

交通流シミュレーションの標準検証プロセス

Verification マニュアル(案)

平成 14 年 6 月 (第 2 版)

(社)交通工学研究会

交通シミュレーション自主研究委員会

simulation@jste.or.jp

交通流シミュレーションモデルの標準検証プロセス

~ Verification マニュアル (案) ~

1.はじめに

このマニュアルは、交通流シミュレーションモデルの開発において、モデルが備えている交通状況の再現能力を評価するために必要とされる、標準的な検証プロセスについて解説するものである。これまでも数多くの交通流シミュレーションモデルが開発されているが、それぞれが独自に検証されていたり、あるいは検証のプロセスが広く認知されていないがために、モデルの性能を相互に比較することができず、開発者以外の利用者が目的に応じてモデルを選択することが困難な状況であった。各モデルが標準的な検証プロセスという共通の土俵で比較されるようになれば、これらの利用者に判断材料を提供することとなり、ひいては交通アセスメントなどの実務におけるシミュレーションの利用を促進させることにもつながる。同時にモデル開発者にとっても、その開発段階においてモデルの挙動を明らかにし、機能を確認することができるという面でのメリットが得られる。

モデルの検証プロセスは大きく2つの段階に分けられる。一つはモデルが考慮している交通現象の再現性を評価するために、その現象が顕著に出現するような仮想データセットにモデルを適用した結果を、理論値と比較するものである。もう一つは、様々な交通現象が含まれている現実の交通状況を、シミュレーションの設定やモデルパラメータを妥当な範囲でキャリブレーションすることで、モデルが総合的に再現することができるかどうかを評価するものである。ここでは前者を verification、後者を validation と呼んで区別している。Validation ではシミュレーションの入力となる交通需要や交通運用に関するデータ、および結果と比較される交通状況を示すデータの信頼性が高い実測データを用いなければならない。このようなデータを収集することはモデル開発者にとって大きな負担となっており、validation の妨げとなっていた。そのため、モデル開発者が共通して validation に利用できる、再現性の検証用ベンチマークデータセットの構築が進められている。このマニュアルではとくに verification の標準プロセスを詳細に規定し、validation の進め方については概要を示すにとどめる。具体的な validation の内容については別途「標準ベンチマークデータセットマニュアル」を参照されたい。

本マニュアルでの verification の主旨は次のようにまとめられる。

・この verification はいわゆるネットワークシミュレーションモデルを主な対象としている。これはサグや織り込み区間を対象とした局所的なシミュレーションモデルが、問題とする交通現象をより精緻に解析し、より精密なロジックを構築しようとするアプローチで開発されているのが一般的であるのに対し、ネットワークシミュレーションモデルでは、交通状況を総合的に扱うため、さま

さまざまな現象を「単純化」してモデリングすることが一般的であるためである。

すなわちシミュレーションモデルのロジックがブラックボックス化しており、文献からだけではすべてを把握することは困難なため、開発者以外にはその特質が不明であるという問題が背景にある。

実データをつかってモデルの総合的な再現性の良否を議論する前に、交通工学において重要度の高い現象がどのようにモデリングされているかを明らかにし、本当にその通りに再現されているかを個別に確認することが必要である。

Verification によってモデルの優劣を比較するのではなく、モデルの特性を明らかにすることが目的である。

モデル挙動が、そのシミュレーションモデルの適用範囲において十分な(=実用的な)再現性を持っているかどうかは、次の validation の段階で議論される。

以下では、特に断りなくシミュレーションモデルという場合は、ネットワークシミュレーションモデルを指すものとする。

本マニュアルの内容は次の通りである。まずシミュレーションモデルの標準的な開発プロセスにおいて、検証プロセスがどのように位置づけられるかについて述べる。次にシミュレーションモデルが考慮すべき重要な交通工学的な現象についてした後、標準検証プロセスについて、各ステップでの仮想データの設定を具体的に示しながら解説する。

