

航空写真を用いた細街路における ETC2.0 データのサンプル率の推定

井料 隆雅¹

¹正会員 東北大学大学院情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: iryo@tohoku.ac.jp

ETC2.0 データのサンプル率は様々な要因により変動する。特に、交通安全対策などで政策的にも重視される細街路では、ETC2.0 システムのデータ収集手法の特性のために、幹線道路に比べてサンプル率がかなり小さいことが懸念される。本稿では、航空写真を用いて細街路を含めた車両の存在台数をカウントし、それを ETC2.0 データと比較することにより細街路でのサンプル率を密度ベースで推定した。結果、細街路のサンプル率は概ね 1% 程度であり、幹線道路でのサンプル率の数分の 1 程度であることがわかった。

Key Words: ETC2.0, sampling rate, minor roads, aerial photograph

1. はじめに

ETC2.0 システムにより取得される車両軌跡データ (ETC2.0 データ) は多くの調査研究で活用されている。一方、ETC2.0 データは一部の車両の一部の走行軌跡しか含んでいないため、限られたサンプル率でしか車両軌跡データを取得できない。また、統計学的に適正な手段によってサンプル抽出が行われているわけでもない。このためサンプル率は様々な要因により変動してしまい、結果として、全走行車両に対して高いサンプル率で車両軌跡が得られる状況もあれば、低いサンプル率でしか車両軌跡が得られないこともある。

ETC2.0 データの活用を考えたときに特に問題となるサンプル率の変動は、道路種別の差異に起因するものである。ETC2.0 システムは路側に設置した DSRC (Dedicated Short Range Communications) アンテナ経由で通信を行っている。しかしこの方法では、DSRC アンテナを設置した地点を通らない車両の情報を収集することはできない。DSRC アンテナ設置地点を時々にも通過する車両に対してであれば、リアルタイム性はなくとも蓄積データとしての過去の情報を収集するには支障がないように見える。しかし実際には ETC2.0 車載器が記憶できる車両軌跡データの量に制限があるため、そのような車両のデータは多くが欠落してしまう。ETC2.0 システムの DSRC アンテナは高速道路をはじめとした主要道路上に配置されているため、これらの道路をあまり使わずに地域の街路を中心に回る車両の軌跡は ETC2.0 システムでは取得しづらい。このことは、細街路のような主要でない道路における車両軌跡データのサンプル率を低下させること要因となる。

一方で、細街路における交通安全対策については、細街路における交通事故が近年社会問題として強く認知されるようになっており、その強化が求められている。このような事情もあり、細街路の交通状況に関するデータを ETC2.0 システムにより把握することへのニーズは高まっている。細街路における路側設置の観測機器による交通調査は、調査のための場所を確保することが困難であったり、カメラを使う場合には近隣住民のプライバシー保護が難しかったりするなど、技術的または社会的な課題が多い。また、そのような調査を全国規模で実施するとすると、細街路の総延長が幹線道路よりもはるかに長く、コスト的な面からいっても現実性に欠ける。ETC2.0 データのようなプローブ車両から得られる車両軌跡データを活用することは上記のような問題を回避するには有用であるといえる。ETC2.0 データから細街路における交通状況を知ろうとする試みについては、特に交通安全の分野を中心に複数の事例、例えば坪田ら¹⁾、福井・塩見²⁾、関根ら^{3),4)}がある。

細街路に限らず ETC2.0 データを用いた分析を行う際には、どの程度のサンプル率が期待できるかを事前に知っておくことが望ましい。ETC2.0 データのサンプル率については、例えば、小山・井料⁵⁾、Yasuda et al.⁶⁾、後藤ら⁷⁾においてその推定の試みを見る事が出来る。これらの研究は、総じて DSRC アンテナの設置位置や車両のトリップ長 (トリップ長が長いと主要道路を通りやすい) がサンプル長に影響を与えることを指摘している。一方これらの研究では、サンプル率を計算するために必要な全数 (断面交通量など) を道路交通センサ調査に頼っているため、道路交通センサ調査の対象とならない細街路におけるサンプル率を直接推

