

交通シミュレーションにおけるグリッドロック解消方策の検討*

A proposal of solution for gridlock problem in traffic simulation *

田中伸治**・花房比佐友***・堀口良太****・桑原雅夫*****

By Shinji TANAKA**・Hisatomo HANABUSA***・Ryota HORIGUCHI****・Masao KUWAHARA*****

1. はじめに

交通シミュレーションは、時々刻々と変化する交通現象を解析可能なツールとして、各種の交通施策の立案や評価に近年利用の機会が増大しつつある。しかし交通シミュレーションは現実をモデル化してコンピュータ上に仮想的に表現するものであるため、実世界を完全に再現できるものではなく、さまざまな課題が残っていることも事実である。その大きな課題の一つとしてグリッドロック問題があげられる。

グリッドロックとは、密度が比較的高いネットワークでのシミュレーションにおいて起きやすい現象であり、交通需要がある箇所、またはある範囲に集中することによって、異なる方向へ向かう車両同士が互いに進行を妨げられ、道路が規制されておらず通行可能な状態にあるにもかかわらず、車両がネットワーク上を動けなくなる現象である。図1にシミュレーションにおけるグリッドロックの例を示す。グリッドロックがいったん発生すると、周辺のネットワークにも急速に影響が伝ってネットワーク全体の容量が急激に低下し、最終的にはその機能が失われてしまう。これは適切なシミュレーション分析を行う上で、大きな障害となっている。

そこで本稿では、交通シミュレーションにおけるグリッドロック問題の解決を目指して、問題の特徴を整理し、それに応じた解決策の提案とその有効性の検討を行うものとする。

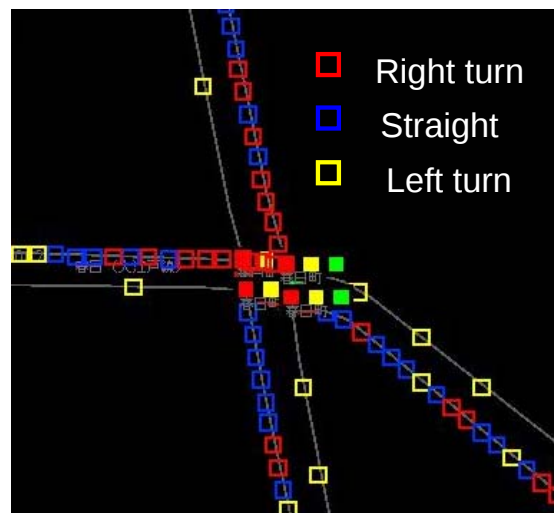


図1 グリッドロックの例

2. グリッドロック現象の整理

まず、交通シミュレーションにおいてグリッドロック現象が発生する仕組みについて整理する。グリッドロック現象は、大きく分けて単一交差点でのグリッドロックと複数交差点（街区レベル）でのグリッドロックに分類できる。

(1) 単一交差点

単一交差点でのグリッドロックは、主に多車線道路同士が交わるような大規模交差点で発生する。DRM（デジタル道路地図）など、交通シミュレーションに用いられるネットワークデータでは通常、多車線道路は上下分離して表現されており、その結果、多車線道路同士の十字交差点では交差点の内部に4本の短い一方通行のリンクが生じることになる。そして、交差点を通行する際に直進車両は1回、右折車両は2回、この短いリンクを通過する（いわゆる二段階右折のような状態）。

ここで、異なる方向から右折車両を含むある程度以上の量の交通があると、右折車両が進もうとする先のリンクが混雑していた場合に右折車両が進行できず（先詰まり）、その滞留が後ろの直進・右折車両の進行を妨げ、この連鎖がループを形成してしまう。これが単一交差点

*キーワード：交通シミュレーション、グリッドロック

**正員、博士(工学)、東京大学生産技術研究所

(東京都目黒区駒場4-6-1、

TEL03-5452-6419、FAX03-5452-6420)

***正員、修士(工学)、(株)アイ・トランスポート・ラボ

****正員、博士(工学)、(株)アイ・トランスポート・ラボ

*****正員、Ph. D、東京大学生産技術研究所

におけるグリッドロックである。図2にその模式図を示す。単一交差点のグリッドロックは、上下分離された多車線同士の交差点であれば、十字交差点に限らず丁字交差点などでも発生する。

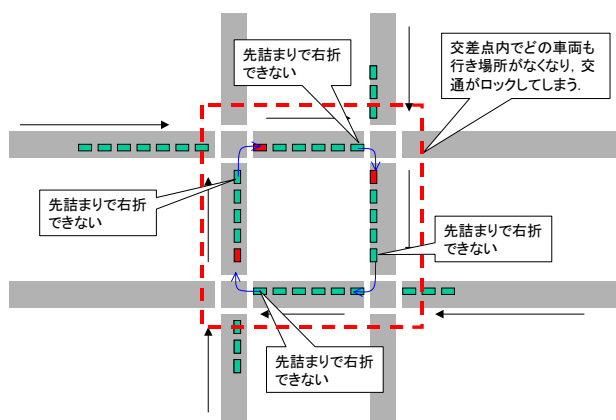


図 2 単一交差点でのグリッドロック

現実の世界においては、上下分離された多車線同士の交差点では、一般に右折車両は互いに内側を転回する構造となっているため、他の車両の影響を受けずに交差点から流出することが可能であり、このようなグリッドロックは発生しない。