2.シミュレーションモデルの開発プロセス

シミュレーションモデルの一般的な開発プロセスは、図 1 に示すような工程を含むフローとなる。それぞれの工程がどのように位置づけられるかについて、以下で説明する。

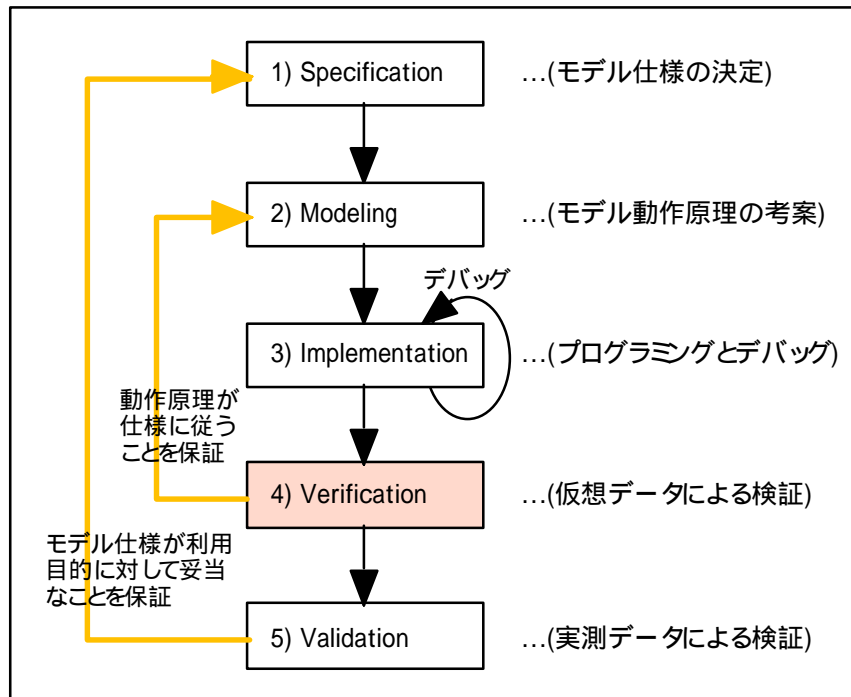


図 1 :シミュレーションモデルの一般的な開発プロセス

1) Specification... (モデル仕様の決定)

利用者の立場からみると、シミュレーションモデルは入出力で規定されるブラックボックスと捉えることができる。このようなモデルが一般に広く使われるためには、その仕様、すなわちシステムの入出力項目とシステムが保証している挙動、についての共通認識が形成されなければならない。このためモデル仕様の決定には、ニーズや利用目的を考慮して要求事項を整理し、さらにどのような交通現象を扱うかどうかを判断する必要がある。

2) Modeling... (モデル動作原理の考案)

モデル動作原理の考案とは、1)でのモデル仕様を満足するようなアルゴリズムを構築し、モデルにどう組み込むかを決定する工程である。ここはモデル開発者の独創性によるところであり、同じ仕様に従っていても、モデルによって異なったアルゴリズムで動作する場合もある。

3) Implementation... (プログラミングとデバッグ)

この工程には 2)で考案した動作原理を計算機上を実現するプログラミングと、それがアルゴリズム

通りに動作していることを確認するためのデバッグが含まれる。一般にデバッグは検証とは質の異なる作業として区別されるべきである。

4) Verification... (仮想データを用いた検証)

この工程は、3)の成果としてのプログラムが、1)でのモデル仕様において考慮されている交通現象を再現できることを確認し、ひいては 2)での動作原理が正当であることを証明するものである。この場合、シミュレーション結果と比較する対象となるのは、すでに交通工学的に確立された理論であり、しばしばマクロ的な指標で現象を説明するものである。モデルの開発においては、この工程は開発者の義務だといえる。一般に verification では注目する交通現象を一つ一つ切り出して検証する必要があるため、データの精度や入手の容易さなどの現実存在する諸々の制約を受けないよう、理想的な条件を備えた仮想データを用いて行われる。