計することはできていない。この問題を解決するには、細街路における交通量を網羅的に取得する必要があるが、いまのところそれを可能にする方法は存在しない。

本稿では、細街路における交通状況を網羅的に把握できる、現状ではほぼ唯一の手段といえる航空写真を用いて、ETC2.0 データのサンプル率を細街路とそれ以外（幹線道路）に分けて推定した結果を報告する。航空写真を用いれば、その撮影時刻における高架下やトンネル内などを除いた、細街路を含む大半の道路区間における車両の存在位置を網羅的に知ることができる。ただし、航空写真では車両の速度を得ることはできないので、知ることができるのは交通量ではなく交通密度であることには注意したい。本稿でも交通量ではなく交通密度ベースでのサンプル率の推定を行っている。

本稿は4つの章からなる。第1章で研究の背景と目的を述べた。第2章で使用データとその事前処理の方法と結果を説明する。第3章でサンプル率の推定方法とその結果を示す。第4章で考察と今後の課題を述べる。

2. 使用データと事前処理

今回の分析では、データとして、国土地理院が撮影した航空写真と、ETC2.0 データによる車両軌跡データを用いる。まず、分析対象地域の航空写真に写っているすべての車両（道路上を走行していると判断できるものに限る）の位置座標を手作業で取得する。次に、ETC2.0 データから、特定の日時において分析対象地域で観測された各車両の測位点を抽出する。この「特定の日時」については、理想的には航空写真の撮影された日時であるが、正確にこれを反映することは難しいこと、場所によって撮影時刻が異なること、単一の日時においてETC2.0 データで把握できる車両数は実際の走行車両に比べてかなり少ないこと、を考慮して、航空写真の撮影された時間帯と同日のものだけでなく、近隣の同一曜日のものも用いる。2つの手法で収集された車両の測位点を用い、分析対象地域内での交通密度ベースでのサンプル率を推定する。

分析対象地域としては、愛知県名古屋市を中心とする図-1に示す領域を選定した。この領域では、2020年9月5日（土）に国土地理院による航空写真の撮影が行われている。時刻は不明だが、建築物の影の方向から、午前9時から正午ごろであると推測できる。ETC2.0 データのサンプル率は年を追うごとに上昇していることが期待されるため、できるだけ直近の航空写真を用いて分析を行うことが望ましい。一方で航空写真は同一箇所でも頻りに撮影されているわけではなく、特に、2020年以降で、COVID-19による交通量減少の影響が大きいと見込まれる同年4月から5月の時期には該当しな

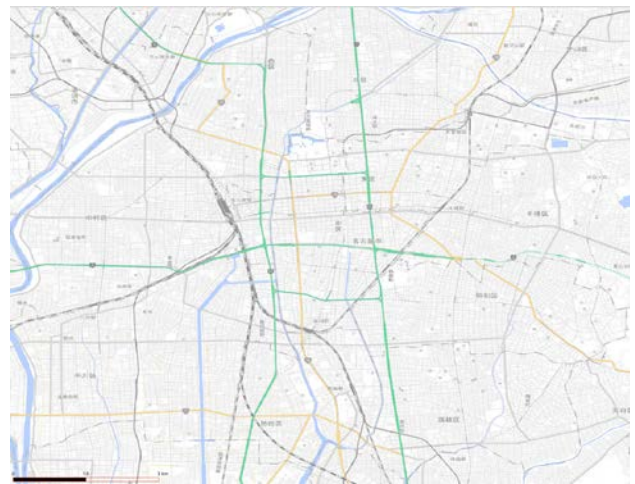


図-1 分析対象領域



図-2 航空写真により特定されたすべての車両位置

い時期に写真撮影が行われた都市部の地域は限られる。名古屋市はこれらの条件を満たし、三大都市圏のひとつであり、高密度な幹線道路と細街路からなる道路ネットワークを持つことから、今回対象地域として選定した。

航空写真については、国土地理院の提供する高精度のものを購入し用いた。航空写真は、画角の外側は斜めからの撮影となるため、中高層建築物が道路を隠すことが起きやすくなる。提供される航空写真は画角が重複するようになっており、できるだけ中心部を使うように切り出し、それらを分析対象内で結合して用いる。

航空写真上の車両の位置座標の取得は手作業（外部委託）で行った。車両の位置のほか、車両が他の地物に隠れて見えないと判断される場所（名古屋高速道路を含む）の特定も合わせて行っている。位置が特定された車両の総数は39,995台であった。図-2に、航空写真により特定されたすべての点を示す。

