UAV を用いたラウンドアバウトにおける車両挙動の観測

日本大学理工学部　〇吉岡慶祐・下川澄雄・森田綽之
名古屋大学大学院環境学研究科　中村英樹
（株）国際航業　阿部義典

1. はじめに

ラウンドアバウトは平面交差部の制御方式の一つとして，平成 26 年 9 月の改正道路交通法の施行を契機に全国各地での普及が進んでいる．ラウンドアバウトでは信号機による交通制御は行わないため，安全性や円滑性の確保には，適切な車両挙動が実現されるような幾何構造であることが重要である．しかし我が国では，幾何構造設計に関する知見は不十分であり，これらに関わる調査・分析が各地で実施されているところである．これらの調査では，実在の交差点において，外部観測から不特定多数の車両挙動に関するデータの取得を行っているが，調査の段階で多くの労力や費用を要することも少なくない．

そこで本研究では，近年多方面での活用が進んでいる UAV を用いた車両挙動の観測を試みることとした．そのうち本稿では，調査方法やデータの取得結果について報告するとともに，データの処理方法の検討やそこで発生した課題について整理することを目的とする．

なお，本研究で述べる車両挙動とは，車両の軌跡（xy の 2 次元の位置情報や進行方向）や速度・加速度等の時々刻々の連続データを指すものとする．

2. 車両挙動調査の実態と UAV 活用の可能性

ラウンドアバウトに限らず，交通工学の観点から交差点等における車両挙動を観測する際は，定点に設置したビデオ映像等を用いる事例[例えば[1][2]など]が多い．その際，車両挙動を正確かつ効率的に観測するためには上空からの撮影が望ましく，近隣の建物上階からの撮影や，照明柱や標識柱などの道路施設にカメラを設置することが一般的である．しかしこれらの方法では，多数のカメラの設置が必要となるほか，箇所によっては画角範囲に制約が発生するケースや，ビデオの設置自体が困難なケースも少なくない．例えば図-1 に示す調査箇所では，周辺にカメラを設置できるような施設がなく，交差点内や各流入部での交差点前後の車両挙動を観測するために，合計 10 地点にカメラを設置した．このようなケースにおいて，任意の上空点から撮影ができれば，データの収集・分析の大幅な効率化が期待できる．また過去には，ヘリコプターやバルーンを上げることで上空から撮影調査が行われた例もあるが，調査に関わる費用や労力が大きく近年使用されることは少ない．

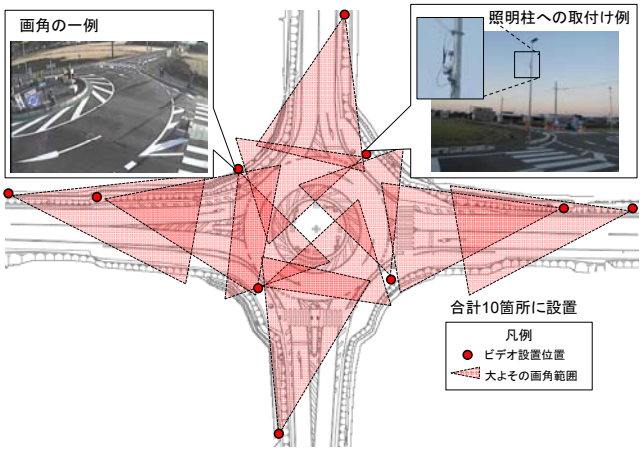

図-1　過去の調査におけるビデオ設置状況

交通工学分野における UAV の活用に関する先行事例として，柿元ら[3]は UAV の基本性能や操作性について整理した上で，実際に UAV を用いた交通状況調査を実施している．また，これらの結果から，UAV 活用による利点や課題等について述べている．例えば，ある一定範囲の交通状況調査において，従来の調査では把握しにくかった抜け道利用の実態が容易に観測できるといったメリットを挙げている．一方，交通量や渋滞長のように長時間連続して観測する必要があるものに対しては，UAV のバッテリー容量が課題となることも指摘している．それ以外にも，UAV による調査は，気象条件にも影響を受けやすいといった課題点も挙げられる．

これに対して，本研究で目的としているような，個々の車両の走行位置や速度変化といった車両挙動に関する調査では，必ずしも全時間帯・全車両の観測は必要としておらず，UAV の活用によるメリットは大きいものと考えられる．

