RTK測位を用いた自動車の 走行挙動取得に関する基礎的検討

千葉 史隆¹・佐田 達典²・石坂 哲宏³

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: cshu11012@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@cst.nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学助教 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

衛星測位では、準天頂衛星をはじめとした新規の衛星の運用開始に伴い、複数の衛星測位システムの併用が可能となることで利用性の向上が見込まれる。そのため、自動車の自動運転をはじめとする高度なITSアプリケーションに衛星測位の利用が期待される。本研究では、自動車の運転操作特性をRTK測位で取得した走行挙動から評価することを目的に、RTK測位で走行挙動を取得し、運転操作特性の評価への有用性を検討した。検討の結果、RTK測位を用いることで車線内の走行位置や交差点内の走行位置と走行速度の関係性が明らかとなり、直進路では複数回走行することで走行位置から個人毎の差異を検出できることを確認した。また、交差点においても走行位置と速度から個人毎の差異を検出できることを確認した。

Key Words : RTK-GPS, Vehicle trajectory, Driving characteristics

1. はじめに

GPSをはじめとする衛星測位システムの動向として、準天頂衛星(QZS)や欧州のGalileoといった新しい衛星の運用開始に伴う衛星数の増加や、QZSから新たに放送される補正信号(LEX信号)を用いた測位が想定されている。そのため、現状よりも高精度測位が容易になることにより、自動車の位置情報は現在利用されている経路案内以外の新たな用途に利用されることが考えられる。そこで、筆者らは走行車両の高精度位置情報を用いて運転操作特性を客観的に評価する利用法に着目した。

高精度測位で計測した位置情報を用いることにより、細かな挙動を連続的に検出することで車線内の走行位置などを把握できる可能性がある。この挙動を解析し、運転操作特性を客観的に評価することで、今までドライバー自身が認識することのできなかつた運転操作の癖や事故につながる恐れのある運転操作の認知、改善により、事故防止につながると考えられる。

本研究では、運転操作特性の検出と評価を目的に、移動体の高精度測位が行えるRTK測位の位置情報から走行挙動を取得し、運転操作特性評価への有用性と、特性評価に有意な走行挙動について検討した。

2. 研究手法

(1) 走行挙動の計測方法

走行している自動車を計測し、位置情報や速度情報などから挙動を解析している既往研究では、GPSや撮影した動画から位置を特定しているものがある¹⁾²⁾。しかしながら、いずれの研究においても測位精度がメートル・オーダーと低く、また、映像からの特定では撮影地点の瞬間的な挙動の解析に留まっている。そのため、センチメートル・オーダーで連続的に車両挙動を検出し評価している既往研究の確認には至らなかった。そこで、本研究ではセンチメートル・オーダーの測位精度を有し、かつ、連続的な計測が可能な計測方法として、RTK-GPS(Real-time Kinematic GPS)測位に着目した。

RTK測位はリアルタイムで移動体の計測が可能な測位方式であり、周囲に建物や樹木など衛星電波を遮蔽する障害物のない地点では5mm~20mmの精度で位置の計測が可能である。走行車両計測へのRTK測位の適用性については先行研究で検証済みであり、測位環境が良好な地点では10mm以下の誤差で位置の特定が可能であることを確認している³⁾。

(2) 研究の流れ

本稿では、走行挙動から運転操作特性を検出し評価する一連の流れの内、走行挙動として車線内の走行位置や走行速度をRTK測位で取得し、運転操作特性評価への有用性を検討した内容について報告する。

走行挙動の取得では、実際の運転操作における挙動の取得を目的に、直進路と交差点を模したコースにおいて走行試験を実施した。なお、挙動の解析には走行位置と走行速度を用いた。

特性評価への有用性の検討は、個人差の検出可否を統計的に検定することで評価した。一般的に、個人差は異なる被験者属性や多くの被験者の間で表れやすい。しかしながら、個人差が表れにくい同じ属性の少ない被験者の間で個人差が認められることは、特性評価における本手法の有用性を判断できるのではないかと考えられる。そこで、個人差が表れにくい条件下において検出を試みた。