ETC2.0 データについては、航空写真がカバーする領域を通過した車両の車両軌跡を抽出したものをを用いた。



図-3 ETC2.0により特定されたすべての車両位置（すべての対象日と時刻の結果の重ね合わせ）

車両軌跡は、その車両の測位点と測位時間の集合で構成されている。指定日時における車両位置のスナップショットは、車両ごとに以下の手順によって取得した：

1. 指定時刻を挟む2つの測位点を抽出する。そのようなものがない車両については抽出対象とはしない。
2. 2つの測位点のいずれもが、指定時刻より3分以内に観測されている点かどうかを判定する。そうでなかった場合、その車両は抽出対象とはしない。
3. 2つの測位点のうち、より指定時刻に近いほうを測位点として抽出する。

航空写真をとった2020年9月5日の午前9時、10時、11時、12時ちょうど、翌週2020年9月12日の午前9時、10時、11時、12時ちょうど、6個のスナップショットを分析に用いる。これらのスナップショットで取得された測位点データの総数は17,798であった。この数は航空写真に写っていた車両の総数の44.5%に相当する。これは8個のスナップショットの合計である。よって、単純計算での交通密度ベースでの平均的なサンプル率は5.6%となる。ただし、先述のとおり、航空写真による台数は、地物の影になったものがカウントできていない（特に、名古屋高速道路の下を走行する一般道についてはかなりの車両がカウントできていない）ので、この把握率は実際のものより過大に評価されていることに注意したい。図-3に、ETC2.0により特定されたすべての点を示す。

航空写真で取得された車両位置と、ETC2.0データから算出された車両位置を用いて、車両密度を計算する。本稿では道路単位の交通密度を直接算出することを行っていない。それに代えて、分析対象地域を緯度経度とも1/1000度単位のメッシュに分割し、各メッシュ内に存在する車両台数をカウントすることにより、メッシュ単位で集計された交通密度を計算している。メッシュ



図-4 航空写真により観測された車両のメッシュごとの台数



図-5 ETC2.0により観測された車両のメッシュごとの台数

は、東経136.835度、北緯35.112度を左下にするものから、東経136.969度、北緯35.213度を左下にするものまでを作成した。各メッシュでの観測点数を地図上に2次元ヒストグラムとして表したものを、航空写真、ETC2.0とそれぞれについて、図-4と図-5に示す。これらを比べると、ETC2.0のほうが名古屋高速道路のある場所で航空写真に比べて相対的に多くの車両がカウントされていることがわかる。ETC2.0では高速道路に隠れて見えない一般道の車両もカウントできていることと、DSRCアンテナが多く設置されている高速道路を走行する車両のデータがより多く収集されることが原因とみられる。なお、高速道路があるメッシュは、航空写真で車両数を正確にカウントできないことを理由に、今回は分析対象外とするので、この特性は最終的な結果には反映されない。