（2）複数交差点（街区レベル）

一方、複数交差点を含む街区レベルのグリッドロックとは、都市部のような比較的密なネットワークにおいて、上下分離されていない道路でも発生する。この場合も基本的には先の単一交差点の場合と同じく、異なる方向の交通が互いに交錯する状況において、交差点間隔が小さいために先詰まりによる滞留が連鎖して、街区単位でループを形成することが原因と考えられる。ただし単一交差点と異なり、どの交通が交錯してどこでループが形成されているかを特定するのは一般に非常に困難である。また、経路選択行動モデルの更新間隔がネットワーク交通状況の変化と乖離している場合、既に先詰まりしているリンクへの流入が継続し、グリッドロックが起りやすくなっている可能性もある。

現実の世界では、狭いエリアに交通が集中した場合、グリッドロックに類似した現象は発生するものの、道路が閉塞していない限り交通が完全に停滞することはなく、わずかずつでも車両が動いて時間の経過とともに滞留が解消する。具体的には、車間を通常より詰めたり待ち車両の横を後続車がすり抜けたりといった行動が見られる。また、目の前の先詰まり状況に応じて、遠回りになっても進路を変更する車両もしばしば発生する。現状の交通シミュレーションは、こうした点で実世界を十分に模擬

できているとはいえない。

このような街区レベルのグリッドロック現象について、例えばDaganzo¹⁾はグリッドロックを起こす可能性のあるネットワーク形状を示し、ネットワーク容量が指数的に低下していくことを説明している。その上で、グリッドロック現象に陥るまえに、グリッドロックになりそうなエリアへの流入規制、経路選択の更新を行うなどの対策を提案している。

以上の整理より、グリッドロックが発生しやすい共通の条件として、次の2点をあげることができる。

- 短いリンクで閉じたループが形成されるネットワーク形状であること
- 異なる方向の交通需要が存在すること

3. 解消方策の検討

（1）方針

以上のようなグリッドロック問題への対策としては、大きく分けてデータ側の対策とモデル側の対策の二つが考えられる。データ側の対策とは、グリッドロックが発生しないようにネットワークデータを修正することや、入力OD交通量を調整（削減）することなどがあげられる。この場合、どのデータ要素をどの程度修正するかが課題となる。すなわち、ネットワーク内のどのノード／リンクのデータを修正するか、OD交通量をどの程度削減するかといったことについて、統一的な基準を設けることが重要である。さもなければ、大規模ネットワークでのシミュレーションを行う場合に自動処理を行うことができない。

一方モデル側の対策とは、交通シミュレーション内で用いられるモデルをグリッドロックに対応できるよう改良することである。この方法には、グリッドロック状況ですり抜けを許可するよう車両移動モデルを修正することや、経路選択モデルの更新間隔や更新基準を変更してグリッドロック状況に陥りにくくすることなどが含まれる。この対策の利点は、ネットワークデータによらず改良したモデルを適用可能な点にあるが、モデルに組み込む普遍的なルールを見出すことは簡単ではない。

以上をまとめたものを表1に示す。

表 1 グリッドロック問題への対策

対策	メリット	デメリット
データ側	問題箇所に応じた適切な修正が可能	ネットワークが大規模化すると修正が困難
モデル側	ネットワークの規模によらず適用可能	普遍的なルールを構築することが困難

(2) 単一交差点

前述したように、実際の交差点では右折車両は互いに内側を転回する。そこでこれを模擬するために、図3に示すように交差点内の対角方向に仮想リンクを設定することを考える。この仮想リンクを用いると、右折車両は他の方向の交通に干渉されことなく、直接交差点から下流リンクへ流出することが可能になる。

この方法は、ネットワークデータの修正を必要とするものであるが、DRMではこのようなリンクには「交差点内リンク」のフラグがついており、そうでない場合でも「ループを形成する一方通行の短いリンク群」という条件で自動的に抽出することが可能である。そのため、この対策は大規模ネットワークに対しても適用可能と考えられる。また、交通シミュレーションではボトルネック容量を適切に管理することがシミュレーションの再現性確保のために極めて重要であるが、この方法では各方向の通過交通量は、リンクごとに容量を管理することができるため、この改善により交差点交通容量の再現性が影響を受けることはない。

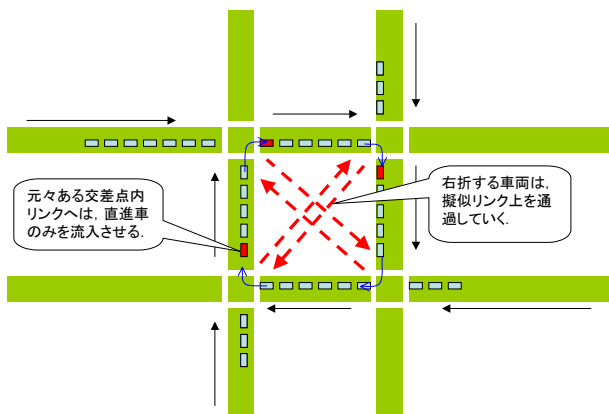


図 3 仮想リンクの追加

(3) 複数交差点（街区レベル）

街区レベルのグリッドロックでは、そのエリアに流入する交通の方向を特定することができないため、前述のようにネットワークデータを修正して仮想リンクを設定するような方法をとることは難しい。そこで、モデル側の対策を考える必要がある。