3. 直進路における走行挙動の取得と評価項目の検討

(1) 走行試験の計測概要と計測条件

走行挙動の取得には、RTK 測位用受信機を設置した車両で直進路を複数回走行し、計測した位置情報から挙動を解析した。

走行試験は延長 300m、幅員 3m の直進路を実験車両で 20 往復、計 40 回走行した。実験車両には RTK 測位用受信機としてトプコン社製 LEGACY-E+を設置し、アンテナは車体中央のルーフよりも高い位置に設置している。実験状況とアンテナの設置位置を図-1 に示す。RTK 測位の機器構成は、路線の近傍にある既知点上に基準局の受信機を設置し、データの出力間隔を 20Hz とした。

走行場所は、前述の RTK 測位精度を検証した先行研究³⁾と同一の日本大学理工学部交通総合試験路である。なお、解析には Fix 解（バイアス値が整数で求められた高精度測位）のみを使用し、実験場所は平均可視衛星数が 7.6 衛星、水平方向の精度低下率を示す HDOP の値が 0.99 を示す環境下であった。

挙動は同じ属性の 3 名から取得した。属性は運転頻度で分類し、それぞれ週に数回程度運転する大学生である。被験者に対しては、制限速度 40km/h の一般道を走行しているものとして走行するよう指示をした。また、被験者が走行位置を任意で決定できるようにするため、路線の両端に曲がり角を設置した。そのため、解析は走行位置が決定したと想定されるコースの前後 50m 区間を除いた中間の 200m を使用している。

(2) 解析方法

走行位置の算出には、車線と走行位置の相対的な位置関係を把握するため、あらかじめ測量し座標値が得られている車線中心から RTK 測定値までの平面距離を算出した。算出方法は、コースの延長方向を Y 軸（東西方向）と平行になるように回転し、コース右端の車線中心地点の座標が(0,0)となるように差分を加算した。最後に、車線中心からの距離を 1mm ピッチで算出した。

(3) 解析結果

RTK 測位で計測した高精度な位置情報より、直進路における車線内の車両走行位置に関して以下のことが明らかとなった。

直進路における走行位置は、全走行回分の幅員方向の走行位置分布を箱髷図で示した図-2 より、平均約 65cm の範囲で分布した。なお、箱髷図は図の左から最小値、25%値、中央値、75%値、最大値を表している。被験者 A と B は車線の左側、被験者 C は車線中心部を中心に分布していることが中央値より確認される。走行位置分布の中央値が 3 名の被験者で異なったことから、走行位置の違いを示す指標となる可能性がある。このような結果が得られた要因として、車線に対して斜めに進行していることや、蛇行して走行していること、走行位置の決定が走行回ごとに異なる点が要因として考えられる。

走行位置の分布を左側線からの距離別の度数分布図で表すと、正規分布に近い形状を示した（図-3）。分布の形状は、度数分布図の統計量を示した表-1 より、左右の裾の広がり具合を示す指標の歪度と、分布形の山のとがり具合を示す指標の尖度が、3 被験者ともそれぞれ正規分布を示す 0 に近い値が得られている。このことから、個人の車線内の走行位置は、複数回走行することで正規分布に近い分布形状を示すことが確認された。

次に、走行回別に走行位置の分布を比較すると、走行

図-1 実験状況とアンテナ設置位置

図-2 直進走行時の走行位置分布

図-3 走行位置の度数分布 (被験者 A)

表-1 度数分布図の統計量

被験者	A	B	C
サンプル数	14012	15344	14602
平均値	1.377m	1.359m	1.513m
中央値	1.379m	1.360m	1.508m
最頻値	1.395m	1.336m	1.483m
標準偏差	0.100m	0.085m	0.093m
歪度	-0.128	-0.05	0.433
尖度	0.315	0.199	0.765

回別の走行位置分布を示した図-4 より, 走行回毎に中央値と分布幅が変化しているのが確認される. 同様の傾向は他2名の被験者からも確認された.

