

モジュール化追従モデルの特性

Characteristics of Modularized Car-following Model

森津 秀夫*

Hideo Moritsu

道路交通流を表現する追従モデルに関し、追従挙動の機能を分割してモジュール化したサブモデルを組み合わせたのがモジュール化追従モデルである。交通シミュレーションへの適用を念頭に、サブモデルの改良の可能性を示し、誤差やばらつきの影響を明示的に検討することなどの課題を明らかにした。さらに追従モデルで遅れ時間の変動を考慮することが必要であり、そのためにモジュール化追従モデルが適していることを論じた。

キーワード：道路交通流、追従モデル、モジュール化、交通シミュレーション

I. はじめに

道路交通流を表現するために有効な方法に追従モデルの適用がある。車両が走行する際、走行する車線の前方に自車の走行に影響する車両が存在するか否かにより走行挙動は大別される。追従モデルは前方に車両が存在するとき、追突することなく先行車に追従走行する車両の加減速度決定をモデル化したものである。近年、交通シミュレーションの適用事例が増えたが、シミュレーションを必要とする交通現象の多くは多数の車両が相互に影響を与えながら走行するものであり、車両の走行挙動を再現するには追従モデルの適用が不可欠である。

追従理論が確立したときの道路交通では、運転者は目視により得た前方の道路と車両に関する情報を使って自らの運転操作を行うに過ぎなかった。現在の車両は様々なセンサーが搭載され始めており、路車間や車車間の情報通信も実用化されようとしている。これにより運転者は高質で多量の各種情報を運転操作に利用する可能性を手にすることになる。すなわち、追従モデルが前提としていた状況とは大きく異なる状況になろうとしているのである。さらに、運転操作の一部を自動化した車両が普及しつつあり、完全自動運転も近い将来に実現することが予想されている。

近年に一般化しつつある運転操作自動化は、速度を一定に保つクルーズコントロールがその始まりと考えてよく、アダプティブクルーズコントロールは追従走行を自動化したものといえる。自動ブレーキとも呼ばれる衝突軽減ブレーキもまた追突を回避する追従モデルの応用と考えることができる。このような追従モデルを取り巻く環境の変化に対応するため、追従モデルをモジュ-

ル化することを提案した¹⁾。これは追従挙動を見直すことにより機能を分割し、モジュール化したサブモデルを組み合わせて追従モデルを構成するものであり、関係する多数の要因を考慮することを意図したものである。

ここでは構成するサブモデルに関する考察を深めることにより、モジュール化追従モデルの特性を明らかにすることを目的とする。IIにおいてモジュール化追従モデルの概要を示し、IIIではモジュールの機能を表現するサブモデルの特性を検討し、IVにおいてモジュール化追従モデルの展開と応用について考察する。

II. モジュール化追従モデルの概要

追従モデルは道路交通流の安定性を分析するために考案されたものである。古典的で最も単純な追従モデルは前方車両との速度差に応じて加速度が決まるものであり、使われている説明変数は速度差だけである。速度差に対する反応の強さと遅れ時間が追従挙動を左右するパラメータであった。一般化した追従モデルでは自車の速度や先行車との車頭距離も入力変数として使用されパラメータも増えたが、追従挙動の要となるのは遅れ時間の存在であることに変わりはない。この遅れ時間は運転者の反応遅れと車両の機械的反応遅れの和であると説明されるが、道路交通流の分析を目的とする限り、両者を分離して扱う必要性は高くなかった。

現在、追従モデルの最大の用途は交通シミュレーションにおける車両走行モデルへの適用であると考えられる。交通シミュレーションで最も重要な車両走行は、追従モデルを基礎に組み立てられていると言ってよい。交通シミュレーションは現実の交通ネットワークフローを再現できなければ意味がなく、運転者の操作に無視し得ない影響を与える要因は漏れなくシミュレーションの対象に含めなくてはならない。追従モデルは車両の加減速度を決定するものであるが、それに関係する説明変数や制御パラメータをモデルに組み込むことが必要である。それらが車両の加減速度に影響するメカニズムを明示的に取り扱うことも欠かせない。

