

⑥ 実走行状態における燃費・排出ガス計測手法に関する研究

—実路走行における道路勾配および標高計測手法—

環境研究領域 ※佐藤 進 山本 敏朗 小川 恭弘 袋 宣子

1. はじめに

自動車から排出される有害物質は、排出ガス規制の強化等によりその排出総量が低減されてきているが、排出総量が減少する一方で、沿道での局所的な排出ガス汚染は未だに改善されていないといえる⁽¹⁾。また燃費基準の導入に伴い、モード試験での燃費値は改善されているが、路上を走行する際の実燃費の実態は分からない部分が多い。局所での汚染の実態把握、実燃費の把握・解析を行うには、路上走行時の自動車からの排出ガスの定量的評価が必須となる。

実走行状態ではシャシダイナモメータ上での試験と異なり勾配抵抗が存在する。例えば、東京都内の幹線道路において道路勾配が4%以上になる箇所では瞬間的にCO、THCが大量に排出されることが報告されており⁽²⁾、勾配抵抗が燃費・排出ガスに及ぼす影響は無視できない。勾配抵抗を求める際に必要となる道路勾配については、その把握が困難であり、路上走行時における車載計測の課題の一つとなっている。道路勾配の計測手法には、これまで大気圧計測による評価⁽³⁾、加速度計測による評価⁽⁴⁾などが行われているが問題点が多い。また標高計測という点では、GPSを用いた三角測量による手法もあるが精度が保証されない。

本研究では上記課題を解決できる道路勾配の計測手法に着目した。車両にジャイロセンサーを設置しピッチ角を計測すると同時に、車両に2つのハイトセンサーを設置して、加減速によって生じる瞬時の車両の傾きを検知することで、道路勾配を評価する手法を考案した。また基準地点の標高を組み合わせることで、走行ルート上の標高データを取得することにも着目した。本研究の目的は、都内一般道、都内高速道の走行ルート上のデータを用いて、道路勾配、標高の計測手法について、その妥当性の評価を行うことである。

2. 道路勾配および標高の評価・計測手法

実路走行試験において道路勾配を計測する場合には前章でも触れたように、加減速時に生じる車両の傾

きを考慮しなければ精度の高い計測はできないと考えられる。本研究では、ジャイロセンサーとハイトセンサーを試験車両に搭載して道路勾配を計測することとした。図1にその概念図を示す。

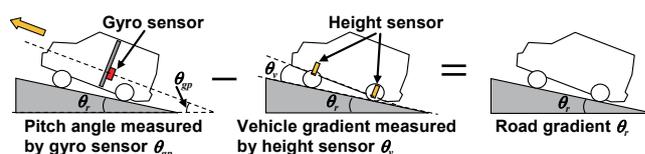


図1 道路勾配計算の概念図

まず車両の前輪、後輪の車軸部分にハイトセンサーを装着し、前輪車軸部分と後輪車軸部分での路面との距離 D_f 、 D_r をそれぞれ測定する。 D_f と D_r の差分を車両のホイールベース D_w で除することで、車両の瞬時の傾き θ_v を算出する(式1)。次に車両内に設置したジャイロセンサーから検出されるピッチ角 θ_{gp} から車両傾き θ_v を差し引くことで、時々刻々の道路勾配 θ_r を求めることができる(式2)。道路勾配 θ_r と瞬時の移動距離 X_t を組み合わせることで瞬時の標高変化分を求めることができるが、この手法では基準となる標高が無ければ瞬時の標高を定めることができない。そこで試験ルートにおける出発点の標高 H_{ref_0} を別途与えることで、瞬時の標高の値を算出することとした(式3)。

$$\theta_v = \sin^{-1} \left((D_f - D_r) / D_w \right) \quad (式1)$$

$$\theta_r = \theta_{gp} - \theta_v \quad (式2)$$

$$H_{cal} = H_{ref_0} + \int_0^{X_t} \sin \theta_r dx \quad (式3)$$

ここで、

D_f : 前輪車軸部分の路面との距離[m], D_r : 後輪車軸部分の路面との距離[m], D_w : 車両のホイールベース[m], H_{cal} : 推定標高値, H_{ref_0} : 出発地点における基準標高値, X_t : 瞬時走行距離[m], θ_{gp} : ジャイロセンサーで計測されるピッチ角[deg], θ_r : 道路勾配[deg], θ_v : 車両傾き[deg]

