

車頭時間-反応遅れモデルによる高速道路のサグ渋滞のシミュレーション

A Simulation of Traffic Congestion at a Sag of a Motorway

by a Model of Time-Headway and Reaction Delay

赤羽研究室 1124106 金籠 凌平

1224326 山坂 流真

1. はじめに

高速道路における主な渋滞発生箇所(隘路)として、トンネル入り口部、インターチェンジ入り口部、料金所、及び縦断曲線の凹部であるサグ部等が挙げられてきた。しかし、ETC 利用率の増大によって料金所における渋滞が大幅に減少したことで、現在ではサグ部と合流部とが主要な隘路となっている。

サグ渋滞は、交通流率が高まるにつれ車線利用が追越車線に偏り、大きな車群が形成され、その中をサグの上り勾配で発生した減速波が下流から上流に向けて伝播し、増幅されていく過程で発生することが知られている。

これまでの当研究室における分析結果¹⁾より、先行車に対する後続車の車頭時間と反応遅れ時間がほぼ一致し、走行速度の空間変動がほぼ相似であるとの仮説を得た。

本研究では、この仮説に基づく追従走行モデルを作成し、サグ渋滞の再現精度を検証する。

2. 使用した観測データ

図-1 に、本研究で対象とした東名高速道路下り線を示す。同区間は、ほぼ毎週土曜の午前にサグ渋滞が発生している。対象区間を約 1.2km にわたり 11 台のカメラを用いて走行車両を同期撮影することで 1/30 秒毎の走行軌跡データを得た。このデータから、車群内の車両を観測、分析した。表-1 に、ビデオ観測データの仕様を示す。



図-1 観測対象地域

表-1 渋滞のビデオ観測データの仕様 (2006年)

観測日	時間帯	観測台数	発生時刻
7月15日(土)	4:30-7:30	108	5:40
7月22日(土)	4:30-7:30	92	6:45
7月29日(土)	4:30-7:30	83	5:55
8月4日(金)	6:00-9:00	118	7:25

3. 追従走行モデルの開発

図-2 に、追従走行モデルの基本的な原理を示す。後続車は先行車の速度を反応遅れ時間分だけ遅れて取り込み、追従していると仮定する。後続車の車頭時間を設定でき

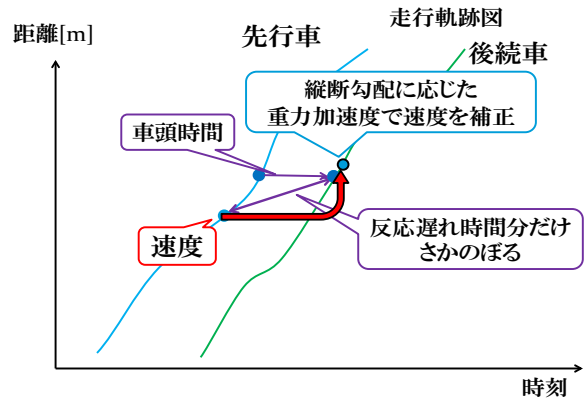


図-2 追従走行モデル概念

れば、反応遅れ時間を介し、取り込むべき先行車の速度を決定できる。追従走行モデルを、式(1)~(4)で示す。

$$h(t) = \frac{(x_{n-1}(t) - x_n(t))}{v_n(t)} \quad (1)$$

$$\tau(t) = ah(t) \quad (2)$$

$$v_n(t + \Delta t) = v_{n-1}(t - \tau(t)) - ig\Delta t \quad (3)$$

$$x_n(t + \Delta t) = x_{n-1}(t) + v_n(t)\Delta t \quad (4)$$

ここに、 $h(t)$ は車頭時間、 n は車両の走行順序番号、 $x_{n-1}(t)$ 、 $x_n(t)$ は先行車、後続車の走行位置、 $v_n(t)$ は後続車の走行速度、 Δt はスキャニング時間(1/30 秒)、 $v_{n-1}(t - \tau(t))$ は反応遅れ分だけ遅らせた先行車の速度、 $ig\Delta t$ は縦断勾配に応じた重力加速度、 $\tau(t)$ は反応遅れ時間、 a はパラメータ値 (以降、反応遅れ係数) である。

今回の追従走行モデルの構築には Excel VBA を用いる。

4. 車頭時間-反応遅れ時間モデルの同定

昨年度までの研究では式(2)の車頭時間-反応遅れ時間モデルの反応遅れ係数が全車両に共通だった。このモデルではサグ部における走行速度の低下および後続車への減速波の増幅は再現できたが、減速波が上流に伝播する現象の再現が出来なかった。

今年度の研究では車両毎に反応遅れ係数を最適化した車頭時間-反応遅れ時間モデルを用いる。反応遅れ係数の最適化には RMSE 値を用いた総当たり法で行った。図-3 に、反応遅れ係数と速度の時間変動を示す。このときが反応遅れ係数が負の数値を示しているものは、1 台前