このような観点から追従モデルのモジュール化を提案した¹⁾。このモジュール化追従モデルは追従走行における運転者の行動と車両の動作は車両観測、現況把握、加減速判断、運転操作、車両反応の機能が構成されるとし、機能別に分割したモジュールをサブモデルで表現するものである。サブモデルの概要は表1に示すとおりである。表1では、具体的なモデルとして著者の開発した交通シミュレータ VISITOK で使用している追従モデルをモジュール化した例（以下、VISITOK 追従モデルと呼ぶ）を加えた。

VISITOK 追従モデルは Gazis らによる一般的な追従モデル²⁾と大差ない。車頭距離ではなく車間距離を使用すること、シミュレーションへの適用の利便性を考慮して右辺の説明変数に遅れ時間を伴わないように変更した点が異なっている。モジュールへの分割は Gazis らによるモデルを例に提案したときと同様にしている。次のIIIにおいては、表1に示したサブモデルで何を表現す

表 1. モジュール化追従モデルを構成するサブモデルの概要

サブモデル	出力時刻	出力	VISITOK 追従モデルの出力
車両観測	$t + T_1$	$x_n(t), x_{n+1}(t)$	$v_{n+1}(t), v_n(t) - v_{n+1}(t), x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)$
現況把握	$t + \sum_{i=1}^2 T_i$	$y_{n+1}(t) = f_1(x_n(t), x_{n+1}(t))$	$y_{n+1}(t)$ $= \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\} / \{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l$
加減速判断	$t + \sum_{i=1}^3 T_i$	$z_{n+1}(t) = f_2(y_{n+1}(t))$	$z_{n+1}(t)$ $= \lambda_1 \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\} / \{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l$
運転操作	$t + \sum_{i=1}^4 T_i$	$a_{n+1}(t) = f_3(z_{n+1}(t))$	$a_{n+1}(t) = z_{n+1}(t)$ $= \lambda_1 \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\} / \{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l$
車両反応	$t + \sum_{i=1}^5 T_i$ $= t + T$	$\alpha_{n+1}(t + T)$ $= f_4(a_{n+1}(t), T, x_{n+1}(t + T))$	$\alpha_{n+1}(t + T)$ $= \lambda_1 \frac{\{v_n(t) - v_{n+1}(t)\}}{\{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l} \lambda_2 \{v_{n+1}(t)\}^m$ $= \lambda \frac{\{v_{n+1}(t)\}^m}{\{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l} \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\}$

ここに、 $\alpha_{n+1}(t + T)$ ：時刻 $t+T$ における先頭から $n+1$ 番目の車両の加速度

$T, T_1 \sim T_5$ ：遅れ時間

$v_n(t)$ ：時刻 t における先頭から n 番目の車両の速度

$\lambda, \lambda_1, \lambda_2, l, m$ ：定数 ($\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$)

$x_n(t)$ ：時刻 t における先頭から n 番目の車両の走行特性値

$x_n(t)$ ：時刻 t における先頭から n 番目の車両の位置

$y_{n+1}(t)$ ：時刻 t における先頭から $n+1$ 番目の車両の現況把握指標

$y_{n+1}(t)$ ：時刻 t における先頭から $n+1$ 番目の車両の加減速度を判断する指標

$z_{n+1}(t)$ ：時刻 t における先頭から $n+1$ 番目の車両の目標加減速度

L_n ：先頭から n 番目の車両の長さ

$a_{n+1}(t)$ ：時刻 t における先頭から $n+1$ 番目の車両の運転操作量

ることができ、どのような課題に対応できるのかを考察する。

Ⅲ. モジュールの機能を表現するサブモデルの特性

1. 車両観測モデル

車両観測モデルは追従行動に必要な情報の取得を表現するものである。追従モデルで用いられる主な情報は自車と先行車の速度、位置等である。運転者が目視により取得する場合は高い精度でこれらの観測値が得られるとは考えにくく、感覚的な観測値であるかもしれない。しかし、一

