

# 広域道路網交通流シミュレータ SOUND/4U の概要

株式会社アイ・トランスポート・ラボ

## 1. シミュレーションモデルの概要

「広域道路網交通流シミュレータ SOUND/4U」は、東京大学生産技術研究所で開発された交通流シミュレーション「SOUND (Simulation on Urban road Network with Dynamic route choice)モデル」をもとに、(株)アイ・トランスポート・ラボで商用化した市販の交通流シミュレーションソフトウェアで、以下のような特徴が挙げられる。

- 渋滞現象のダイナミズムを考慮しており、過飽和の交通状況を再現できる。
- 静的／動的な経路選択モデルを内包しており、ITS(高度道路交通システム)における情報提供や動的経路誘導などの運用策の評価が可能である。
- 車種などの各種の属性を付与した個別の車両を扱うので、対象車両を限定した交通運用施策の評価が可能である。
- リンク毎に与えた交通量－密度(Q-K)特性を用いて車両移動の計算をするマクロなモデルであり、計算負荷が小さいため、大規模なネットワークに適用可能である。

SOUND/4U が評価の対象としている交通運用策の、主なものを以下に挙げる。

- 右折禁止や一方通行などの交通規制の変更。
- 信号制御パラメータの変更。
- イベントや災害時における一時的な通行止め、あるいは流入制限。
- 情報提供による経路変更の促進や迂回誘導。

以下では、SOUND/4U(以下、単に SOUND と呼ぶ)のシミュレーションロジックについて概説する。

## 2. モデルの基本概念

### 2.1. 基本構造

SOUND は車両移動モデルと経路選択モデルが、図 1 のように、交互に逐次動作する時間スキャン型のシミュレーションモデルである。これにより、車両移動モデルで再現された交通状況を基に、各リンクの渋滞状況を考慮した経路選択を実現している。

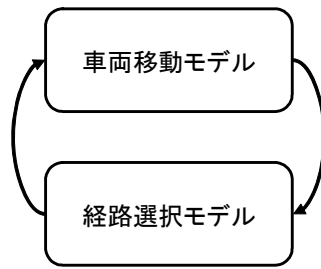


図 1 車両移動モデルと車両選択モデルが相互に影響し合って動作する。

## 2.2. 車両移動モデル

### 2.2.1. 車両の発生とネットワークへの流入

SOUND/A-21 では、指定された車両発生時間帯において、一様到着またはランダム到着のいずれかを仮定して、各スキャン毎に車両パケットを起点セントロイドから流入させる。セントロイドで発生した車両パケットは一旦バッファ領域に入れられた後、下流の接続リンクが車両を受け入れ可能な状態であれば、その上流端から流入する。リンクが渋滞しているなどの理由で、車両パケットを受け入れ可能でない場合は、バッファ領域で待機する。したがって、ネットワークの外に渋滞が延伸する場合は、起点セントロイドに待ち行列が形成されるので、遅れ時間を厳密に評価することができる。

### 2.2.2. リンク上の車両移動

SOUND では、道路上の車両は、図 2 に示すような「先入れ先出し方式」の待ち行列で管理される。リンク上を走行する車両パケットは、①自由走行車両パケットと、②流出可能車両パケットに区別され、それぞれ別の待ち行列で管理される。すなわち、リンクに流入した車両パケットは、まず①のリストに入れられ、リンクに流入してから経過時間が当該リンクの自由走行時間を超えたものについては、②のリストに移動させられる。

