混雑状況に対応する車の経路選択のCAモデル

中日本自動車短大　福井　稔
愛知淑徳大・ビジネスコミニュケーション研　石橋　善弘

いつでも、どこへでも、自由に移動できる、便利な自動車。 自動車は個人の要求を満たし、社会の経済的発展を担うかたちで発展してきた。このモータリゼーションの進展は人間社会に多大な恩恵をもたらした反面、交通事故や公害問題、渋滞等、新たに解決すべき問題も発生させた。 最近ではこの状況を解決しようと、電気自動車、ハイブリッドカー、燃料電池自動車など エネルギー・地球環境に対応した車の開発が進められている。また自動車と道路のシステムを高度情報化することで、交通問題の解決を図ろうとする計画（高度道路交通システム(ITS)）も進められている。

ITS のシステムの中には、交通情報の提供や経路誘導、車両運行管理などが含まれていて、ITS の導入により、道路混雑の緩和、環境の改善、エネルギーの節約を目的としている。そして、ITS の整備によって、それらの目的がどの程度達成できたかを評価することが必要となってきて，その評価の研究は最近盛んになってきた。　研究上の問題点として１つは道路網における交通流の解析の問題である。交通状況を円滑に運行するためには、刻々の交通状況を把握し、交通流の次の状態を予測できなければならない。そのためには、時々刻々の交通流の変化が交通流モデルで再現できなければならない。流れを OD 別、運転者別、時間別に記述するには、複雑、膨大な演算処理が必要となるという実行上の問題もある。　２つ目には運転者の交通情報に対する反応行動の問題である。運転者には、道路状況を過去の経験から知っている人もいれば、初めて通る人もいる。また提供情報に対しての対応も、情報に従ってすぐに経路変更する人、無視する人と反応も様々である。運転者の行動が道路網交通流に及ぼす効果は大きいが、それらの分析を含んだ交通流の再現・予測の研究が必要である。

現在までなされた交通情報提供による経路選択行動と道路状況を踏まえた交通流の研究には，動的交通量配分モデルと動的交通シミュレーションがある。動的交通量配分モデルでは，運転者は情報に完全に，または確率的に従うと仮定して，均等配分理論に基づいて動的交通量配分を行っている[1-3]。交通配分モデルを使った交通流のシミュレーションでは，運転者が提供情報に完全に従うものとした研究がある[4-6]。これに対して，運転者が現在走行中の経路を取り続ける傾向のあることを取り入れたモデルもある[7]。また提供情報に対する運転者の行動の調査に基づいて，飯田ら[8.9]は，運転者を，経路変更を行わない経路固定層，過去の走行経験に基づいて経路選択する経験利用層，路車間情報システム得られた交通情報に反応して経路選択する情報利用層に分けて，仮想的２次元格子道路ネットワークにおいて，シミュレーションを行った。

一方，交通の流れの基礎理論の研究が再び盛んになってきた。交通流解析に従来から用いられてきた流体力学的手法に加えて，最適速度(OVM)モデル[10]が登場し，追従モデルに新たな進展がみられた。　またセル・オートマトン(CA)モデル[11]では，時間・空間の離散化を行い問題の簡素化をした。さらにＣＡモデルの拡張版の超離散化ＣＡモデル[12]が登場した。 またＯＶＭモデルとＣＡモデルの長所を取り入れたようなセミ離散化モデル，結合写像最適速度モデル[13]も生まれ発展しつつある。

ここでは，交通渋滞の情報を道路上流の車に提供し，経路選択の手助けとなるシステムをＣＡモデルで作れないかという試みを行った。ＣＡでは，道路は１次元格子で表し，離散的時間の経過に従って，車は格子点を移動する。そこで交通渋滞が発生し，車が数珠繋ぎになって停止したとき，その事態を後続車が感知し対応するという状況をＣＡモデルで表すため，車車間の短距離的ルールを定義した。

モデル

ここでは，交通渋滞の情報を道路上流の車に提供する仕業を表すために，セルオートマトンモデルにおける車車間の短距離的ルールを定義した。　セルオートマトンでは，道路は１次元離散的格子で表し，車は離散的時間の経過に従ってその格子点を移動するとする。そこで，交通渋滞が発生し，車が数珠繋ぎになって停止したとき，その事態の情報を後続車が感知し，対応するという状況をＣＡモデルで表そうする試みを行った。