5) Validation... (実データを使った検証)

この工程では、そのモデルの実用性を評価するために、実世界において得られるデータを用いて、設定したモデル仕様が妥当であるか、あるいはモデルの出力項目の精度が十分なものであるか、シミュレーションの設定やモデルパラメータを妥当な範囲でキャリブレーションできるか、などを検証する工程である。たとえ 4)の verification においてモデル動作原理の正当性が検証されていても、モデル仕様そのものが不十分だったり、あるいは入力データの現実的な精度やアクセス性が問題となり、実際の交通状況を十分に再現できない場合などは、モデルの実用性があるとは言えない。さらに、実用に足る時間内で実行可能か、適切な規模のハードウェアで稼働するかなど、システムとしてのモデルの性能についても確認されるべきである。Validation ではシミュレーションの入力となる交通需要や交通運用に関するデータ、および結果と比較される交通状況を示すデータの信頼性が高い実測データを用いなければならない。このようなデータを収集することはモデル開発者にとって大きな負担となっており、validation の妨げとなっていた。そのため、モデル開発者が共通して validation に利用できる、再現性の検証用ベンチマークデータセットの構築が進められている。それぞれのモデルを「共通の土俵」で比較できるという利点もあるため、精度のよい実測データとして信頼性が広く認知された「標準ベンチマークデータセット」を用いて validation を実施することがモデル開発者に期待される。

3.シミュレーションでモデル化されるべき交通現象

ここでは以下にあげる基本的な交通現象をモデル化することが、どのようなアプリケーションで重要となるかを考察する。また、それぞれの現象を説明する理論との対応を挙げ、次章で述べる標準検証プロセスの具体的な手順を決める手がかりとする。

1) 車両の発生

シミュレーションの実行には、スタディエリア外からの車両の到着分布に従って、流入端において交通を発生させることが必要である。到着分布にどのようなパターンを想定して車両を発生させるかは、対象とする道路種別や交通量の大小に応じて選択されるべきである。一般には次のようなパターンが考えられる。

- a) ランダムに車両が到着する...高速道路を対象とする場合など、エリア外で整流を受けない交通の到着パターンは、車頭間隔がランダムに分布する到着パターンが想定できる。交通量が小さく、各車両が互いに影響を及ぼさず独立に走行している状況では、ランダム到着の車頭間隔は指数分布に従う。交通量が大きくなり、近飽和状態に近づくと、独立な車頭間隔の前提が崩れ、一般にアーラン分布に従うとされる。一般街路を対象とする場合でも、到着のランダム性を考慮する場合としない場合とで、流入端に隣接する交差点で被る遅れ時間に差がでるため、このパターンを採用するモデルも多い。
- b) 一定間隔で車両が到着する...エリア外で人為的あるいはボトルネックにより整流を受けた交通が到着することを想定した場合、車頭間隔は一様分布する。乱数系列を扱う必要がなく、インプリントが容易であるため、一様到着を採用しているモデルもある。
- c) 車群がある間隔で到着する...エリア外に近接する信号交差点の影響を受け、車群がある間隔で到着すると仮定した場合、ランダム到着のような理論はないが、独自の数学モデルでこのような到着パターンを考慮するモデルもある。

2) ボトルネックの容量 / リンク下流端の飽和交通流率

一般に、高速道路でのサグや車線閉塞区間、合流部などの渋滞の先頭となっているボトルネック区間の直下流では、一定の交通流率、すなわちボトルネック容量が安定して観測される。ボトルネック容量の再現性は、渋滞で被る遅れ時間の再現精度に大きく寄与することは、図 2 のような point-queue¹で表現される簡単なモデルで説明される。すなわちボトルネック容量 C^* を超えるピークを持つ需要 $A(t)$ がリンク上流端に与えられたとき、ボトルネックへの到着 $A'(t)$ は待ち行列に長さがないため、リンクを自由流で通過するのに要する時間 t_f だけ $A(t)$ を時間軸方向にシフトして得ることができる。このとき、リンクから流出する交通量 $D(t)$ の累積曲線の最大の傾きは C^* で制限されるた