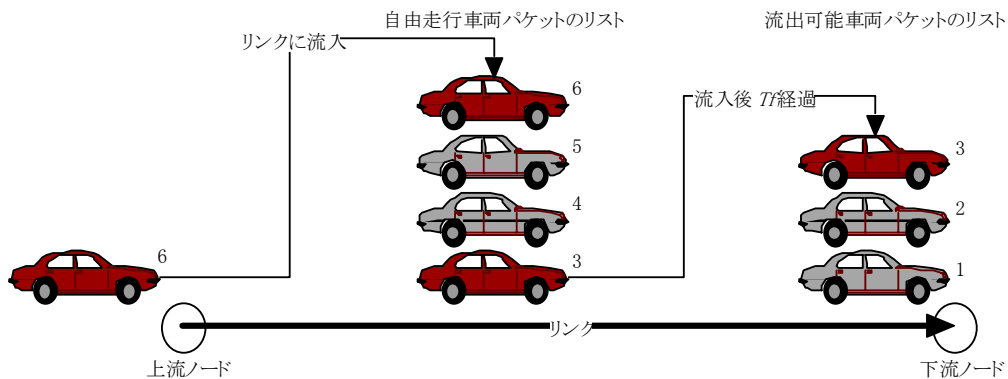


図 2 シミュレーションモデル SOUND/A-21 での車両移動モデルの概念

ただし、ジャム密度での滞留台数を上限値とした、単純な滞留台数の制約付き待ち行列を使った方式では、一般的な交通量-密度 (Q-K) の関係を厳密に扱っていないことになる。SOUND では、高速道路を対象としたり、信号交差点での滞留車列が渋滞時に延伸していく様子を再現するために、図 3 のような Q-K 関係で交通流を厳密に管理できるようなロジックを、通常の待ち行列シミュレーションに追加している。

すなわち、待ち行列で交通流を管理しながら、図 3 のような、三角形で近似された Q-K 関数に従って、厳密な密度管理を行えるよう、Newell によって考案された Simplified Kinematic Wave アルゴリズムを実装しているものである。これは図 4 のように、累積交通量図上で、リンク下流端の流出交通量累積曲線を、一定量だけ右上にシフトした線と、上流端での到着交通量累積曲線との図式的な関係から判断する、非常に簡素なアルゴリズムとなっている。図の例では、流出交通量をシフトした赤い点線よりも、到着交通量累積曲線が上回る青い点線分は、当該リンクに流入できず、上流側に滞留する。

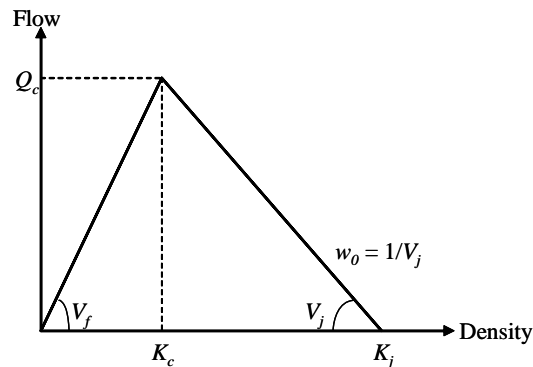


図 3 渋滞流の密度管理を考えた交通量－密度の関係

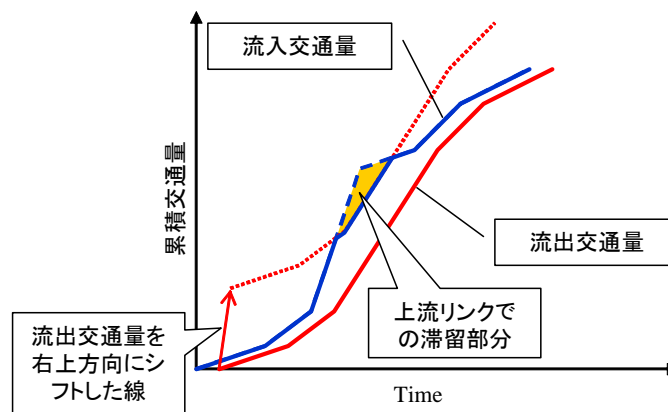


図 4 Simplified Kinematic Wave の考え方

### 2.2.3. リンク間での車両移動

リンク間の車両移動量は、各スキャン毎に

$$\text{リンク間の車両移動量} = \text{Min}(\text{下流リンクの受け入れ可能量, 上流リンクの流出可能量, 当該リンクペアの飽和交通流率}) \times \delta$$

の制約を満たすように計算される。δ は信号制御や、右折車の対向直進交通へのギャップアクセプタンスにより、リンクペアが通行可能な場合は 1、不能であれば 0 となる変数である。この制約により右折も含めた信号交差点での方向別容量が正しく再現される。

ただし、実際に車両を移動させるかどうかは、実現象における車両ブロッキングの状態を考慮する必要がある。これは、右折専用付加車線における滞留の長短により、後続車両の走行が阻害されるかどうか

変わるもので、シミュレーションでは次のようなロジックで対処する。

すなわち、図 5 左のように右折の付加車線に滞留している車両(番号は右図のリスト内での順番)が、対抗直進交通などの影響で下流リンクに進行できない場合、流出可能車両パケットのリストを厳密に FIFO 原則に従って管理していると、4 番目以降の車両は次のリンクに進行できなくなるため、一時的に FIFO 原則を崩して、それ以降の車両が流出できるようにするものである。この図の場合は、右折付加車線に 2 台までしか滞留できないので、5 台目までの直進車両は流出できるが、6 台目の右折車両は本線をブロックしていると考えられ、それ以降の車両は流出できなくなる。

