．ここで，新たな分割条件で前述の 600 台に対してトリップ分割を行った結果を図-4 に示す．図-4 より，新トリップ分割条件は，極端に過度なトリップ分割は行われず，実際の走行により近いと考えられるトリップを生成できることが判明した．しかしながら，新トリップ分割条件によるトリップ数と既往の分割条件によるトリップ数を比較したところ，新条件により分割されたトリップ数が既往条件のトリップ数より多くなる事例が全体の 5% ほど確認された．これは時間条件のみによりトリップの分割を行ったため，渋滞に代表される低速運転時の運転挙動が分割条件に当てはまり，トリップが過度に分割されたためと考えられる．

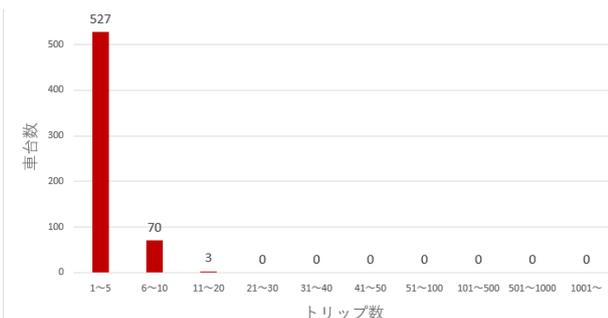


図-2 時間条件:「30 分」によるトリップ数別の車台数

本論文においては提案した新分割条件により分割したトリップにより経路実績データの生成を試みるが，より現実に近いトリップデータの生成を行うためには，本論文で提案した新条件に加え，渋滞などの低速運転も考慮した AND 条件による分割条件の提案，また，実測データに基づくトリップデータの再現性の確認が必要であると考えられる．

4. 欠損箇所の判別

トリップ単位に分割された走行履歴を基に経路データを生成する際には，走行履歴の補間を行う必要がある．ETC2.0 プローブデータを代表とするビッグデータを補間するには，単純なデータ欠損箇所の判別が必要である．ETC2.0 プローブデータの欠損は主に以下の 3 つのことが原因で発生すると考えられる．まず 1 つ目の事例は第 2 章でも述べたプライバシー保護に基づく起終点周辺 500m のデータ削除である．2 つ目に，これもまた第 2 章で述べたが，ETC2.0 搭載車は各自のプロブデータを ITS スポットに送信するまでは，自動車本体にデータが蓄積されている．そして，自動車本体に蓄積できるのは走行距離 80km 分までである．このため，ETC2.0 搭載車が運転開始後，80km 以上の距離を走行した場合，走行開始直後のデータ，または，それ以前に運転したときの走行履歴が失われることがある．