　最初に，１次元１車線の格子状の道路を考える。道路はリング状（周期境界条件）になっているとする。　渋滞を表す量として，第ｎ番の車の道路位置　Ｘｎにおける渋滞時間（停止時間）Ｔn,ｘ　と　渋滞塊中の車数　Ｎｎ（Jam cluster 中の車数）を定義して、次のモデルを検討した。

モデル(１)

渋滞時間（停止時間）Ｔn,ｘ は、格子点Ｘに第ｎ車が前進できなくて、１時間単位停止するごとに１だけ増加するとする。またひとたび前進できたときは、停止時間は０となる。

停止時間の差　　　　　　$\Delta T = T_{n+1} - T_n$　　　　（１）

車間距離　　　　　　　　$\Delta X = X_{n+1} - X_n$　　　　（２）

を与え、車ｎが前進できるのは、先の格子点が空いていて、

$$\Delta T < \Delta X - 1 \qquad (3)$$

なる関係を満足している時、１格子前進できる。

このモデルでは，ｎ番の車は，その直前の車 n+1 番の停止時間が長いときは，大きな渋滞が発生していると感知し，その車にできるだけ近寄らない（接近禁止間隔の設定）というルールを設けている。

モデル(２)

第ｎ番車の前の第 n+1 番の車が巻き込まれている渋滞内の車塊内の数N_{n+1} と車間距離ΔＸに、

$$N_{n+1} < \Delta X \qquad (4)$$

の関係があるとき、第ｎ番の車が１格子前進できる。

モデル(1)では，停止時間で渋滞の大きさを表すのに対して，モデル(２)では，渋滞の大きさは渋滞の塊内の車数でもって表される。そしてその数だけの接近禁止間隔を設けている。

モデル(３)

次に異なった道路システムを取り扱う。１次元道路で，途中で２本の道路に分岐し，さらに先で再び合流するリング状道路を想定する。分岐した道路の１本上で，事故によるボトルネックの発生も設定した(図(2))。　運転者については、異なった運転傾向をもつ２種のグループに分けた。第１グループの運転者は、ルートの交通事情にかかわらず固定したルートを経て前進する。すなわち一定の分岐割合でルート１と２を選択する。第２のグループの運転者は，ボトルネック付近の交通渋滞の情報を得て、その情報を利用して，分岐点でどちらの道路を選ぶか、その選択確率を変える行動を起こすと仮定した。車の運転動作は、分岐した２本のルート上ではモデル(２)で設定した前進モデルに従うとした。

シミュレーションとその結果

モデル(１)　長さＬの格子に、濃度ｐ(=N/L) の車をランダムに初期配置し、parallel Updaate で更新すると、p<0.5 では、いわゆる自由流となって、１格子点ごとの配列となり、各車の停止時間は全て０である。P>0.5 では、渋滞が所々に発生する。渋滞塊の各車の停止時間は、渋滞塊の尻から頭の方へ０，１，２，・・・と増加する。　Random Update では、渋滞の成長、消滅が見られるが、Parallel Update では、式 (3) が有効でなく、車の

移動は全濃度でルール１８４と同じになっている。

モデル（２）　モデル(１)の場合と同じような初期条件で、parallel Updata でシミュレートした。$p<0.5$ では、モデル(1)、ルール１８４と同じである。$p>0.5$ では、2個づつ連なった塊が１格子を隔てて並ぶという構造を持った長い渋滞が生まれる。このモデルは渋滞塊の尻の成長を妨げ、後方に影響を持ち、頭から消滅を待つという効果をもつ。この道路にボトルネックをできた時の効果もシミュレートした。ボトルネックでは、確率的に通過できるとする。通過確率 $r=0.5$ のときの流量と密度との関係（基本図）を図(1)に示す。

モデル(3)　経路固定運転者と情報利用して経路変更する運転者の人数をそれぞれ N_f, N_i ($N=N_f+N_i$)とし、情報利用率 Rimfo を定義する.

$$\mathrm{Rimfo} = N_i / (N_f+N_i) \qquad (5)$$

経路固定運転者、経路選択運転者のルート１の経路選択率を C_f, C_i とし、ルート２の選択率は、それぞれ $1-C_f$, $1-C_i$ とする。ルート２にあるボトルネックでは、車は確率 R_b (<1) で通過するとした。情報を利用して経路選択する運転者の選択率 C_i は、ルート２のボトルネック手前の車の密度 p_b とルート１におけるの車の密度 p_1 の差に比例して決められる.