の車両を疑似的に2台以上前の車両としている事を示す。

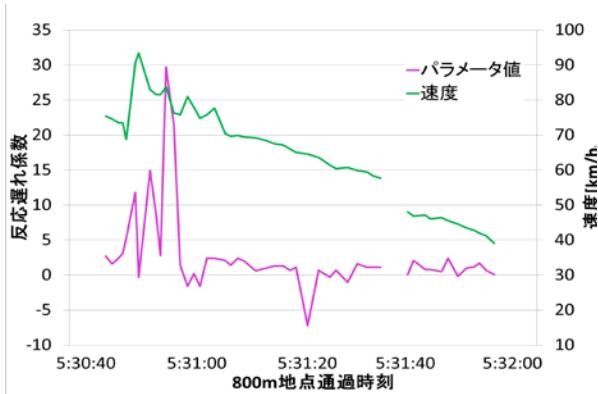


図-3 反応遅れ係数と速度の時間変動

5. 追従走行モデルによるサグ渋滞の再現

渋滞車群先頭車の走行軌跡、及びその後続車の走行軌跡の始点の位置と時刻とを与件とし、第3節の式(1)から(4)及び総当たりによって求められパラメータ値を用いた追従走行モデルで走行軌跡を模擬した。なお、既存研究¹⁾より、追従状態では車頭時間が概ね3秒であることが分かっている。これを参考として、車頭時間を4秒以内に保つように走行速度を調整した。

シミュレートの範囲外ではあるが後続車の実測値が存在する場合には同実測値による補完を行った。図-4に観測値を図-5に渋滞原因車群のシミュレーション結果を青で、先頭車と実測値の補間部分は赤で、走行速度を調整した部分は黄で示す。

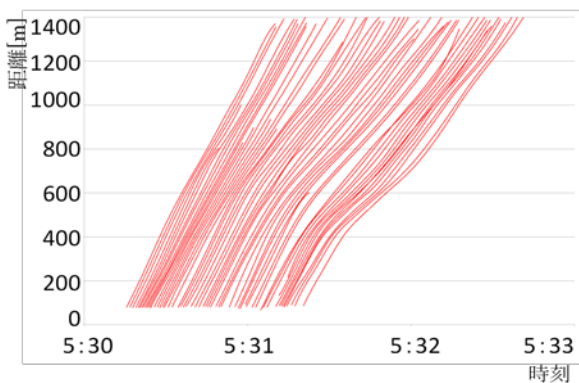


図-4 観測値の走行軌跡(7月15日)

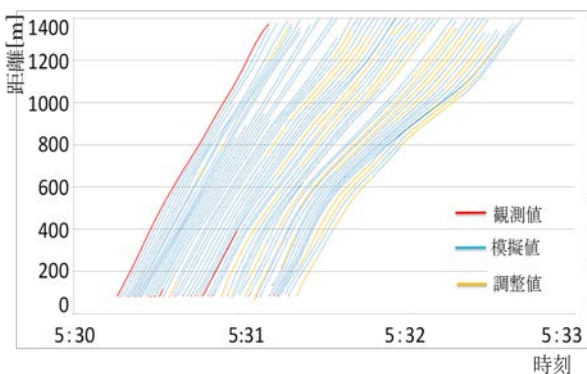


図-5 追従走行モデルによる渋滞原因車群の走行軌跡(7月15日)

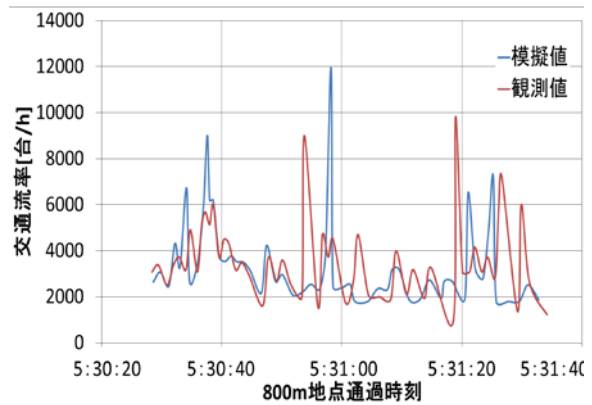


図-6 交通流率の時間変動

図-4、5 から、サグ部における走行速度の低下および後続車への減速波の増幅は再現できている。更に昨年度までの研究では再現できなかった、減速波が上流に伝播する現象再現することに成功した。

図-6 に模擬値の再現精度の検証の為、サグ部下流800m 地点での時刻と交通流率を示す。交通流率の大幅な増加時の時刻に差異は見られるが、おおよそ近似の位相と絶対値となっている。このことから、交通流率の時間変動についても再現性があることがわかる。

6. まとめと今後の課題

RMSE 値を用いた最適化により車両別車頭時間-反応遅れ時間モデルの同定をし、それを中核とした追従走行モデルを構築した。サグ渋滞の発生再現シミュレーションでは、減速波が上流に伝播する現象の再現に成功した。また、交通流率の時間変動に関しても位相と絶対値の再現に成功した。

7月15日以外のデータについてもシミュレートし再現精度の比較と検証を行うこと、車頭時間4秒以内に保つように走行速度の調整を行うことなくシミュレートを行うことが今後の大きな課題となる。また、渋滞時車間が狭まった場合後続車は目の前の先行車ではなく2台以上前の車両を追従している可能性がある。その為、後続車と先行車の車間の変化に対して随時取り込むべき先行車を変えることによって追従走行モデルの再現精度を上げることが出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 武藤憲弘, 赤羽 弘和: 車両の走行軌跡の精密観測に基づくサグ渋滞の分析, 土木学会, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, CD-ROM, 2009年.
- 2) 大口敬: 高速道路単路部渋滞発生解析-追従挙動モデルの整理と今後の展望, 土木学会, 土木学会論文集, No.660/IV-49, 2000