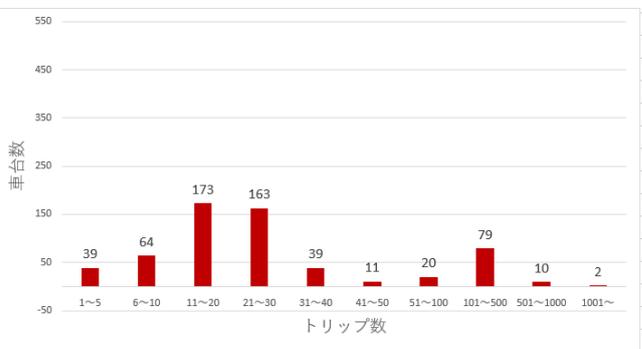


図-3 空間条件:「250m」によるトリップ数別の車台数

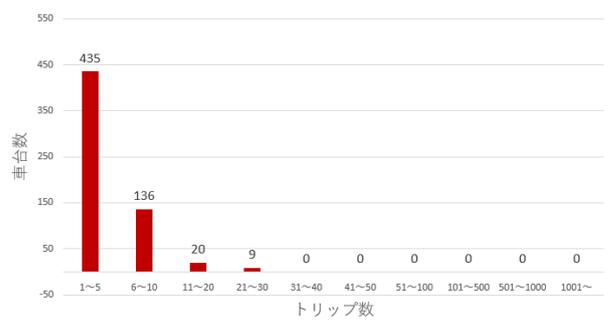


図-4 新トリップ分割条件によるトリップ数別の車台数

3つ目の事例は、GPS 測位時に何らかの通信障害、または記録障害が発生し、道中の走行履歴が取得できない事例である。本論文における欠損箇所の補間とは、以上の欠損の3例のうちの3つ目の事例、すなわち道中の欠損に対して行う補間である。これは3つ目の事例が道中の欠損なのに対し、1つ目と2つ目の事例は運行時の出発点、終点の欠損だからである。また、1つ目の事例は初期のデータ処理の過程において、そして2つ目の事例はシステムの容量の都合上で発生する欠損である。そのため、データ処理が施されたデータを補間するより、それ以前の処理・蓄積の段階の過程を変えることの方が、より信頼性の高いデータが生成されると考えられる。このため、本研究では1つ目と2つ目の事例は除き、3つ目の事例のみ対し補間を行う。図-5は道中の欠損と考えられる一例をGISソフトにて表現したものである。図-5は首都圏中央連絡自動車道を右下から左上に進行する1台の自動車の軌跡を記したもので、画像中央部分の軌跡が欠損している。図-5の画像内における区間にはパーキングエリアやサービスエリアなどの停車施設は存在しない。またインターチェンジなどの施設も存在しないため、図-5の欠損はプライバシー保護による起終点周辺500m付近の走行履歴消去とは考えにくい。また、何らかのトラブルが発生し、路側帯に急遽停車したとも考えられるが、欠損する前後のレコードの時間差は20秒ほどであり、この時間差からでは通常走行していたと考えられる。また、データ欠損の理由是小倉山トンネル通過による電波障害による欠損と考えられる。本稿は図-5の例のような欠損に対し、補間を行うが、そのためには空間条件より欠損箇所を判別する必要がある。本稿では、ETC2.0プローブデータが200mの走行で記録が行われること、また、GPSの誤差も考慮した上で、既往のトリップ分割の空間条件にあやかり、レコード間に250m以上の差がある場合、その部分を欠損箇所として判別し補間を行うこととした。なお、この距離差は第3章でも紹介したヒュベニの公式³⁾を用いて算出を行った。

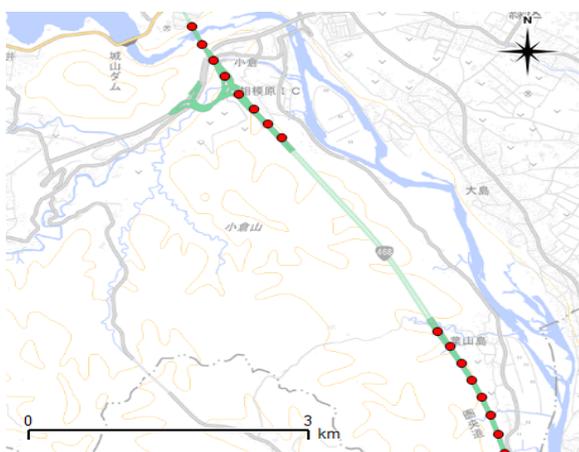


図-5 ETC2.0 プローブデータの欠損例

しかし、欠損箇所の判別は視覚、データ処理、どちらの判別も実測との比較分析を行わない限り主観的判断となる。そのため、客観的判断によるトリップ欠損箇所判別法を提案することが、今後の課題である。欠損箇所の判別の後には、欠損箇所の補間を行う。本論文では、3次のスプライン補間を用いて走行履歴を補間することにより経路データの生成を試みた。

5. スプライン補間を用いた欠損箇所の補間

(1) スプライン補間の概要

ETC2.0 プローブデータのようなビッグデータの処理の際は、処理計算において行う計算は可能な限り容易な方が望ましい。本稿では、ETC2.0のITSスポットが自動車専用道路に比較的多く設置されていること、すなわち、プローブデータは自動車専用道路を主に使用する自動車を中心になって構成されていること。また、自動車専用道路自体が急激な変化が少ない流線型のような構造であることから、3次のスプライン補間⁵⁾を用いて欠損部分の座標補間を試みた。スプライン補間とは、複数の座標が与えられた時に、それらの座標を滑らかに繋ぐ曲線を描く補間法であり、本研究で用いるスプライン補間は、3次式より補間を行うので、3次のスプライン補間と呼ばれる。また、先行研究では、小森谷、谷江の車輪型移動ロボットの軌道制御⁶⁾や、Walambeらの車型移動ロボットの最適軌道修正⁷⁾などに用いられている。

以下にスプライン補間の定式化を示す⁵⁾⁸⁾。

3つ以上の複数の点が与えられているとき、これらを2点ずつの区間に分けて、それぞれの区間ごとに別々の3次式を設定する。この概要図を図-6に示す。このとき、区間 $[x_i, x_{i+1}]$ を補間する3次式 $S_i(x)$ は次のように表せる。

$$S_i(x) = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i$$

ここで、 $s_i = S_i''(x)$ とすると、各境界点の二次導関数が連続であるという条件から a_i, b_i, c_i, d_i は s_i を用いて、最終的に次のように表せる。