中央値が走行回毎に異なっていることより, 毎回異なる位置を走行していたと推察される. また, 走行回別の走行位置の分布幅も同様に変化し, 15 回目の走行では約 15cm であったのに対し, 値の大きいものでは約 53cm (27 回目) のものまで確認された. そのため, 同一人物の運転においても走行回毎に異なる運転操作を行っていることが確認された.

以上より, RTK 測位で取得した走行挙動より, 以下のことが確認された.

- ①走行位置は平均 65cm の範囲で分布し, 車線の左側を走る傾向がみられる.
- ②走行位置の分布形状は正規分布に近い形状を示す.
- ③走行回毎に走行位置と, 走行位置の分布幅が異なる.
- ④中央値が走行位置の違いを示す指標として用いられる可能性がある.

(4) 評価項目としての有意性の検討

運転操作特性を評価する走行挙動として, 走行位置の有意性を検討した. 検定項目は, 個人差の有無は3被験者の走行位置から検定し, 同一人物における走行位置の差の有無は走行回別の走行位置から検定した.

検定には3つ以上の母集団の平均の差を検定することが可能な分散分析を用いた. 分析では, “被験者, 走行回毎に関わらず走行位置の平均は等しい”という帰無仮説を棄却することで個人差と走行回による有意差の有無を検定した.

個人差の有無の確認として, 各被験者の走行位置につ

図-4 走行回別走行位置分布 (被験者 A)

いて分析を行った. その結果, F 値の値が F 値境界値の値よりも大きく, P 値が設定した棄却域の確率(5%)よりも小さい値を示す分析結果が得られた (表-2). 分析結果より, 帰無仮説を棄却する結果が得られたことから, 各人の平均走行位置に有意差が確認された. そのため, 走行位置は個人差の検出が可能な走行挙動であることを確認した.

同様に, 走行回別の検定においても帰無仮説を棄却する結果が3名の被験者から得られ, 各走行回の平均走行位置に有意差が確認された (表-3). そのため, 同一人物の運転においても, 走行回ごとに異なる走行位置を決定して走行していたことが確認された.

4. 交差点右左折時における走行挙動の取得と評価項目の検討

(1) 走行試験の計測概要と計測条件

交差点における走行挙動を取得するため, RTK測位用受信機を設置した車両で交差点を模した右折と左折コースを走行した (図-5).

直進走行と同様, 被験者に対して一般道で走行しているものと仮定し, 普段通りの運転をするよう指示をした. 走行回数は20回で3名の被験者から行った. なお, 本検証では直進時の被験者Bに代わり, 被験者Dが新たに加わった. 被験者Dは大学生であり, 運転頻度は週に1回である. 機器構成等については直進時と同様である.

(2) 解析方法

コース内における走行位置の算出には, 事前に測量し

表-2 個人別分散分析結果

変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
個人間	208.286	2	104.143	12166.494	0.000	2.996
個人内	376.256	43956	0.009			
合計	584.542	43958				

表-3 走行回別分散分析結果

	変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
被験者A	データ間	74.403	39	1.908	406.928	0.000	1.400
	データ内	65.509	13973	0.005			
	合計	139.912	14012				
被験者B	データ間	39.841	39	1.022	221.402	0.000	1.400
	データ内	70.415	15261	0.005			
	合計	110.256	15300				
被験者C	データ間	53.869	39	1.381	281.454	0.000	1.400
	データ内	71.464	14562	0.005			
	合計	125.332	14601				

た左側線に1mm間隔ごとに座標を与え、各座標値とRTK測定値間の最小距離を左側線からの乖離とし、車線内の相対的な位置を算出した。走行速度は連続している2地点間の水平距離を測定間隔（0.05秒）で除算することで算出した。

(3) 解析結果

RTK測位の利用により、連続的に計測した走行位置と走行速度から、交差点における走行挙動として以下のことが明らかとなった。

a) 走行位置

被験者毎の走行位置の違いを確認するため、各被験者の平均的な走行軌跡を示した（図-6）。走行軌跡より右左折とも各個人の曲率半径が異なり、カーブの膨らみの度合いが3名の被験者で異なっていた。方向別に各被験者の傾向をみると、右折では被験者Aは被験者CとDに比べ曲率半径が大きいことから大回りで走行している。一方、左折では被験者Cの曲率半径が最も大きく、大回りで走行していることが確認される。このことから、同一人物の走行においても曲がる方向により曲率半径が異なり、右左折進行中の膨らみの度合いが異なることが確認された。