3. 車両挙動調査の概要

（1）調査対象箇所

本研究の対象箇所は，静岡県焼津市関方の山の手ラウンドアバウトとした．当該交差点は正十字の標準的な幾何構造を有するラウンドアバウトであり，環状交差点の指定を受けている．調査日時や調査対象等は表-1 に示すとおりである．

（2）UAV による撮影方法

使用した UAV 機器は，図-2 に示す ZYON QC730 である．ラウンドアバウトの流入部手前 50m の範囲までが観測できるよう，南西側の田地上空の高度 60m 程度の位置から撮影した．図-3 は，撮影した際の画角の例である．また，撮影時の安全を期すため，車道上空では飛行させないとともに，調査飛行中も UAV に取り付けたロープを地上に下ろしておくことで，万一操作不能に陥っても，地上から回収できるようにした．

4. データの取得と補正方法

（1）軌跡データの取得方法

UAV で撮影した動画を基に，0.1 秒ごとの車両位置（車両前面ナンバープレート位置）を手動クリックにより記録し，ビデオ画面上での位置を平面座標系へ変換することにより軌跡データ（xy 座標）を得る．平面座標系への変換は射影変換によるものとし，道路上の特徴的な複数の箇所（路面標示や構造物の設置位置等）を基準点として設定し，これに既知である実際の xy 座標系の対応点を与えて，最小二乗法により変換パラメータを得た．また，得られた軌跡データから進行方向や速度・加速度等を算出し，車両挙動データとして整理した．これら一連の作業は，交通流解析ソフト「Traffic Analyzer」[4]を用いて実施した．（図-4 参照）

表-1 調査対象箇所概要

調査日時	2015 年 11 月 11 日（水） 12 時～16 時の間で約 20 分間の飛行を 9 回実施
調査対象	直進した乗用車のうち、他の車両等から影響を受けなかったもの（自由走行車両）
主な幾何構造条件	外径：27m、環道幅員：5.0m、エプロン：1.5m 中央島 12.0m、分離島：あり エプロン：段差構造（2cm→5cm テーパー付）
制御方式	環状交差点指定

図-2 調査に用いた UAV

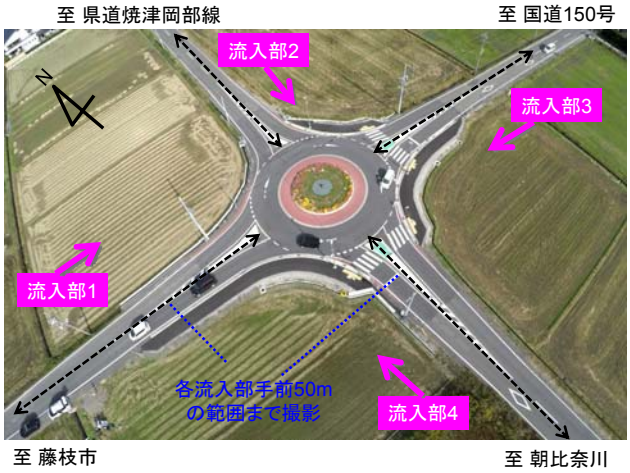

図-3 撮影時の画角の例

図-4 軌跡データ取得作業の例

(2) データ補正の手順と方法

(1) で述べたように，射影変換を行うための基準点を画面上で指定することで座標変換を行うが，UAV からの映像は飛行中必ずしも一定の画角ではないため，射影変換を行う際に実際の座標とのズレが生じる．画角のズレが発生する度に基準点を設定し直せば対処は可能だが，ほとんど常に画角が動いているような状況において，この方法では作業上の負担が大きい．そこで，実座標が既知である定点の画面上の位置についても同様に毎時刻記録し，これを補正用データとすることでズレの補正処理を行うこととした．具体的には，実座標が既知である特徴的な 2 点を指定し，これら 2 点の各時刻の位置も記録する．これと実座標との差分を基に，求めたい車両位置において各時刻に発生しているズレ分を推定することで，画角の移動によるズレの補正を行った．

また，その他にもビデオの読み取り誤差や座標変換で発生する誤差も考えられるため，カルマンフィルターによる平滑化処理も行うとともに，異常データの除去を行ったうえで車両挙動データとした．以上の補正手順をまとめたものが図-5 である．