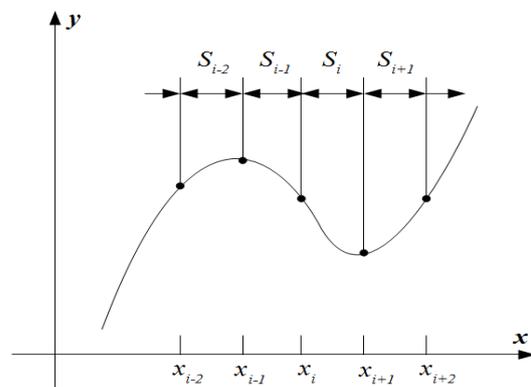


図-6 スプライン補間の区分

$$a_i = \frac{s_{i+1} - s_i}{6(x_{i+1} - x_i)} \quad b_i = \frac{s_i}{2}$$

$$c_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{1}{6}(x_{i+1} - x_i)(2s_i + s_{i+1})$$

$$d_i = y_i$$

また、各境界点の一次導関数が連続であるという条件より、次のような連立 1 次方程式が生成される。

$$(x_i - x_{i-1})s_{i-1} + 2(x_{i+1} - x_{i-1})s_i + (x_{i+1} - x_i)s_{i+1} = 6 \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right)$$

この連立 1 次方程式を解いて s_i を求める。そして、 s_i より a_i, b_i, c_i, d_i を求めることにより、補間式が求まる。本研究では、スプライン補間より与えられた 3 次式を用いて、任意で設定した経度より、その経度に対応した緯度を計算する。その求めた経度、緯度より、欠損座標の補間を行う。

(2) 補間結果

本研究では、欠損箇所周辺の記録にスプライン補間を行い、その区分多項式より欠損箇所の座標の補間を試みた。具体的には、欠損直前の 3 レコードと欠損直後の 3 レコードの計 6 レコードよりスプライン曲線を求める。そして、欠損箇所の経度差を 10 分割し、分割した経度に対応した緯度をスプライン補間で作成した多項式より算出し、欠損部分の座標補間を行った。その一例を示したものが図-7 である。図-7 において、赤色の点は ETC2.0 プロブデータの既知の座標点、青色の点はスプライン補間より補間した座標点である。図-7 に示す通り、自動車専用道路における座標補間はある程度の精度を持って、成功していると言える。しかし、本来スプライン補間は急激な変化の補間には向いていない。図-8 は、交差点を走行する車両に対しスプライン補間を適用したものである。図-8 に示す通り、欠損箇所にただ単純にスプライン補間を適用するだけでは、補間走行軌跡が市街地上に配置され、実際の走行に近い補間結果は得られなかった。そのため、本研究では交差点の中心に補助座標を配置することにより、この課題の解決を試みた。その結果が図-9 である。図-9 は図-8 と同じ場所、車両に対する補間結果であり、交差点中心に緑色で示された補助座標を配置した。この補助座標と既知の座標に対し、スプライン補間を行った。結果としてほぼ経路に沿った補間結果となり、補助座標を加えれば、スプライン補間による座標補間は有効性がある補間法と言える。しかしながら、本研究においては、この補助座標をシステムティックに導出すると

ころまでには至らなかった。このため、補助座標導出の手法の考案が今後の課題となる。

6. 結論

本論文は、ETC2.0 プロブデータを代表とする不完全な座標データから経路実績データの生成を試みたものである。まず、ETC2.0 プロブデータの既往のトリップ分割条件の問題点を明らかにした後、時間条件のみを適用した新しいトリップ分割条件を提案した。その後、ETC2.0 プロブデータの欠損箇所の一例を紹介し、3 次スプライン補間を用いて欠損箇所の補間、そして経路データの生成を試みた。