メッシュには、車両カウント数に加えて、以下の2つの属性を与える：

1. 車両を隠し得る地物が存在するかどうか
2. 幹線道路を含むと見なせるかどうか

1.については、該当メッシュの一部でもそのような地物があると判定されていれば、そのメッシュにそのよ



図-6 車両を隠し得る地物が存在すると判定されたメッシュ

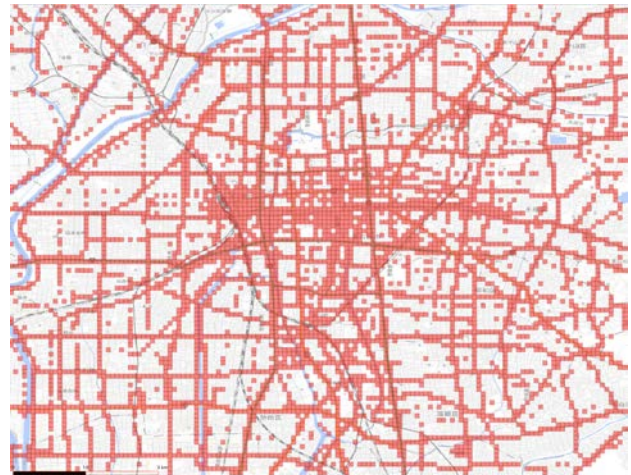


図-7 幹線道路を含むと見なされたメッシュ

うな地物が「存在する」という属性を与える。2. については、道路の種別では必ずしも適正な判断ができない（例えば管理者が基礎自治体であっても、実質的に幹線として使われるものから、細街路であるものまで幅広く存在する）ことを考慮し、今回は ETC2.0 による観測が多く存在するメッシュには幹線道路が含まれるという簡単な判定法を用いた。具体的には、2020 年 9 月 5 日および 2020 年 9 月 12 日のいずれかを運行日とする車両 ID の観測点の観測回数を各メッシュでカウントし、そのカウント数が 100 を超えたメッシュを、交通量の多い道路と見なした。なお、この判定方法は、厳密に交通量を計算しているものではないことに注意したい。交通量を出すのであれば、平均速度と密度を計算し $Q = KV$ の関係式を用いるのが適正ではあるが、今回は交通量そのものには多くの意味を持たせないで、この簡便法を用いている。これらの属性が空間的にどのように分布するかを図-6（車両が隠れているメッシュ）と図-7 に示す。図-7 では、概ね格子状の構造をしている名古屋市内の主要道路のある場所が、幹線道路を含むメッシュと判定されていることが確認できる。

3. サンプル率の推定

(1) 推定の方法

第 2 章で得られたデータを用いて、以下の手順により、幹線道路と細街路における交通密度ベースでのサンプル率の比較を行う：

1. 分析対象メッシュから「車両を隠しうる地物が存在する」とされたメッシュを除外する。
2. 残った分析対象メッシュを「幹線道路を含むもの」「含まないもの」に区分する。
3. それぞれについて、航空写真による車両カウント数と、ETC2.0 による車両カウント数を比較する。

3 で比較を行うときには、航空写真と ETC2.0 のデータは同一時刻のものではないことに注意しなくてはならない。特に ETC2.0 については、サンプル数を増やすために、航空写真が 1 回だけの観測であるのに対して、1 日 4 回あたり合計 8 回の観測結果をすべてあわせて用いている。このことは、単にそれぞれの方法でのカウント数をメッシュごとに比較することは適切ではないことを意味する。

上記の問題点を解決するために、今回の分析では「航空写真でのカウント数ごとに、ETC2.0 データでのカウント数を集計する」ことを行う。これは、航空写真で多くカウントされているところ（=1 回の観測でカウントされたところ）では、ETC2.0 でもカウントされる確率が高いだろう、という考え方である。この方法は統計学的にはあまり厳密とはいえない。本来であれば、各メッシュに車両が何台存在するかを何らかの確率モデルで定式化し、航空写真でのカウント数はその確率モデルを 1 回試行した際の観測結果とみなした分析を行うことが望ましい。しかし今回はメッシュ数も相当量があるので、上記の簡便な方法でも幹線道路と細街路間の差異を見積もるには十分であろう。

分析結果は、航空写真でのカウント数を横軸に、各カウント数に含まれるメッシュについて、ETC2.0 でのメッシュあたり平均カウント数を縦軸に示したグラフに表示することにより視覚的にまとめる。このグラフは、幹線道路と細街路の両方の区分のメッシュについて、それぞれ別個に作成する。それにより、それぞれの区分において、交通密度ベースでのサンプル率に差があるかどうかを視覚的に判定することができる。また、幹線道路と細街路のいずれでも一定量のカウントがされた部分については、サンプル率がどの程度異なるかを分析する。

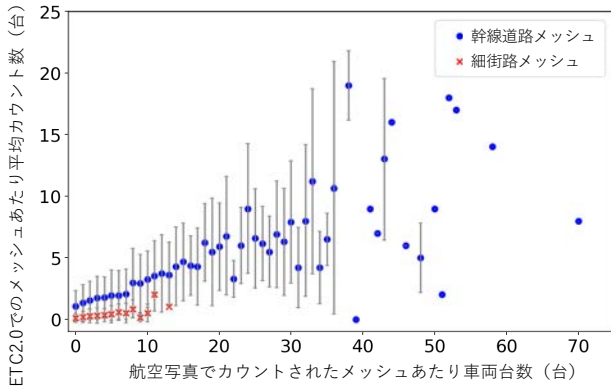


図-8 航空写真でのカウント数と ETC2.0 データでのカウント数の関係

表-1 ETC2.0 によるメッシュ種類ごとのサンプル率

種類	1	2	3	4	5
幹線道路	0.166	0.095	0.072	0.055	0.049
細街路	0.023	0.017	0.012	0.010	0.010

種類	6	7	8	9	10
幹線道路	0.041	0.036	0.046	0.041	0.041
細街路	0.012	0.009	0.013	0.002	0.006