図-6 は補正前と補正後の軌跡データを比較したものである．補正前は，画角のズレの影響により軌跡が大きくばらついていたものが，補正後にはばらつきが減少している．

(3) データ補正の妥当性の検証

図-6 で示した手順により得た挙動データについて妥当性を検証した．

図-7 は，UAV からの画角のズレに対する補正方法の妥当性を検証するため，画角のズレが発生するごとに基準点の設定をやり直すことで，より正確な軌跡データの取得を試みたものと，(2) で示した簡易な補正により得た軌跡を比較したものである．その結果，得られた軌跡に大きな差はなく，画角のズレに対しての補正処理としては有効であったと考えられる．

また，図-8 は代表的な 1 台のサンプルについて，軌跡データから算出した速度と，スマートフォンの GPS 機能により別途記録した速度データを比較したものである．速度の値や変化の状況までほぼ一致していることから，妥当な挙動データが取得できたものと考えられる．

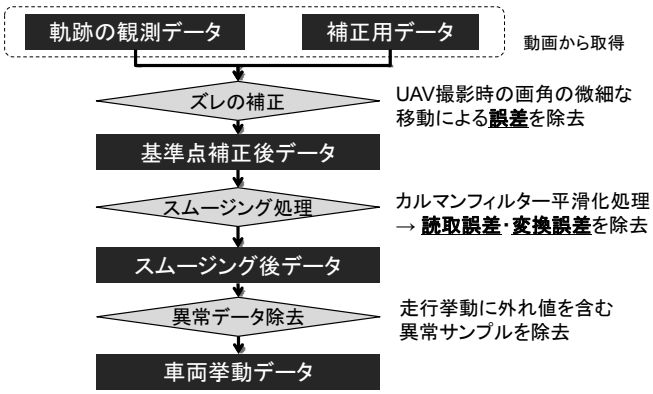

図-5 補正手順のフロー

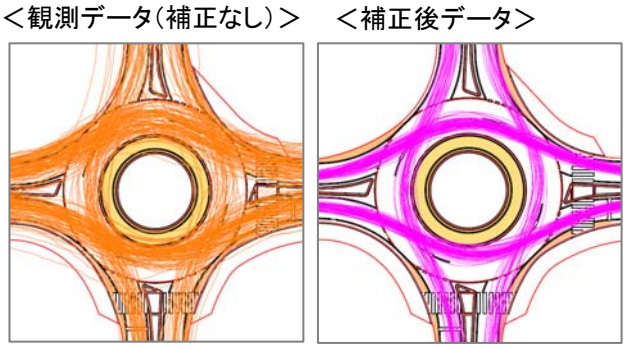

図-6 補正前後の軌跡データの比較(全サンプル)

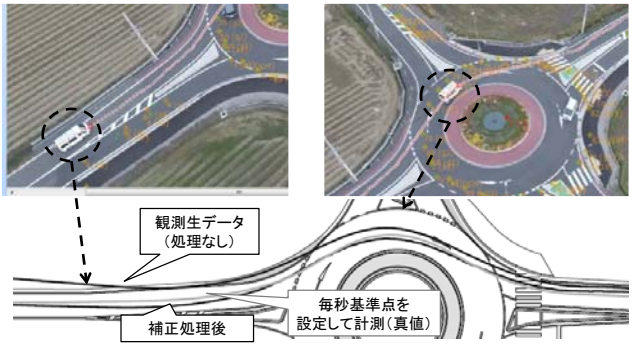

図-7 補正前後の軌跡データの比較

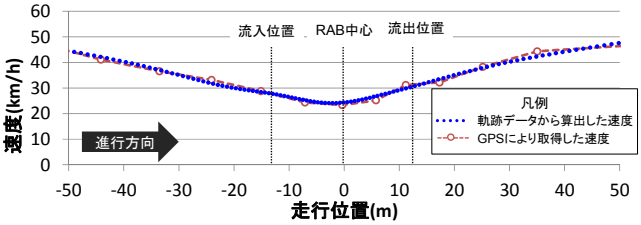

図-8 速度の検証結果

しかし，軌跡データに関しては，真値との比較検証を行ったわけではなく，そもそも上空の映像から軌跡データを取得したときの精度の検証はできていない．仮に UAV からの撮影時の画角のズレの影響が無いとしても，例えばビデオ画像の歪みや高低差によって取得される軌跡の精度は異なると考えられるため，今後精度の検証が必要である．