$$C_i = C_f + a(p_b - p_1) \qquad (6)$$

最初に車はランダムに、配置され parallel Updata で更新した。そして、分岐点から合流点まで、ルート１又はルート２を経て到達するまでの時間を、経路固定運転者、経路選択運転者グループそれぞれについて、平均時間を情報利用率を変えながら求めた。例として、$C_f = 0.5$, $R_b = 0.5$, $p = 2/9$, $a = 0.2$ の場合の結果を図(3)に示した。相対通過時間は、自由流のときの通過時間に対する時間である。結果は、情報利用車が少数のときは、ボトルネックで発生する渋滞のため、平均通過時間が長いが、情報利用車は渋滞を避けるため、経路固定車よりその時間は短い。情報利用車が多いときは、ボトルネックで発生する渋滞は深刻な事態にならず、通過時間は短くなる。その恩恵は、経路固定車にも施され、両者の通過時間の差は、少なくなることを示している。　このような簡単なシステムでは結果は予想できることであるが、情報提供による経路選択行動が交通の円滑な運用に役立つということを示す簡単な例といえよう。

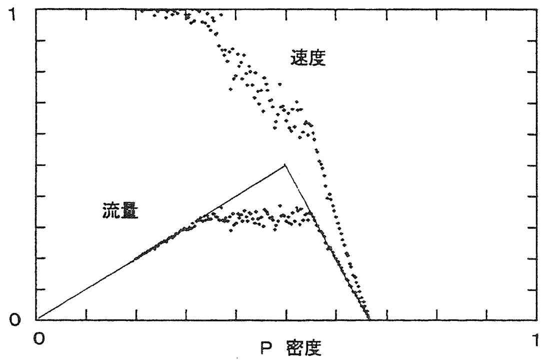

図 1

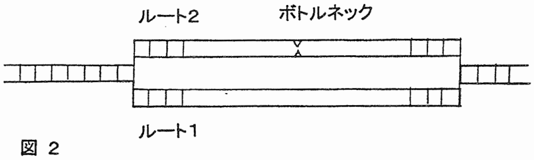

図 2

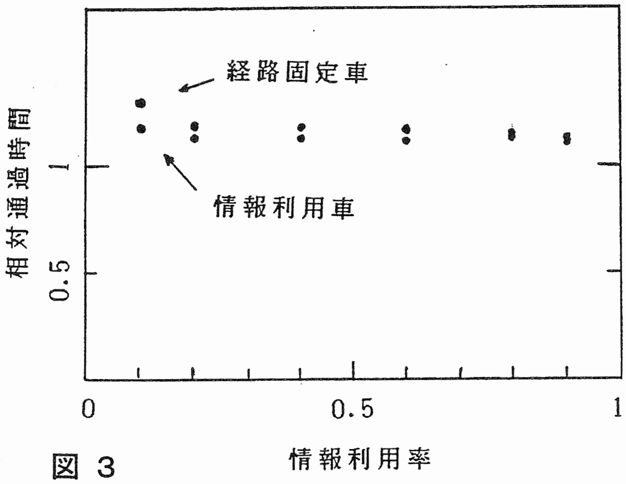

図 3

参考文献
[1]松井寛、丹羽知紀　土木計画学研究・論文集、No. 4, p85, 1986
[2]桑原雅夫　土木学会論文集 No. 419、IV-13, p123, 1990
[3]赤松隆、桑原雅夫　土木学会論文集 No. 488, IV-23, p21, 1995
[4]森津秀夫、松田洋二、市原賢 土木計画研究・講演集 No. 16, p1, 1993
[5]三谷豊、森津秀夫、竹林幹雄、市原賢 土木学会第 49 回年次学術講演概要集 p780, 1994
[6]吉井稔雄、赤羽弘和、桑原雅夫土 木学会第 50 回年次学術講演概要集 p86, 1995
[7]飯田恭敬、宇野伸宏 村田重雄、渡辺健二 土木計画学研究・講演集 No. 16(1), p95, 1993
[8]飯田恭敬、藤井聡、内田敬 土木学会論文集 No. 536, IV-31, p37, 1996
[9]飯田恭敬、藤井聡、内田敬 交通工学 Vol. 31 No. 6, p19, 1996
[10]M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, Y. Sugiyama: Japan J. of Ind. and Appl. Math. 11, p203 1994
[11]M. Fukui and Y. Ishibashi J. Phys. Soc. Jpn. 65 p1867 1996
[12]K. Nishinari and D. Takahashi J. Phys. A31 p5439 1998
[13]S. Tadaki, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa J. Phys. Soc. Jpn. 67 p2270 1998