(2) 推定結果

図-8 に、航空写真でのカウント数と ETC2.0 データでのカウント数の関係を示す。図中の誤差棒は、各カウント数に含まれる全メッシュの ETC2.0 での観測数の標準偏差を示す。図から、ETC2.0 により観測される交通密度は、細街路のあるメッシュのほうが、幹線道路があるメッシュに比べて相当量低いことが確認できる。航空写真でのカウントが 1 から 10 までについて航空写真でのカウントを基準に計算したサンプル率をまとめたものが表-1 である。このサンプル率の計算のときには、ETC2.0 でのカウントが 8 回分であることを考慮して、ETC2.0 での平均カウント数を 8 で割っている。この結果を見ると、幹線道路では概ね 5%前後のサンプル率が実現している一方で、細街路では概ね 1%程度のサンプル率であることがわかる。

4. まとめと今後の課題

本節の分析により、細街路での ETC2.0 による交通密度ベースでのサンプル率は、細街路に比べて数倍程度、概ね 5 倍程度の差があることがわかった。このことは、ETC2.0 では、細街路の車両の把握が幹線道路に比べて相当低いことを意味している。ただそれでも 1%程度の把握はできているので、適切な方法により（例えば対象期間を長期間とすることなど）、分析に耐えるだけのサ

ンプル数を取得することは可能であると考えられよう。

幹線道路に対する細街路でのサンプル率の低さを解決するには車両軌跡データの収集方法を改善することが有用であろう。現行のシステムでは通信手段が DSRC アンテナに限られている。その設置に相当のコストがかかることを考えれば、アンテナを多数立てることは現実的とはいえない。問題の解決には DSRC アンテナ以外の通信路（例えばモバイルネットワークや無線 LAN を経由した経路など）を確保することが必要であろう。このような経路の確保のためには、そのコストに見合う便益を、車両軌跡データの活用を通じて、道路管理者と利用者の双方に提供することも重要であるといえる。

本稿での推計手法はごく簡便であり、より精緻な結果を得るためには改善が望まれる。幹線道路の判定は ETC2.0 データの観測数ではなく別の手段を用いることが望ましい。車両位置を道路にマッチングした道路区間単位の分析も望まれる。今回は航空写真の車両の位置を手作業で取得しているが、これはかなりの手間を要する。自動的な取得ができれば、他の都市でのサンプル率の推定も容易に可能となるだろう。ただし走行中の車両と駐車中の車両を自動的に精度よく区別することは簡単ではなく、これは今後の課題であると考えられる。

謝辞 本研究は、国土交通省による道路政策の質の向上に資する技術研究開発「ETC2.0 データの活用と評価を通じた次世代 ETC の基本設計提案」の一部として実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 坪田隆宏, 吉井稔雄, 倉内慎也, 山本篤志: ETC2.0 データを活用した生活道路の交通事故リスク要因分析, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol.74, No.5, pp.L1029-L1035, 2018.
- 福井智侑, 塩見康博: 道路ネットワーク構造に着目した交通事故リスク要因のマクロ分析, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol.75, No.6, pp.L705-L716, 2020.
- 関根康史, 山本俊雄, 林祐志, 大坪裕哉: 幹線道路の渋滞と周辺地域の交通環境の関係についての分析 (ETC2.0 および事故分析とアンケートによる生活道路の安全性評価), *日本機械学会論文集*, Vol.87, No.898, pp.20-00392, 2021.
- 関根康史, 山本俊雄, 林祐志, 大坪裕哉: 幹線道路に並行する生活道路の交通量変化と安全性 (ETC2.0 データによる経路分析と GIS 情報を用いた事故多発地点の分析), *日本機械学会論文集*, Vol.88, No.912, pp.21-00350, 2022.
- 小山裕大, 井料隆雅: 道路交通センサデータとの比較による全国プローブカーデータの特性検証, *第 55 回土木計画学研究発表会*, 2017.
- Yasuda, S., Iryo, T., Koyama, Y., and Sakai, K.: Characteristics of ETC2.0 probe data compared to road traffic census data, *ISTS and IWTDCS 2018*, 2017.
- 後藤梓, 小木曾俊夫, 牧佑奈, 池田裕二: ETC2.0 プローブデータの量的代表性に関する分析, *第 16 回 ITS シンポジウム 2018*, 2018.

(Received 2023. 3. 6)

ESTIMATING SAMPLE RATE OF ETC2.0 DATA ON MINOR STREETS
USING AERIAL PHOTOGRAPHS

Takamasa IRYO