まず考えられる方法は、経路選択モデルの実行間隔を短くするというものである。通常交通シミュレーションでは車両移動のスキャンインターバルとは別に、それより長い時間間隔で経路選択アルゴリズムを実施し、各車両の経路選択行動を模擬している。すなわち、ある時点で経路選択を行った結果が、その後しばらくは維持され、各車両はその間選択された経路にしたがって進行する。そのためこの両者に乖離があると、先詰まりが発生して

いるリンクに車両が流入を続けるような状況が起こる可能性があり、これはグリッドロックの発生に極めてつながりやすい。そこで経路選択の実行間隔を短くすれば、この危険性を減らすことが可能になる。この方法は因果関係が明確で効果も確実に期待できるが、一般に経路選択は交通シミュレーションの計算時間のかかなりの部分を占めているため、この実行間隔を短くすることは計算時間の大幅な増大を招くことになり、特に大規模ネットワークでのシミュレーションにおいては適用することが難しい。

別の方法としては、車両が次のリンクへ流入する際に流入先リンクの状況をチェックし、先詰まりなどが発生している場合は経路選択アルゴリズムの結果とは関係なく空いているリンクへ進路を変更する、というものが考えられる。これは現実の世界で先詰まりがある際に見られる行動を模擬するものであるが、すべての車両にこのルールを適用すると、渋滞がリンクを超えて延伸することがなくなってしまうため、現況再現性の面で問題が生じる可能性がある。

4. 効果の検証

グリッドロック対策の効果検証として、単一交差点において対角の仮想リンクを設定する対策を適用した効果を検証した。図4に示すような仮想的な十字交差点において、仮想リンクを設定する前後でシミュレーションを実施して比較した。その結果、対策後は対策前の入力OD交通量より大きいOD交通量でもグリッドロックは発生せず、対策の効果を確認することができた。

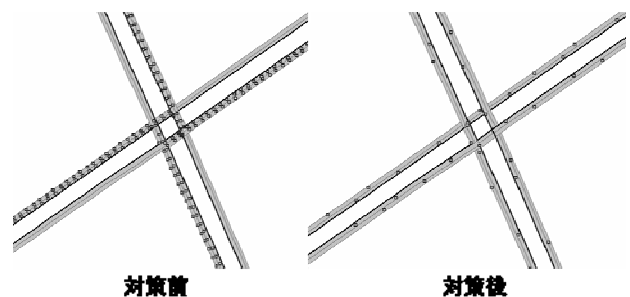


図 4 対策の検証

また、一般ネットワークにおいても、仮想リンクを設定する修正を行ったネットワークデータによるシミュレーション検証を行った。シミュレーション条件は次のとおりである。

- 適用シミュレータ：SOUND
- シミュレーション範囲：東京都23区ネットワーク
- リンク数：5000以上
- シミュレーション時間：3時間

- 評価方法：セントロイド滞留台数（セントロイドからネットワークへ流出できない車両の総台数）

このネットワークでOD交通量を通常より過大に与えてシミュレーションを行った。その結果、対策前のセントロイド滞留台数約23万台に対して、対策後は滞留台数約22万台となり、約1万台の改善効果を得ることができた。対策後も滞留台数が依然大きいことについては、そもそもOD交通量が過大なせいもあるが、街区レベルのグリッドロックが解消されていないことが大きな原因であり、この点についての有効な対策が今後必要である。

5. まとめ

本稿では、交通シミュレーションの実務上大きな課題となっているグリッドロック現象を取り上げ、現象の整理を行いその解決のための対策を提案した。そしてそれを適用したシミュレーション検証により、対策の効果を確認した。

本稿で提案した仮想リンクを設定する方法は、確実に効果が見込まれ、かつ比較的単純なルールで自動処理が可能のため、大規模ネットワークへの適用も含め有効な対策になるものと考えられる。一方、街区レベルのグリ

ッドロックへの対策については、効果は期待できるものの適用による副作用も大きく、抜本的な対策として有効とは言いがたい。街区レベルのグリッドロックは現象が複雑で要因に不明確な部分も多く、今後発生過程の詳細な分析などをさらに進め、有効な対策を検討する必要がある。

その他の今後の課題としては、本稿で述べたような全般的な対策とあわせて、グリッドロックが発生した場合に適用モデルを切り替えるような即応的な対策も検討することが必要と考えられる。そのために、シミュレーション実行中のグリッドロックの発生を自動的に検出する手法や、発生したグリッドロックの影響範囲を特定する手法を確立することなどが求められる。

参考文献

- 1) Carlos F. Daganzo, Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches, Transportation Research Part B 41 49–62, 2007