なお上述の方法で推定する標高値 H_{cal} の比較対象として、(財) 日本地図センターが刊行する数値地図⁽⁵⁾、⁽⁶⁾の標高データを利用し、基準標高値 H_{ref} とした。なお式 3 における出発地点における基準標高値 H_{ref_0} も同様である。使用した計測システムには GPS による緯度・経度の計測も含むが、GPS の計測値は数値地図から基準標高を求めるときにのみ使用している。

ピッチ角の計測には、慣性計測装置を用いた。この装置は高精度のジャイロセンサーに加え、カルマンフィルター（離散的な誤差のある計測に対して時々刻々と時間変化する量を推定するフィルター）と GPS アンテナを含むため、トンネルなど GPS 受信状態の悪い場所でも緯度、経度の検出が可能である。また車両下面と路面との距離を計測するためにハイトセンサーを用いた。なお試験車両には排気量 2488cc のガソリン普通乗用車を使用した。

3. 都市内路上走行試験における道路勾配、標高計測

3. 1. 一般道走行における計測

東京都内の一般道として、大田区池上から港区三田までの国道一号線の約 9.5 km の区間をルートとして選択した。図 2 に国道一号線ルート上の地図を示す。このルートは勾配 2% 以上の上り坂、-2% 以下の下り坂を含んでおり、道路勾配、標高の計測に適していると判断し選択した。特に五反田駅から北上する約 1 km の区間はルート中で最も急な上り勾配を有する。

図 3 に国道一号線ルートにおける試験結果を示す。図は走行距離 X に対する、車両速度 v 、加速度 α 、ジャイロセンサーで計測されるピッチ角 θ_{gp} 、車両傾き θ_v 、道路勾配 θ_r 、標高 H を示している。なお道路勾配は分かりやすいように、 $\sin \theta_r$ [%] として表示した。また標高 H は、基準値として用いた H_{ref} と標高の推算値 H_{cal} を比較しているが、 H_{cal} については車両傾き θ_v を考慮して算出したものと、考慮しないもの（式 2 において $\theta_v = 0$ ）を示した。

加速度 α と車両傾き θ_v の履歴に注目すると、車両の加速時に車両傾きが 0 deg 以上、減速時に 0 deg 以下になっており、両者の値に関係性があることを示している。ピッチ角について見ると、その絶対値が低い部分では車両傾きと同じ動きをしている部分が存在する ($X = 9000 \sim 9600$ m)。これはジャイロセンサーで計測されるピッチ角に車両の傾きの分が含まれることを示している。この車両傾き θ_v をピッチ角 θ_{gp} から差



図 2 一般道ルートの地図（国道一号線）

し引き、 \sin の値として示したのが道路勾配 θ_r のグラフである。このように求めた道路勾配 θ_r の値と瞬時移動距離 X 、出発点での基準標高値 H_{ref_0} を組み合わせで算出した標高が H_{cal} である。基準標高値と車両傾きを考慮して算出した標高を比較すると (H_{cal} : Calculated Altitude with θ_v と H_{ref} : Reference Altitude), 上り勾配, 下り勾配に関わらず、ほぼ再現可能なことが分かる。

ただし $X = 2000$ m 付近において、基準標高値がスパイク状に変化している箇所がある。これは車両が橋梁部分を通じたときのものであり、数値地図に記録されている標高の値は橋梁の下部分の値であるため、車両が通過した路面の標高を表していない。つまり橋梁などの構造物を通過する場合の標高の評価においては、数値地図のデータを基準値として利用することができない。これは高速道路などでの道路勾配、標高計測において問題点となることを示唆している。このような基準標高値が参照できない部分を除けば、精度として $\pm 5\%$ 以内で標高を再現可能できている。

また道路勾配を考慮して求めた標高と、考慮せずに ($\theta_v = 0$) 求めた標高を比較すると (H_{cal} : Calculated Altitude with θ_v と H_{cal} : Calculated Altitude w/o θ_v ($\theta_v = 0$)), その差が開くことが分かる。特に道路勾配の変化が少ない箇所において差が開きやすことが分かり、最大で 8 m ほどの差となる。車両が上り勾配の路面を走行する場合、車両の加減速状況に応じて車両傾きは正の値にも負の値にもなる（下り勾配のときも同様）。ただし前述したように、道路勾配の低い路面つまり平らな路面ほど、車両が加減速する際に車両傾きの影響が大きくなる。このことからジャイロセンサ

