第IV部門　　マルコフ連鎖による動的ネットワーク交通流配分

神戸大学工学部　学生会員　○石原　雅晃
神戸大学大学院工学研究科　正 会 員　井料　隆雅

1．はじめに

動的な交通流をネットワークに配分する方法としては動的利用者均衡配分があるが，均衡解を必ず解く解法が知られていなかったり，唯一性など望ましいとされる解の性質が保証されていなかったりなど，重要な問題があることが指摘されている．均衡解は Day-to-day ダイナミクスの収束点（の候補）であるという観点から言えば，均衡解そのものを直接求める代わりに，その Day-to-day ダイナミクスを直接計算し，その結果得られる解の軌跡を均衡解の代わりに用いることによって，これらの問題が緩和されることが期待できよう．

本研究では井料 [1]と同様に車両を離散化した動的ネットワーク交通流配分問題を定式化し，車両 1 台 1 台の日々の経路変更を離散マルコフ連鎖でモデル化した．このマルコフ連鎖が吸収点を持てば，それは Nash 均衡に相当する．そうでない場合はその軌跡の特徴を解析する必要がある．テストネットワークによる計算結果を示し，その結果の解析を行う．

2．マルコフ連鎖によるアルゴリズム

離散的な車両をランダムに再配分することで，車両の経路選択行動を離散マルコフ連鎖そのものとしてとらえ，マルコフ連鎖の結果の特徴を解析する．マルコフ連鎖による計算のアルゴリズムを以下に示す．

Step1：需要 OD 交通量の車両を１台１台離散的なものとして扱い，それぞれに OD と出発時間を与え，全車両を最短経路に配分した初期状態を作り，$n=0$ とする．

Step2：配分された車両から 1 台を取り出し現状での最短経路に配分し直す．

Step3：全車両の台数分の Step2.を行い，1 台当たりの平均変化旅行時間を求める．

Step4：経路を変化している車両がなくなればその時の各車両の経路選択状態が均衡状態であるとし，計算を終了する．経路を変更している車両が存在すれば $n=n+1$ として Step2.に戻り，試行を繰り返す．

3．テストネットワークでの計算結果

計算するネットワークとして Iryo[2]が用いている図-1 に示すネットワークを対象とする．このネットワークは複数の均衡状態が見つかっているという特徴がある．各リンクの自由旅行時間，最小車両間隔は外生的に与え，需要 OD についても所与のものとして表-1 に示す．

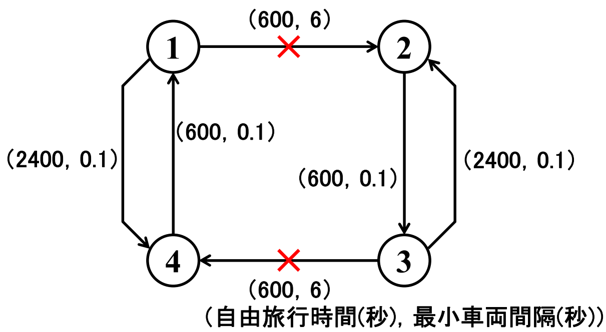

図-1 テストネットワーク

表-1 需要 OD 交通

起点	終点	OD交通量（台）	車両間隔（0.1秒）
1	4	1000	20
3	2	1000	20

計算した結果を表-2 に示す．数回計算を行い，どの計算においても 1000 回の経路変更では吸収点に到達することがなかった．しかし，計算結果の軌跡はある定常な状態に落ち着いていると捉えることもできる．本当に定常な状態であるかを調べるために，次章では試行回数を増やしてボトルネックによる遅れ時間ごとの車両の分布が等しくなるかを調べる．また，マルコフ連鎖の特徴から統計学的に定常性を求める方法を用い，定常性の検討を行う．

Masaaki ISHIHARA, Takamasa IRYO,　1084206t@stu.kobe-u.ac.jp

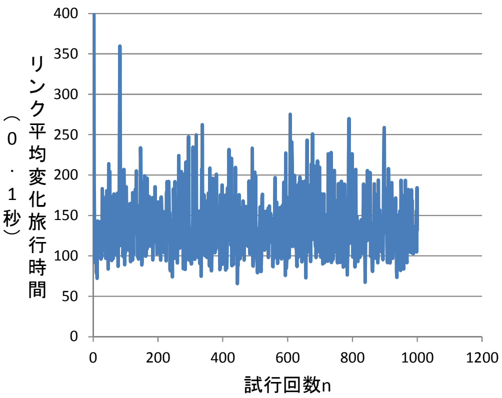

図-2 計算結果

4．解の軌跡が持つ特徴の検証

マルコフ連鎖はエルゴード性を有する場合に定常性が存在するといえる．そこで，時間軸内での各時間区分における分布同士が等しいかと，時間軸間での分布が等しいかを調べることでエルゴード性の有無を確認する．リンクの最大旅行時間を指標とするため，図-1のノード 1 からノード 2 をリンク 1，ノード 3 からノード 4 をリンク 2 とする．