一般的な追従モデルでは数値化されたデータが利用できることを前提としている。通常は観測に要する時間を考慮する必要はないが、車載のカメラやレーダーを使用する場合は目視よりも極めて短時間で観測できる。この違いを表現できるように導入されたのが観測値を出力するまでの遅れ時間、表1の T_1 である。

車両観測モデルは確定的な数値を出力する。しかしながら運転者の目視によるか、あるいは機械観測を行うかにより遅れ時間だけでなく観測値の精度は大きく異なる。たとえば運転者によっては常に速度を実際よりも速く評価するなど、偶然誤差だけでなく系統誤差が生じることも考えられる。そのような場合、誤差を考慮しないで算出した加減速度は実際と合わない可能性がある。誤差と運転者の属性、道路環境、交通状況の間に明確な関係を見出すことができれば、観測値を補正した値をモデルから出力することが適切である。たとえば先ほどの例で速度を常に速く評価する運転者の場合、式(1)のように実際の速度に定数 c_1 を乗じた速度 $v_{n+1}^o(t)$ を観測値として使うことが考えられる。

$$v_{n+1}^o(t) = c_1 v_{n+1}(t) \quad (1)$$

これらの誤差が追従挙動に与える影響を明らかにすることがこのサブモデルの適用における要点であると考えられる。実際の交通行動においては、交通状況に対する運転者の誤認識、わき見運転やぼんやり運転を原因とする観測遅れなどによる影響は、車両観測モデルを操作して調べることができる。さらに各種センサーを用いて精度の高い情報を運転者へ提供する効果も検討できると考えられる。

観測値における誤差の影響を VISITOK 追従モデルの例でみることにする。このモデルでは T_1 の遅れ時間で自車の速度、先行車との速度差および車間距離が出力される。表1の出力時刻欄で明らかのように、この段階での遅れ時間はそのまま後続の過程に引き継がれていく。遅れを伴うことは加減速を決める時点では古い情報に基づいていることを意味しており、大きな遅れと変化の激しい状況が重なった場合は追従の安定性が損なわれることが容易にわかる。

自車の速度は車両反応の段階で使用されるほか、先行車との速度差にも関係する。車両反応は車両の機械的メカニズムを取り扱うものであるとするなら、自車速度の観測誤差を考慮する必要はない。先行車の速度評価を含めた速度差と車間距離における観測誤差を論じればよい。すなわち現況把握においては車間距離の l 乗に対する速度差の比が指標として使用され、加減速判断、運転操作でも使われて最終的に加減速度を決定する変数となっている。誤差による速度差の過大評価と車間距離の過小評価は加減速度を大きくするように作用し、交通流の不安定化につながることになる。

追従理論は道路交通流をモデル化することが目的であったため、追従モデルで使われる説明変数は運転時に入手できるものであることが暗黙のうちに前提となっていた。そのような観点で用いられていたのが自車の速度と先行車との速度差および車間距離あるいは車頭距離であった。入

手可能性があるものには加減速度もあるが、運転者が感覚的に加減速度を知ることは容易でない。追従モデルはある瞬間に対して適用して終わるのではなく時間的に連続する動的現象を対象としている。加減速度は速度の変化をもたらす、それがまた加減速度の決定に使われることになる。これが繰り返されるのであり、敢えて加減速度を説明変数に取り入れなくても支障はなかったと考えられる。