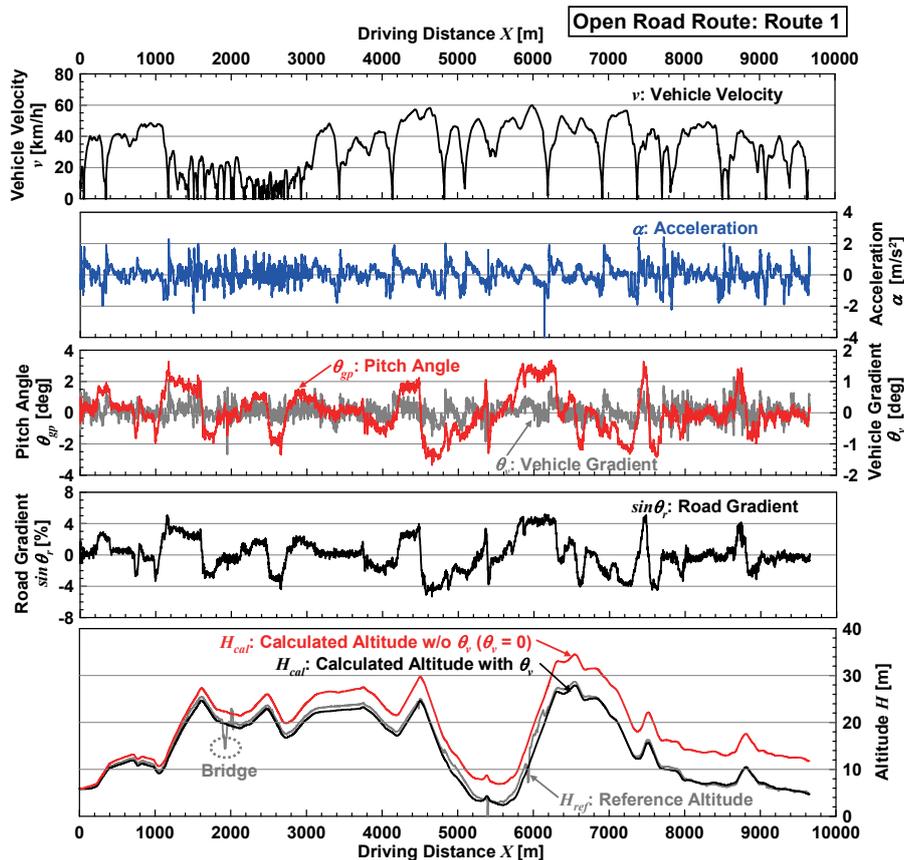


図3 一般道走行における車両傾き，道路勾配，標高の計測結果

一を利用した道路勾配計測においては，車両の傾きを考慮することの重要性が分かる。

3. 2. 高速道走行における計測

次に高速道として，神田橋から高井戸までの4号新宿線を含む首都高速道の約18 kmの区間をルートとして選択した。前項で問題点として挙げた，構造物を通過する場合に数値地図の標高データが参照できない点を考慮し，走行試験時に一般道部分も計測区間として含めることとした。図4に首都高速道ルートの地図を示す。この地図からも分かるように，高速道の区間以外に神田橋入口付近の一般道と，高井戸出口を降りてからの一般道も計測区間とした。

図5に首都高速道ルートにおける試験結果を示す。図が示しているものは，図3と同じである。履歴の中で， $X=0\sim 100$ mの区間と $X=17300\sim 18000$ mの区間は一般道である。この走行試験は平日午後1時から午後3時の時間帯で行っているが，このときは走行区間で渋滞はほとんど無い。加速度 α と車両傾き θ の関係性は図3の場合と同様である。また国道一号線ルートの場合と同じく，ジャイロセンサーで計測されたピッチ角 θ_{gp} から車両傾き θ を差し引いて道路勾

配 θ_r を算出した。標高についても図3と同様である。一般道区間から高速道区間に入ると，基準標高値と車両傾きを考慮して算出した標高は大きく乖離し，高速道区間中は両者の値が一致することはない。これは前項で提示した，構造物部分を走行する際，数値地図のデータによる標高の値を基準値として使用できないという問題点そのものである。つまり数値地図に記される標高の値は，構造物上の標高を示してはおらず，基本的には構造物の下，あるいは構造物付近の丘陵の標高を示している。一般道部分では，国道一号線ルートの結果と同じく基準標高値をほぼ再現できていることが分かる。車両傾きを考慮して算出した標高と，考慮せずに算出した標高を比較すると，最大で約5 mの差が生じており，この結果も国道一号線ルートでの結果と同じである。