¹ 車両を長さを持たない仮想的な点とするため待ち行列も長さを持たない。FIFO(first-in-first-out)原則と最大流率の制約だけでフローを管理するモデル。長さの概念を持たないため、リンク内には無限に車両が存在でき、渋滞の

め、ピークにおいてはボトルネック到着の累積交通量曲線から乖離する。この乖離した部分の面積 L が、ボトルネックによる総遅れ時間となるが、この量はあきらかにボトルネック容量の値に大きく依存している。したがってシミュレーションモデルはボトルネック容量が安定して再現されることが必要不可欠であることは明白である。

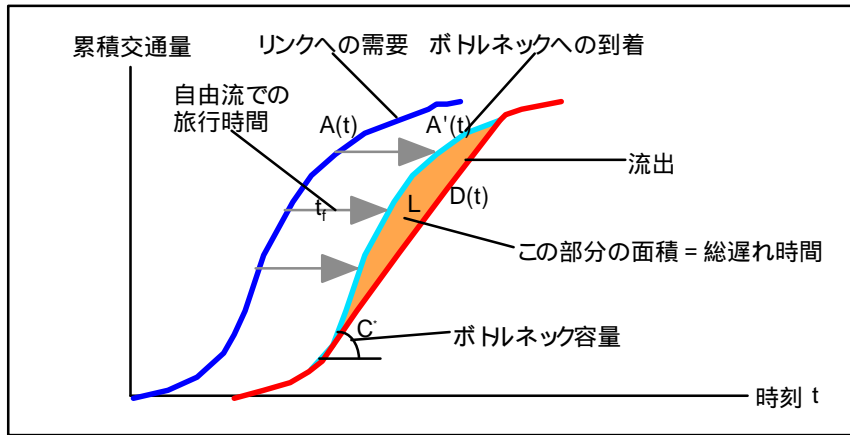


図 2 Point-queue を用いた遅れ時間の評価の概念図

一方、街路では信号交差点がボトルネックとなる場合がほとんどである。信号交差点では、赤現示の間に滞留した車両が青現示になって流出する際に、数秒が経過した後、ある一定の流率、すなわち飽和交通流率で流出する現象が観測される。図 3 は一般的な信号交差点での青現示の始まりからの流出パターンを示したものである。赤信号の間に滞留していた車両が捌けるまでは、飽和交通流率で流出し、その後は上流からの到着の流率になる。その後黄色が始まってから徐々に流率は低下し、赤現示になってゼロすなわち停止する。リンク下流端での飽和交通流率の再現性は、信号交差点での遅れ時間の再現精度に大きく寄与するため、シミュレーションモデルがこの現象をどのようにモデル化しているかを明らかにすることは重要である。