山村ら³⁾はブレーキランプの点灯が追従挙動に与える影響に関し、ドライビングシミュレータを使った分析から点灯により減速が早くなる傾向があることを明らかにしている。減速度の具体的な数値がわからなくてもブレーキランプの点灯で先行車の減速を知ることにより運転者は反応するのであり、追従モデルの説明変数としての可能性を示していることになる。センサーを用いた速度の継続観測から車載装置で先行車の減速度を運転者に提示することは容易であり、車車間通信が実用化されれば先行車から直接にその加減速度を得られる。したがって加減速度を観測項目に加え、追従モデルで使用する必要があるのは間違いないであろう。

2. 現況把握モデル

現況把握モデルは加減速を判断するために必要な指標を算出するためのものである。追従行動に必要なのは、先行車との距離が維持、拡大、縮小のいずれの状況にあるのかを知ることである。とくに距離が縮小する場合には追突の危険性の大きさが問題となる。現況把握指標はこれらを適切に表すことが求められ、加減速判断や運転操作に適用できなければならない。車頭距離あるいは車間距離と速度差を用いれば、これらの要件を満たす指標を作ることができる。

VISITOK 追従モデルでは車間距離の l 乗に対する速度差の比が使われ、この指標の絶対値が大きいくほど加減速度が大きくなる。指標が負の値で定数 $l=1$ の場合が最も理解しやすく、指標の絶対値は先行車と自車が速度を維持したときに追突に至る時間の逆数を示すことになる。この定数は $l=2$ を標準値としているが、 $l>1$ の場合は車間距離が大きくなれば速度差の影響が小さくなることに対応させていると解釈できる。指標が正の値をとるときは先行車が遠ざかりつつあることになり、指標はその大きさを示すことになる。

実際に観測された追従挙動の再現性を高めるには現況把握モデルを改良することが有効である。観測項目に加減速度を加える可能性について述べたが、観測時点における自車と先行車それぞれの加減速度をも考慮して現況を把握することはやや複雑になる。しかし必ずしも1つの指標にまとめる必要はなく、様々な条件を考慮して加減速を行う状況であるのか否かを判断するのに寄与する情報を提供できればよい。一般には追従モデルは道路条件を考慮していないが、現実には上り勾配の区間において先行車から離される場面では追従を諦めるというようなことがあり得る。様々な要因を取り込んだ追従モデルに発展させる場合、先行車以外の交通条件や道路条件もこの部分に集約することになる。

3. 加減速判断モデル

加減速判断モデルは現況把握モデルで出力された指標を使って加減速に関する運転操作の目標を決定するものである。先行車との速度差や車間距離等から導かれた指標に基づき減速、速度維持、加速のいずれを選択するか、さらに加減速の場合はその程度を決める。運転者が具体的な数値目標を定めてアクセルペダルやブレーキペダルを踏むことはないであろうが、モデル化するには目標値を設けざるを得ない。VISITOK 追従モデルでは基本的には現況把握指標を加減速目標値として使用している（式（2））。目標値の意味をわかりやすくすれば、現況把握指標を定数倍して加減速度の単位に直すと解釈すればよい。

$$z_{n+1}(t) = \lambda_1 \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\} / \{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l \quad (2)$$

加減速判断モデルを改良する上で最も可能性が高いのは現況把握指標に加減速度を追加することである。ただし現在の一般的な状況と変更なく運転者が目視で観測するだけならば、ブレーキランプの点灯により先行車の減速状態を知ることを利用するのみである。運転者が先行車の減速を認識したとき、追突の危険性が高まると感じた場合のみ迅速に減速動作を行うと考えられる。そこで式（2）を式（3）のように修正すれば、先行車との速度差が負でありかつ減速しているときにはより大きく反応させることができる。

$$z_{n+1}(t) = \begin{cases} \frac{\lambda_1 \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\}}{\{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l} & (\alpha_n(t) < 0 \text{ かつ } v_n(t) < v_{n+1}(t)) \\ \frac{\lambda_1 \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\}}{\{x_n(t) - L_n - x_{n+1}(t)\}^l} & (\alpha_n(t) \geq 0 \text{ または } v_n(t) \geq v_{n+1}(t)) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $\lambda_1 < \lambda_1'$