5. 挙動データを用いた分析例

得られた挙動データを用いて，ラウンドアバウトにおける車両挙動特性について分析した結果の一例を示す．

図-9 はラウンドアバウトを直進で通過する乗用車の速度変化について，他の車両や歩行者等によって挙動に影響を受けたと判断されたサンプルを省いて図面上に示したものである．各流入部とも速度は同程度であり，速度変化の全体的な傾向も同様となっている．このように流出入部も含めたラウンドアバウト全体の軌跡データを得ることで，走行位置と速度の関係が視覚的にも捉えやすくなり，走行上危険な箇所の特定や安全性の評価に有益な分析が可能になると考えられる．ここで，車両ごとにラウンドアバウトを通過する際に最も速度が低下した地点に着目し，図面上に図示したものが図-10 である．これを見ると，速度が最も低下する地点は，環道に入る直前と環道内のほぼ中心位置に大きく二分されていることが分かる．例えば，環道内で減速する車両が多く見られるような構造の場合，流入部手前で減速している場合と比較して，十分に減速しないまま流入判断や環道内での急なハンドル操作を強いられる可能性が高いことも想定される．このような分析結果は，安全な幾何構造設計に関する一つの知見として参考にできるものである．

6. おわりに

本研究では，ラウンドアバウトにおける車両挙動特性の把握において，UAV を用いたビデオ観測を試みた．その結果，撮影中の画角が一定ではないことから取得する走行軌跡にズレが発生するものの，簡易的な補正処理を行うだけで，交差点内の車両挙動特性を把握できるデータの取得が可能であることが明らかとなった．

しかし，本研究で行った軌跡データの補正に対して，真の車両位置との比較検証を行ったわけではなくどの程度の精度までの議論が可能かは明らかでない．そのため，今後詳細な精度の検証を行う予定である．また，本研究で示したデータの取得手順では，依然として多大な作業を要する．今後 UAV を用いた車両挙動の観測を行っていくためには，精度の検証

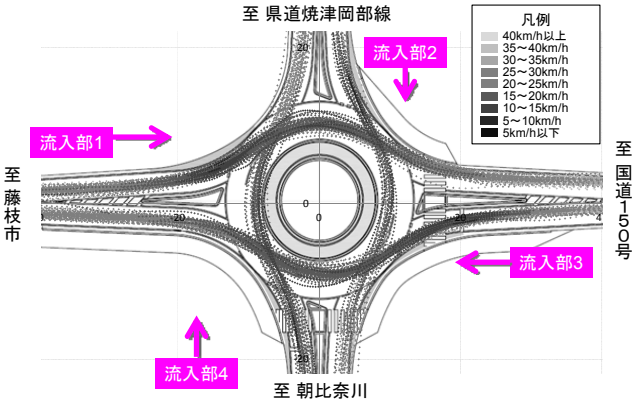

図-9 速度分布図（直進車両）

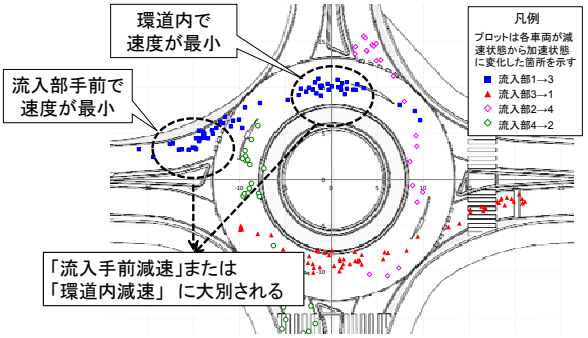

図-10 速度最小ポイントの分布図（直進車両）

とともに，正確かつ効率的にデータを取得できるような枠組みの検討が必要である．

謝辞

本研究を進めるにあたり，調査の実施・データ整理において（株）国際航業の村木氏・大島氏・高木氏に多大な協力を賜りました．ここに感謝の意を示します．

参考文献

[1] 加納政宏・阿部義典・松林豊，2011．全方位カメラを利用したラウンドアバウト車両挙動解析，第 43 回土木計画学研究・講演集，CD-ROM

[2] （公財）国際交通安全学会，2015．ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究（Ⅲ）報告書

[3] 柿元祐史・松戸努・長谷川涼佑・久川真史・蛭田健次・金野寿光，2015．交通工学分野における UAV の活用可能性，第 35 回交通工学研究発表会論文集，pp.279-284.

[4] 鈴木一史・中村英樹，2006．交通流解析のためのビデオ画像処理システム Traffic Analyzer の開発と性能検証，土木学会論文集 D，Vol.62，No.3，pp.276-287.