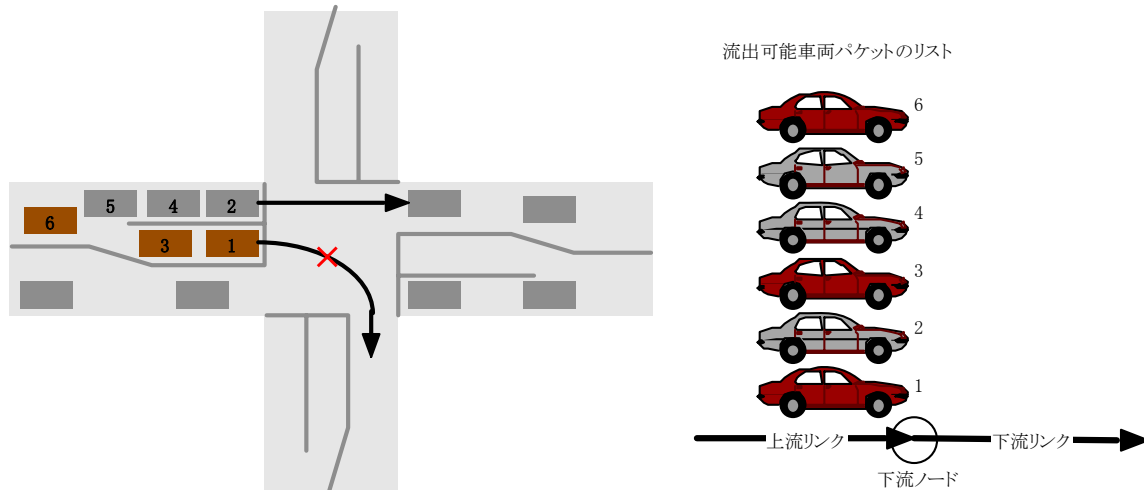


図 5: 実際の交通状況と流出可能車両パケットリストの対応

### 2.3. 経路選択モデル

SOUND の経路選択モデルの概要は、表 1 の通りである。ここで、ロジット型確率経路選択とは、次式で求められる確率に従うものである。

$$p_k = \frac{\exp(-\theta \cdot C_k)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\theta \cdot C_i)}$$

- ここで、 $p_k$  : 経路  $k$  の選択確率。  
 $c_i$  : 現在地点から目的地までの経路  $i$  のコスト。  
 $\theta$  : 感度パラメータ。

表 1 SOUND の経路選択モデル概要

項目	内容
リンクコスト	以下の項目に係数をかけて和した一般化コスト. <ul style="list-style-type: none"> <li>・リンク長(m)</li> <li>・現在の旅行時間(秒)</li> <li>・右左折回数</li> <li>・固定料金(円;時間価値で換算される)</li> <li>・従量制料金(円/km;時間価値で換算される)</li> </ul>
リンクコストの更新間隔	任意の時間ごと。(指定パラメータ) 通常は, 5~15 分程度とすることが多い.
経路選択のタイミング	以下の 3 つのタイミングで経路選択する. <ul style="list-style-type: none"> <li>・出発時</li> <li>・リンク上流端流入時</li> <li>・リンクコストが更新されるタイミング.</li> </ul> すなわち, ネットワーク流入後も, その時点での状況に応じて, 各車両は走行する経路を更新する仕組みとなっている.
経路選択原理	以下の 2 種類が用意されている. <ul style="list-style-type: none"> <li>・最小コスト経路選択</li> <li>・ロジット型確率経路選択</li> </ul>
利用者層の属性	車両グループ(利用者層)ごとに, 以下の属性を変えることができる. <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般化コストの距離項と時間項の係数</li> <li>・右左折ペナルティ(秒/回)</li> <li>・時間価値(円/分)</li> <li>・ロジット型選択の感度パラメータ</li> </ul>

## 2.4. 入力項目

### 2.4.1. シミュレーション設定

シミュレーションの実行に必要な情報を入力する.

- シミュレーション対象時間帯
- 単位スキャン時間, 車両発生間隔, 結果集計間隔
- ネットワークの規模1, パケットサイズ2

### 2.4.2. ネットワークデータ

SOUND ではデジタル道路地図(DRM)をもとにネットワークデータを作成する. DRM の持つ情報に加えて, シミュレーションで必要となる情報は次の通りである.