ある状況下で加減速の必要性を判断する場合、運転者の個人的属性や心理的側面が関係すると考えられる。漫然と運転していれば、判断するまでに時間を要することがあるかもしれない。あるいはその状況を正しく捉えることができず、本来出力すべき目標値とは誤差を生じることがあるかもしれない。このような運転者の判断における遅れや誤差の影響は加減速判断モデルを使って分析できるであろう。また単純な追従行動ではなく先行車以外の交通条件や道路条件をも考慮して加減速度を決定する追従モデルとするときは、加減速判断モデルを拡張することになる。必要な判断材料は現況把握モデルで提供し、それらが加減速目標値に及ぼす影響を定式化に加えればよい。

交通シミュレーションの対象車両を自動運転車まで拡大した場合、追従制御のシミュレーションを行うことになる。その追従挙動のモデル化は追従制御自体から明らかであり、車間距離の維持や安全な車間距離を確保するための加減速度をそのまま目標値とすればよい。

4. 運転操作モデル

運転操作モデルは運転者が加減速を判断し、それを行動に移して運転操作を行うことをモデル化するものである。加減速の目標値に基づいて車両に対する操作を行うものであり、具体的にはある強さでアクセル操作あるいはブレーキ操作を行う過程と考えてよい。これら運転操作の強さに応じて車両が反応し、その結果として得られる加減速度を目標値に近づけようとするものである。たとえばブレーキペダルの踏力と減速度の関係は必ずしも比例関係ではなく、自動車工学の観点から求められるものである。その関係を表したのが表1の f_4 である。 f_4 の逆関数を用いれば、所要の加減速度に対して与えるべき運転操作量を求めることができる。

運転操作モデルは車両に操作が加えられるまでを対象とする。厳密には運転者自身が加減速の判断を行った後に運転操作を開始するまでと、その操作が車両に伝わるまでの段階に分けることができるが、いずれも制動時には空走状態の中に位置づけられる。すなわち遅れを伴うのであり、追従にかかる遅れの主たる構成要素となるものである。運転者の身体的能力に関する部分と車両側に関する部分により構成される。たとえば高齢者の運転動作が鈍くなったことによる影響を分析するとき、物理的な身体側面に関しては運転操作モデルで扱うことができよう。また車両のペダル配置等の調整で瞬時の遅れを短縮させようとするような場合もここで検討できると考えられる。

交通シミュレーションに追従モデルを適用するとき、一般に遅れ時間は個々の車両ごとに一定値とされる。実際には同じ運転者でも場面によって判断や運転操作の俊敏さは変化し、遅れ時間