集計のために単位を定める．1 台の経路変更を 1 日，全車両について選択する 2000 日を 1 サイクル，200 サイクルを 1 ターン，480 ターンを 1 チェーンとする．

横軸にリンク 1 の最大旅行時間，縦軸にリンク 2 の最大旅行時間をとり，車両台数のヒストグラムを色の濃さで表し，80 ターンごとの分布を比較する．図-3は第 1 チェーンの①81～160 ターン，②161～240 ターン，③241～320 ターン，④321～400 ターン，⑤401～480 ターンを示している．また，⑥は各チェーンにおける第 81 ターンを 80 チェーン分とっている．

各分布を比較すると，およそ等しいことが見て取れ

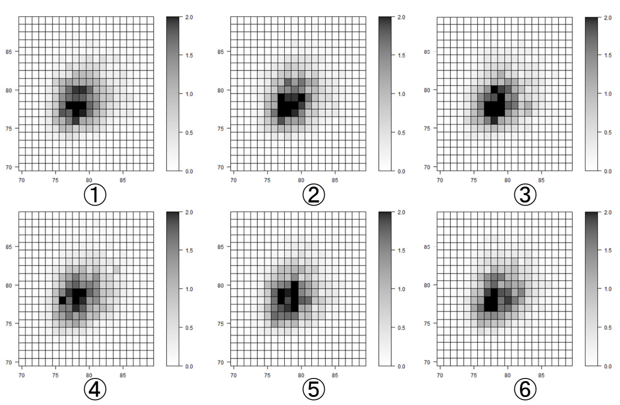

図-3 分布の比較

るため，エルゴード性を有していると考えられる．

Heidelberger and Welch[3]はマルコフ連鎖の安定性を統計的に判断する方法を提案しており，その結果を図-4に示す．p 値が 0.05 以下となるチェーンは存在しないことから，有意水準 5%では定常性があるといえることが確認できる．

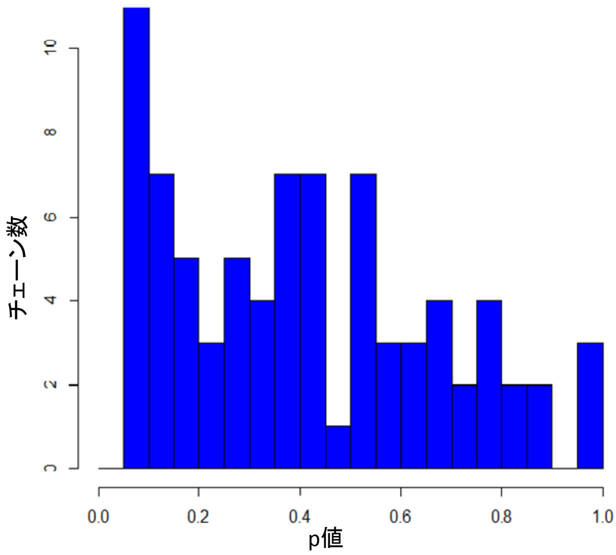

図-4 定常性検定結果

5．結論および今後の課題

Day-to-day ダイナミクスが均衡状態に収束しない場合に，ある定常状態に達している事が確認出来た．均衡状態に達しないのであれば，従来の交通量配分問題の目的である均衡状態を求めるのではなく，到達し得る定常な状態を求める事を交通量配分のアプローチとすることができよう．このアプローチを確かなものとするには，数値的手法に限らず，定常性が担保されることを理論的に証明することが求められよう．

参考文献

1) 井料隆雅：車両を離散化した動的交通量配分問題の Nash 均衡解の解法，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67,No.1,pp.70-83,2011.

2) Iryo.T.: Multiple Equilibria in a Dynamic Traffic Network, Transportation Research Part B 45 (6),867-879,2011

3) Heidelberger.P. and Welch.P.: Simulation Run Length Control in the Presence of an Initial Transient, Operations Research, Vol.31, No.6, 1983