<sup>1</sup> ノード数, リンク数, セントロイド数など.

<sup>2</sup> SOUND は 1~数台の車両をまとめたバケットを移動単位としている.

- 車線構成(本線車線/右左折付加車線)
- リンク交通特性パラメータ(次節)
- 通行禁止リンクペア
- 通行料金

### 2.4.3. リンク交通特性パラメータ

SOUND ではリンクに交通特性を与えて、車両密度の管理を逐次的に行う。交通特性を決定するパラメータは次の通りである。

- 本線容量 [pcu/時/車線]
- 自由流走行速度 [km/時]
- ジャム密度 [pcu/km]
- 下流端での右左折直進別飽和交通流率 [pcu/有効青 1 時間/車線]

### 2.4.4. セントロイド情報

シミュレーションでは交通発生集中点として、ネットワーク端点および街区レベルのゾーン毎にセントロイドを設定する。このため、次のような道路ネットワークとセントロイドの接続情報(図 6)を入力する。

- 端点ノードと端点セントロイドの対応
- ゾーン内、あるいはゾーン境界のリンクとゾーンセントロイドとの対応

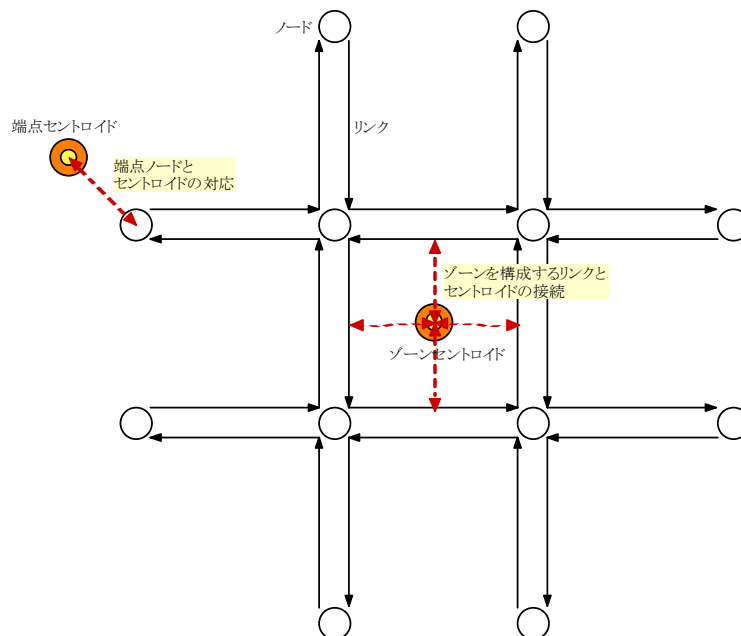


図 6: 道路ネットワークとセントロイドの関係

### 2.4.5. OD 交通量

SOUND では任意の間隔で発生させる OD 交通量をペア毎に指定する。

- 一定時間毎の、車種別、経路選択行動別、その他の属性別 OD 交通量

#### 2.4.6. 経路選択層

SOUND では複数の経路選択行動を指定できる。経路選択行動のパラメータとして、以下の項目を入力する。

- 確率的経路選択／最小コスト経路選択
- 一般化コスト式(経路距離, 経路旅行時間, 右左折ペナルティの線形和)
- ロジットの感度パラメータ(確率的経路選択の場合)

#### 2.4.7. 信号制御パラメータ

交差点には信号を設置することができる。入力情報は次の通り。

- 信号制御機番号と設置交差点番号の対応
- 一連の現示ステップ
- 各ステップのスプリット時間

#### 2.4.8. 交通規制データ

シミュレーションで評価する対象となる施策のうち、一時的な通行止め規制および車線規制による流入制御を、シミュレーションへのイベントとして入力する。

- 通行止め規制…対象リンク, 対象車種, および時間帯
- 車線規制…対象リンク, 閉鎖車線数, および時間帯

### 2.5. 出力項目

#### 2.5.1. 集計指標

シミュレーション計算終了後に、集計時間毎に次の基本的な指標を出力する。

- 車種別・進行方向別リンク通過交通量
- 進行方向別リンク平均旅行時間
- リンク上の滞留台数
- セントロイド上の滞留台数

#### 2.5.2. 個別車両の指標

走行車両の一部をプローブとして指定することで、車両走行軌跡を出力することができる。

- プローブ車両が走行したリンクおよびリンク流入時刻の履歴