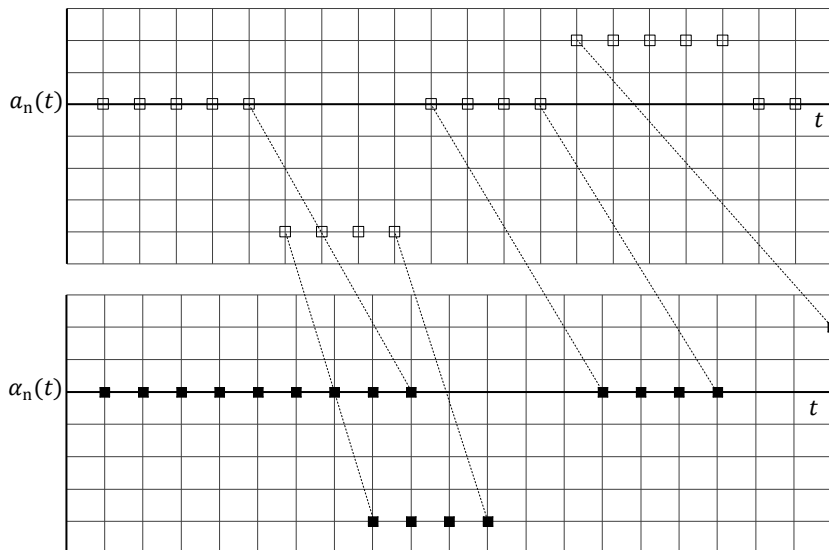


図1. 交通シミュレーションにおける遅れ時間の変動

は変化すると考えられる。しかし、一定の微小時間間隔ごとに対象システムの状態更新を繰り返すシミュレーション方式では遅れ時間が変化することを扱うのは極めて困難である。図1に示すように加減速度目標値は遅れ時間後に車両加速度として発現するが、遅れ時間が変動したときには複数の加減速度がある時刻に重なったり、その時刻に対応する加減速度がなかったりすることになる。これではシミュレーションは論理的に破綻する。この問題を解決する必要がある、遅れ時間の変動の取り扱いは今後に残されている課題である。

5. 車両反応モデル

車両反応モデルは運転者が行った操作に基づき車両が動作することを表すものである。運転操作モデルの出力を入力とするため、2つのモデルは対応させておかななくてはならない。運転者の細かな操作による影響を調べたいならば、そのような運転操作に対する車両の反応をモデル化しておく必要がある。従来の追従モデルをモジュール分割したものでは、当該車両の速度に応じて加減速度が変化する部分を車両反応モデルに相当すると解釈できる。

運転操作への反応は車両性能を表すものでもある。技術的進歩により追従モデルが考案された頃と比べると、車両は大きく異なっている。ペダル操作を伝達する機構も変わり、反応遅れは小さくなったと考えられる。運転操作に対する車両反応の大きさや遅れ時間におけるばらつきも極めて小さいと考えられる。純粋に機械的な応答に関する部分を切り出して車両反応モデルを構築することができれば、走行に関わる車両自体の変化はこのサブモデルの範囲内で検討することが可能である。一方、運転操作が人間によるものであっても自動運転であっても、車両反応モデルは基本的には変わりなく、とくに修正を要することはないであろう。

追従モデルに道路条件を組み込むときは、運転者の加減速判断だけでなく車両反応にも拡張が必要である。勾配区間や曲線区間における物理的な車両挙動をモデル化しなくてはならない。このような拡張は可能であるが、道路交通流の安定性解析が目的であったシンプルな追従モデルとはまったく別物になってしまう恐れがある。この点には注意すべきであろう。

IV. モジュール化追従モデルの展開と応用

Ⅲにおいて各サブモデルの機能を説明し、どのような課題に対応することが可能かを検討してきた。ここでは、あらためてモジュール化追従モデルの展開と応用の可能性に関し、適用ニーズの変化とともに考察する。

現在における追従モデルに対する最大のニーズは交通シミュレーションへの適用である。交通シミュレーションは渋滞が生じるような状態を対象にすることがほとんどであり、追従走行する車両の挙動を再現することが欠かせない。シミュレーション手法を適用するとき、対象とするシステムの状態やパラメータ等を変えてその影響を調べる感度分析を実施し、期待する結果が得ら

れる施策を求めてシミュレーションが繰り返される。車両の走行に関係すると考えられる要因を検討するには、それが交通シミュレーションで使われている車両走行モデルに反映されていないなければならない。一般的な追従モデルは自車と先行車の車頭距離と速度差、速度自体といった説明変数を使ってシンプルな数式にまとめたものであり、交通シミュレーションの目的には不十分である。

追従モデルを拡張して多様な要因を考慮できるようにするには追従行動を機能的に分離することが有効であり、この観点から提案されたのがモジュール化追従モデルである。相互に関連するものの、サブモデルごとに車両環境の変化や運転者の身体的、心理的側面への対応を行うことが可能になる。IIIではいくつかの展開の可能性を示したが、車載センサーの装備と運転操作の自動化、路車間通信や車車間通信による情報利用、車両の電動化による運動性能の変化などへの対応が主たるテーマになると考えられる。