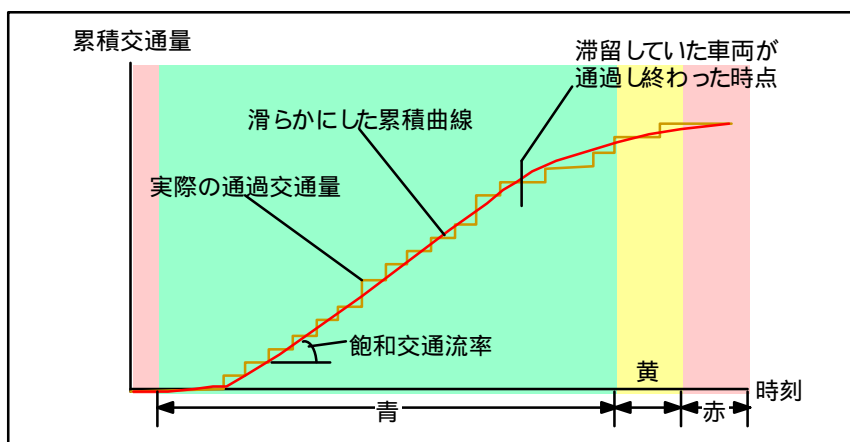


図 3 信号交差点における 1 サイクルの流出パターン概念図

延伸を考慮していない。Vertical-queue と呼ばれるときもある。

3) 渋滞の延伸と解消およびショックウェーブの伝播速度

ボトルネックを先頭として渋滞が上流リンクにまで延伸した場合,そのボトルネックを通過する必要のない交通までが影響を受ける(図 4).この現象を再現するためには,妥当な交通流特性,すなわち交通量 - 密度関数に従って渋滞流の密度管理をする physical-queue を扱うことがシミュレーションに求められる. Physical-queue で渋滞が延伸/解消する速度は,ショックウェーブ理論により図 5 のように,上流から到着する需要とボトルネック容量の関係で説明される.渋滞が延伸/解消する速度が違えば,上流側でボトルネックに関係のない交通が受ける影響の度合いが違ってくるため,シミュレーションモデルはこの渋滞の変化を正しく再現することが重要視される.