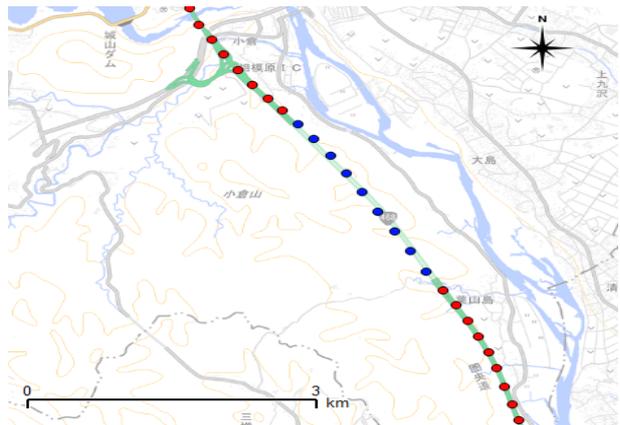


図-7 スプライン補間による欠損部分の座標補間

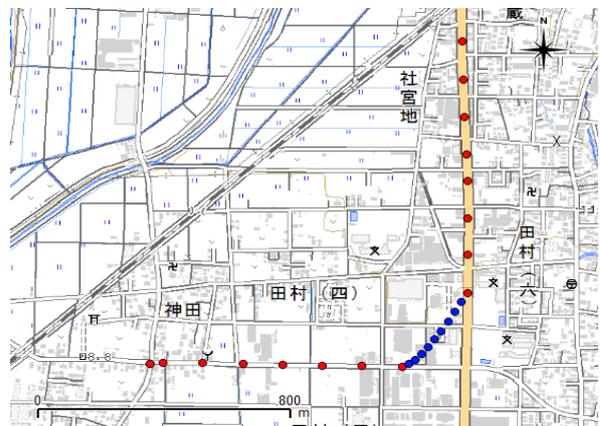


図-8 交差点におけるスプライン補間

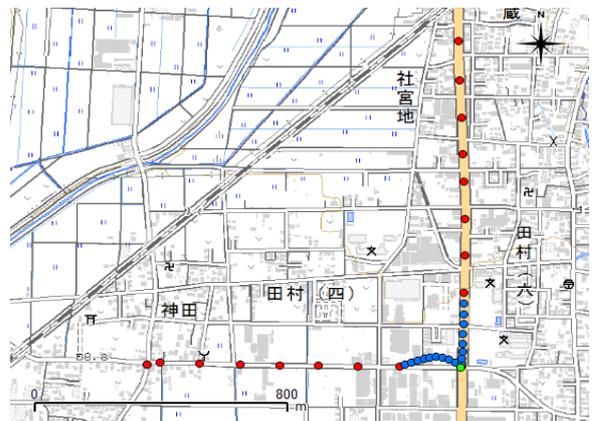


図-9 補助座標を用いた交差点におけるスプライン補間

結果として、非常に簡易なモデルであるスプライン補間を用いて、経路データの補間、生成が可能なことを示した。また、補助座標を取り入れることで、スプライン補間単体では困難な交差点においても、スプライン補間が適用可能であることを示した。しかしながら、本研究では補助座標の導出までには至らず、この導出方法を提案することが今後の課題といえる。

参考文献

- 1) ETC 総合情報ポータルサイト: ETC2.0 の概要, <https://www.go-etc.jp/etc2/etc2/>
- 2) 国土交通省: ETC2.0 プローブデータの概要, (2016 年 5 月 24 日取得)
- 3) 日本は山だらけ ~ 技術研究本部 報告書 第一号, <http://yamadarake.jp/trdi/report000001.html> (2009 年 8 月 15 日公開)
- 4) 厚生労働省: 連続運転時間・休憩の考え方, http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudouki_jun/dl/kousokubus-03_05.pdf
- 5) 山岡直樹: さまざまな言語で数値計算 第 3 巻 関数の近似, ForNext, 2014.
- 6) 小森谷清, 谷江和雄: スプライン曲線による車輪型移動ロボットの軌道制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 2, pp. 133-143, 1990.
- 7) Rahee Walambe, Nipun Agarwal, Swagatu Kale, Vrunda Joshi: Optimal Trajectory Generation for Car-type Mobile Robot using Spline Interpolation, IFAC-PapersOnLine, Vol. 49, Issue 1, 2016, pp.601-606.
- 8) 山本昌志: 補間法 (ラグランジュ補間とスプライン補間), <http://www.yamamo10.jp/yamamoto/lecture/2006/5E/interpolation/interpolation.pdf> (2006 年公開)

(2017. 4. 29 受付)

CREATING THE INDIVIDUAL ROUTE CHOICE DATASET USING ETC 2.0 PROBE DATA

Taiga KUME, Hideki YAGINUMA,
Shintaro TERABE and Nan KANG

With the advent of probe data such as ETC 2.0, we have been able to grasp the driving data such as the driver's destination and the used route for a long time, accurate, and in large quantities. However, the ETC 2.0 data has a deficiency due to factors such as data reception failure, privacy protection, map matching, etc. Therefore, it is necessary to correct data manually to create route data used for analysis. Then, the purpose of this study is to analyze data loss factors and generate systematic route data using actual data. Specifically, we devised a new trip splitting condition devised from the loss factor analysis using ETC 2.0 data for one month in the Kanto area and applied it to discriminate trip splitting. After that, we devised a method to automatically generate route data in trip units. In application analysis using actual data, it was shown that route data was generated fast and accurately, and the effectiveness of this method was confirmed.