サブモデルの特性の考察では、とくに誤差の影響に言及した。運転者は感覚的に先行車との関係を捉えており、正確な数値で観測しているわけではない。どのように把握しているかが追従挙動に影響するのは当然である。追従モデルのパラメータの違いとして処理する方法もあるが、十分に説明できないこともあり得る。運転支援システムが導入されて先行車との正確な速度差や車間距離が運転者に提示されることも考えられることから、誤差やばらつきの影響を明示的に検討する必要がある。これもモジュール化追従モデルの展開における課題の1つである。

追従モデルを価値あるものに行っているのは遅れ時間の存在である。遅れ時間は運転者の反応遅れと車両の反応遅れからなるとされている。個人ごと、車両ごとに値は違っても定数として扱われてきた。しかし、状況によって遅れ時間は変化すると考えるのが妥当であり、変化しないとするには無理がある。数式上で遅れ時間を変数とすることは容易であるが、追従モデルが専ら使用される交通シミュレーションにおいて遅れ時間を変動させることには問題があることは運転操作モデルの説明で触れたとおりである。追従走行のための各プロセスで遅れ時間を短縮することは交通流の安定化と効率化に役立つため、様々な取り組みが行われるであろう。そのような応用を考慮すれば、追従モデルにおける遅れの取り扱いを根本から見直す必要がある。追従挙動を機能ごとに分離したモジュール化追従モデルはそのような検討においても役立つと考えられる。

V. おわりに

道路を走行する車両の挙動を再現する基礎となるのは追従モデルである。追従モデルは道路交通流の安定性解析を目的に提案されたが、最近では交通シミュレーションの車両走行モデルに適用されている。交通シミュレーションでは様々な要因を考慮することが要求され、車両走行モデルの改良も必要になった。車両走行の基礎となる追従モデルにも手を加えることが考えられた。そこで提案されたのがモジュール化追従モデルである。これは追従挙動を見直すことにより機能を

分割し、モジュール化したサブモデルを組み合わせることで追従モデルを構成するものであり、関係する多数の要因を考慮することを意図したものである。

本研究では構成するサブモデルに関する考察を深めることにより、モジュール化追従モデルの特性を明らかにすることを目的とした。まずモジュール化追従モデルの概要を示した後、モジュールの機能表現するサブモデルの特性を検討し、それらを包括するモジュール化追従モデルの展開と応用について考察した。車両観測モデルでは観測誤差の影響に関して述べ、加減速度を観測値に追加することの必要性を示した。現況把握モデルでは加減速度を説明変数に使用する場合の方向性を検討し、具体的な目標加減速度算定の修正例を加減速判断モデルで示した。運転操作モデルの考察では、交通シミュレーションにおいては遅れ時間の変動を取り扱うことが困難であり、課題として残されていることを述べた。

モジュール化追従モデルの展開と応用に関しては、車載センサーの装備と運転操作の自動化、路車間通信や車車間通信による情報利用、車両の電動化による運動性能の変化などへの対応が必要になることを述べた。さらに、誤差やばらつきの影響を明示的に検討することや遅れ時間の変動への対処においても追従挙動の機能を分離して検討することが有効であることを述べた。

参考文献

- 1) 森津秀夫：「追従モデルのモジュール化」、『流通科学大学論集—経済・情報・政策編—』23, No.2 (2015), 85-94.
- 2) 佐佐木綱監修, 飯田恭敬編著：『交通工学』（国民科学社, 1992）.
- 3) 山村啓一, 宇野伸宏, 中村俊之：「ブレーキランプの点灯が追従挙動に与える影響の分析」、『第35回交通工学研究発表会論文集』（2015）, 389-395.