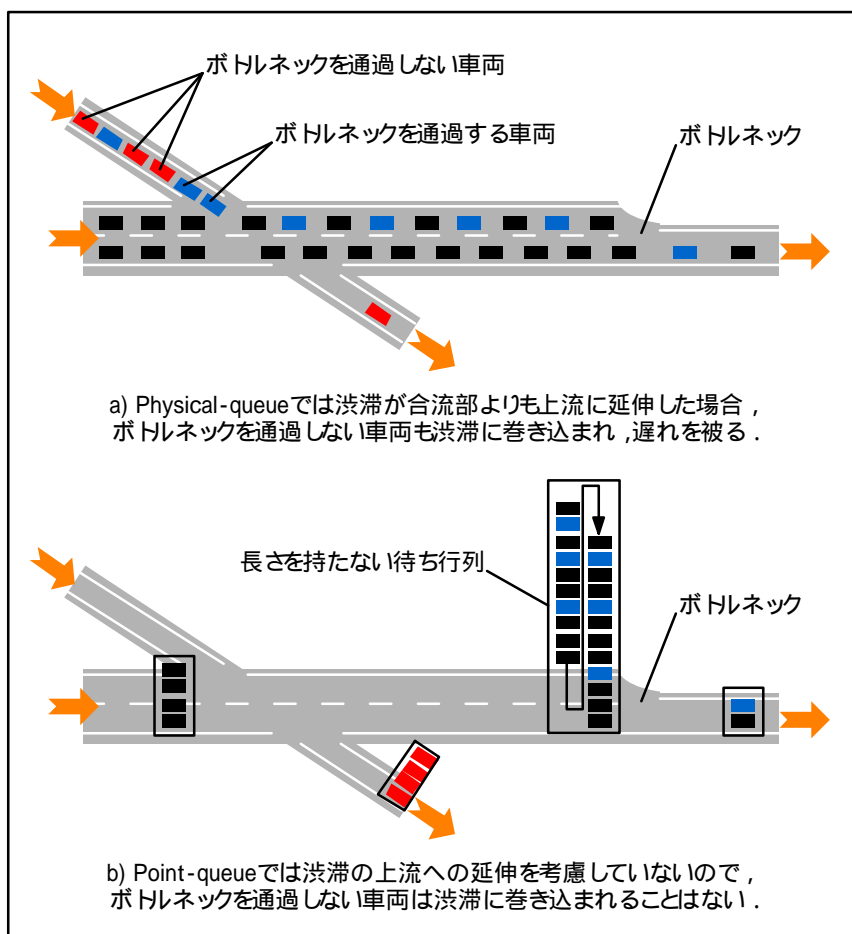


図 4 Point-queue とphysical-queue の違い

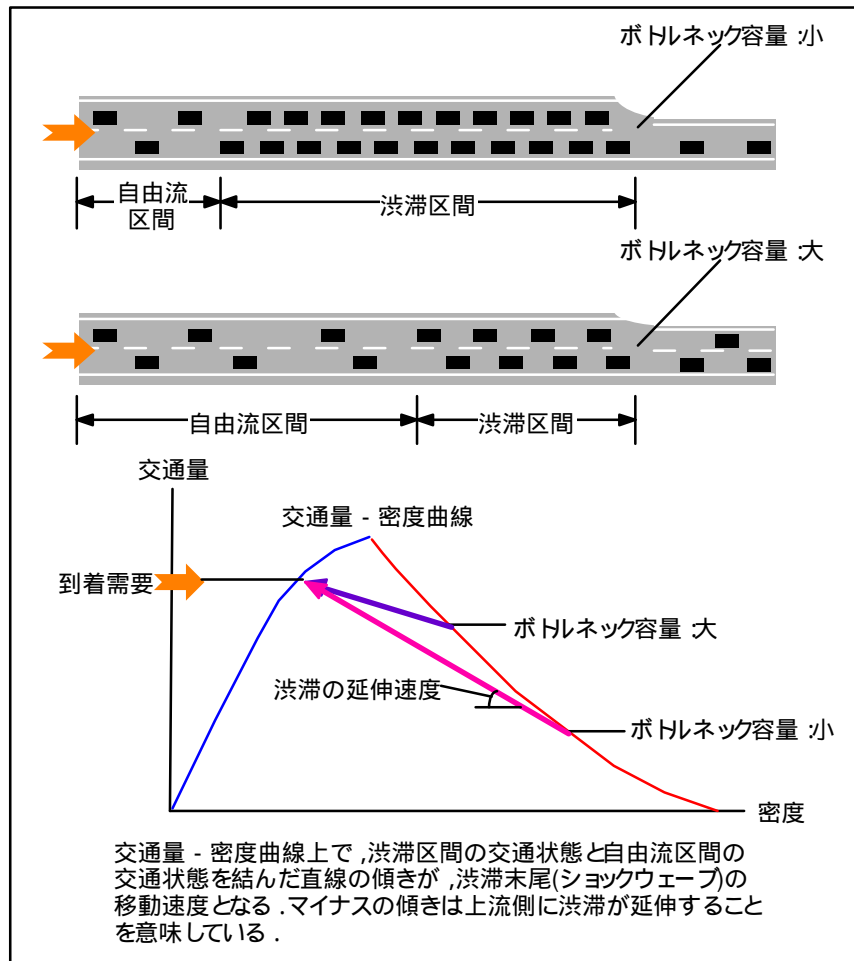


図 5 : ショックウェーブ理論による渋滞の延伸 / 解消速度の算出

4) 合分流部の容量と合分流比

合流部は高速道路におけるもっとも顕著なボトルネックである。合流部がボトルネックとなる場合、上流からの需要の割合によって、本線 / 合流枝側ともに渋滞する場合といずれか一方が渋滞する場合とに分かれる。すなわち、本線 a の需要 Q_a 、合流枝 b の需要 Q_b 、ボトルネック容量 C^* 、および本線 a と合流枝 b がともに渋滞しているときの合流比をそれぞれ m_a, m_b ($m_a + m_b = 1$)、とすると、

- a) $Q_a + Q_b > C^*$ かつ $Q_a / m_a > C^*$ かつ $Q_b / m_b > C^*$ のとき、本線 a と合流枝 b はともに渋滞する。
- b) $Q_a + Q_b > C^*$ かつ $Q_a / m_a > C^*$ かつ $Q_b / m_b < C^*$ のとき、本線 a のみ渋滞する。

状況となる。シミュレーションモデルでも上流からの需要の構成比を変えて、合流部のボトルネック容量と合流比、および合流 / 被合流側での渋滞状況の再現性を明らかにすることが求められる。