高速道走行時の道路勾配，標高計測においては，基準標高値を与えるために高速道の前後で一般道を計測区間として含めることで，より確実な評価が可能となることになった。

4. まとめ



図4 高速道ルートの地図

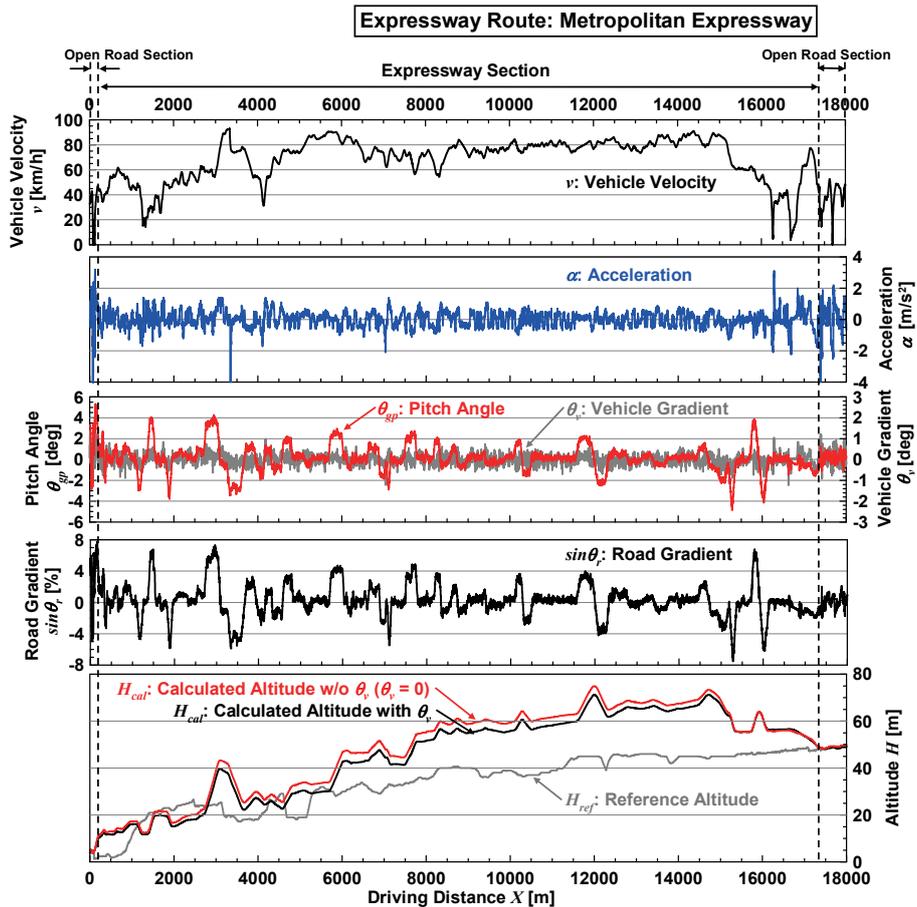


図5 高速道走行における車両傾き、道路勾配、標高の計測結果

本研究では、ジャイロセンサーとハイトセンサーを組み合わせた道路勾配・標高の計測手法を考案した。

- (1) ハイトセンサーの計測値から車両傾きを求め、これを考慮に入れた道路勾配の計測を行うことで、道路勾配の正確な把握を行うことができた。この手法は従来の勾配・標高計測手法の問題点を解決することができる。
- (2) この手法により走行ルートの標高も評価する場合には、緯度・経度の情報を元に基準となる標高の値を求めることが必要である。この基準標高値と組み合わせることで、一般道、高速道を問わず標高の値を取得することが可能である。

- (3) 橋梁部分等の構造物を通過する際には数値地図による基準標高値は使用できない。しかしそうした部分を除けば、本研究で提案する手法により5%以内の精度で標高を再現することが可能である。

参考文献

- (1) 環境省, 平成18年度環境白書
- (2) 山本他2名, 自技論, Vol.38, No.6, pp.229-234 (2007)
- (3) N. A. Moynahan 他3名, SAE Paper 2006-01-3392 (2006)
- (4) 環境省, 平成16年度環境保全研究発表会 (2004)
- (5) 日本地図センター, “数値地図50mメッシュ(標高)”
- (6) 日本地図センター, “数値地図5mメッシュ(標高)”