次に、被験者毎の走行位置のばらつきを確認するため、走行位置の分布を示した箱髭図（図-7）より検討した。図-7は、右左折それぞれ左側線との相対的な距離から比較しており、左折では左側線から離れるほど大回りで走行していることを示し、右折では左側線に近づくほど大回りで走行していることを示す。走行位置のばらつきは、右折時は各被験者ともばらつきが大きく被験者毎の差が小さいのに対し、左折時は被験者毎のばらつきが顕著に示された。同様の傾向は、表-4の走行位置の標準偏差からも確認される。右折のばらつきが大きい要因として、左側通行であるため、左折と比べ曲線部の走行距離が長い点。また、側線や道路境界が近接している左折と異なり、回転の目安となる地物が遠いことから、走行位置が定まりにくいためばらつきが大きくなったと考

図-5 実験状況とコース

図-6 走行軌跡（左：左折、右：右折）

えられる。

b) 走行速度

右左折時の平均速度と進行時間の関係を示すV-Tグラフを図-8に示す。走行速度からは、速度をはじめ、加速度や加速に要する時間から個人による違いが確認された。速度の傾向を方向別にみると、右折は加速に要する時間が長く、加速後は一定の速度で進行していることが確認される。個人による違いとして、発進時の加速度と、加速後の走行速度に差が見られ、走行速度は2~3km/h程度の差が示された。左折では、加速に要する時間に差が見られ、約2秒程度の差が示された。走行速度は加速後の速度変化に差が見られ、加速後を境に減速に転じる挙動や、加速後も一定の速度で走行する挙動が確認された。

以上のことから、走行速度や加速度、加速に要する時間に差が示されたことにより、速度から運転操作特性を評価できる可能性がある。

c) 走行速度と走行位置の関係

走行速度と走行位置の関係性を検討するため、走行速度と走行位置の関係を図-9に示した。左折では、走行速

図-7 走行位置分布 (左:左折, 右:右折)

表-4 走行位置の解析結果

被験者	左折			右折		
	A	C	D	A	C	D
サンプル数	1625	1358	1842	2416	1894	2560
平均値 (m)	1.791	2.035	1.282	2.363	2.818	2.700
最大値 (m)	2.174	3.807	3.286	4.005	4.392	4.153
最小値 (m)	0.620	0.989	0.911	1.271	1.747	1.661
中央値 (m)	1.221	1.936	1.651	2.157	2.641	2.553
標準偏差 (m)	0.339	0.639	0.553	0.584	0.616	0.626

図-8 V-T グラフ (左:左折, 右:右折)

図-9 走行位置と速度の関係 (左:左折, 右:右折)

度と走行位置との間に相関関係が認められ, 相関係数は0.72であった. このため, 速度が速いほど大きく膨らんで走行していることが確認された. 一方, 右折の相関係数は0.36であり, 走行速度と走行位置の関係性は示されなかった.

d) 右左折中の速度変化

交差点を走行中の走行速度変化を確認するため, 左折時の回転角を示す方向角と速度の関係を図-10に示す.

各被験者とも, 加速は直進から左折に移行する前に終えていることが確認される. しかしながら, 曲がり始めた後の速度変化に違いが見られた. 被験者Aの左折中の速度は, 減速することなく加速した速度のまま一定で走行しているのに対し, 被験者Dは左折開始地点を境に減速していることが確認される. 同様の結果は右折時でも確認されている.

以上の結果から, 交差点を進行している際の走行速度に個人による違いが見られ, 右左折中の速度変化から運転操作特性を評価できる可能性が示された.

(4) 評価項目としての有意性の検討

運転操作特性を評価する挙動として, 交差点における走行位置と走行速度の有意性を検討した. 有意性の検定には直進時と同様, 分散分析を用いた.

分析では, 棄却域の確率を5%とし, 帰無仮説は“被験者に関わらず平均的な走行位置と平均速度は等しい”としている. 分析結果を示した表-5, 表-6より, 走行位置と速度ともF値の値がF値境界値の値よりも小さく, P値の値が設定した棄却域の確率(5%)を下回った. ゆえに, 帰無仮説を棄却する結果が得られたため, 平均的な走行位置と走行速度は個人により有意な差があることを確認した. 特に運転習慣も同じ大学生の被験者に個人による差が認められたことは, この被験者の属性より幅広い実際の交通環境下では, 走行位置と走行速度に関して個人の違いを十分に考慮する必要があるといえる.

(5) 交差点における走行挙動と評価項目のまとめ

RTK測位により取得した交差点の走行挙動より, 以下のことが明らかとなった.

図-10 左折時の方向角と速度の関係
(上:被験者A, 下:被験者D)

表-5 走行位置の分散分析結果

	変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
右折	個人間	249.348	2	124.674	336.862	0.000	2.997
	個人内	2541.506	6867	0.370			
	合計	2790.855	6869				
左折	変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
	個人間	1825.480	2	912.740	4366.359	0.000	2.996
	個人内	18825.442	90057	0.209			
	合計	20650.922	90059				

表-6 走行速度の分散分析結果

	変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
右折	個人間	4633.883	2	2316.942	536.991	0.000	2.997
	個人内	47388.085	10983	4.315			
	合計	52021.968	10985				
左折	変動要因	変動	自由度	分散	F値	P-値	F境界値
	個人間	4302.931	2	2151.465	595.036	0.000	2.997
	個人内	34179.105	9453	3.616			
	合計	38482.036	9455				

- ①各個人の走行位置が異なるため、右左折の膨らみの度合いに違いが示された。
- ②走行速度では、速度の他に加速に要する時間や曲線部の走行速度変化に個人による違いが見られた。

- ③走行位置と走行速度の個人による違いには有意差があり、RTK測位で取得した走行挙動より運転操作特性の評価が行えることを確認した。

5. まとめ

本研究では、RTK測位を用いた自動車の運転操作特性の評価を目的に、車線内の走行位置や走行速度など個人差が出ると想定される走行挙動をRTK測位で取得し、運転操作特性評価への有用性を検討した。検討の結果、高精度かつ連続的に車両の位置を計測することができたため、今まで把握することのできなかった車線内の走行位置や交差点における走行位置と速度の関係性が明らかとなった。また、今回得られた走行挙動において、走行位置は個人により有意差があることを確認した。したがって、RTK測位で計測した走行挙動から個人特性の評価ができることを示した。

今後の検討として、多くのサンプルから様々な属性での有用性を評価し、実際の交通環境下への適用性について検討する予定である。また、車線内の走行位置に個人差の検出を確認したことから、車線逸脱の危険性を評価し、逸脱を起因とする事故のインシデントを車両の挙動から評価する手法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 中村貴志, 松本裕二, 志堂寺和則, 渡邊聡: 簡易設置可能な運転挙動測定システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, pp.7-10, 2006年9月。
- 2) 泉典宏, 牧野浩志, 上條俊介, 田中淳, 竹平誠治, 後藤秀典: 画像センサの活用方法に関する提案, 土木計画学講演集, Vol.45, 2012年6月。
- 3) 千葉史隆, 佐田達典, 石坂哲宏: 高精度衛星測位技術のITSへの利用可能性の検証, 応用測量論文集, Vol.22, pp.25-32, 2011年7月。

(2012.10.19 受付)

Fundamental Study on the Measurement of Vehicle Trajectory using RTK-GPS

Fumitaka CHIBA, Tatsunori SADA and Tetsuhiro ISHIZAKA

High accuracy satellite positioning systems equipped with the new positioning method and new satellites will perform in the near future. There is a possibility to detect the precise vehicle trajectory in the lane using high accurate positioning method as RTK-GPS. The purpose of this study is to verify the availability of precise vehicle trajectory to estimate individual driving characteristics. Experimental results showed that the individual difference in running position and velocity on the direct path and curved path could be detected by the precise vehicle trajectory using RTK-GPS