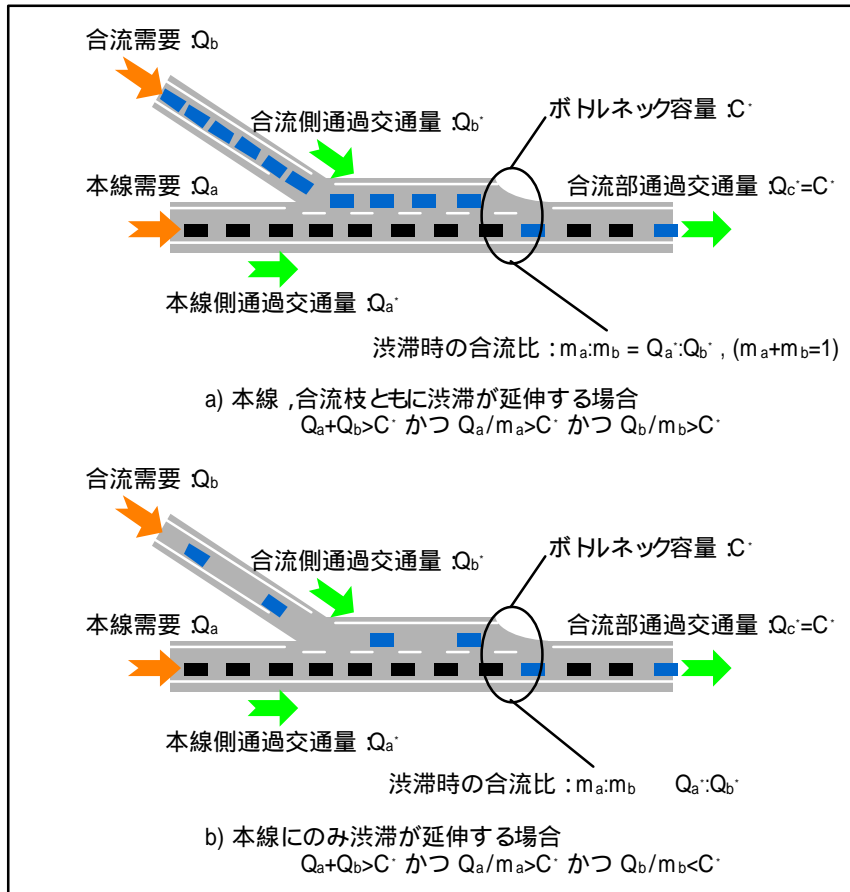


図 6 :合流部での容量と合分流比による渋滞の延伸状況の違い

一方,分流部では,上流からの需要における本線/分流枝側への各需要の構成比,すなわち分流比によって分流部の容量が変化する.すなわち,本線 a への需要 Q_a ,分流枝 b への需要 Q_b ,分流部下流での本線容量 C_a^* ,分流枝容量 C_b^* ,および本線 a と分流枝 b 側への需要の構成比をそれぞれ r_a, r_b ($r_a+r_b=1$), とすると,分流部の容量 C^* は,

$$C^* = \min(C_a^*/r_a, C_b^*/r_b)$$

となる(図 7).シミュレーションでもこのような関係が成り立っているかどうか,確認する必要がある.

また交通流を離散的に扱うモデルでは,分流比に極端な偏りがあり,かつ上流からの需要レベルが比較的小さい場合に,離散化による誤差²をうまく解消して,意図した分流比が達成されるかどうかについても調べる必要³がある.

² たとえば分流比が 0.99:0.01 のところに,上流から 5 分間に 10 台の需要があるとすると,離散的に扱う場合はその需要を 9.9 台と 0.1 台に分けることができないので,何らかの工夫を要する.

³ 分流比を設定するのではなく,OD ごとに需要を与えるタイプのモデルでも,1OD2 経路の簡単なネットワークで,経路選択確率に大きな偏りがある場合は,同様の問題が発生する.

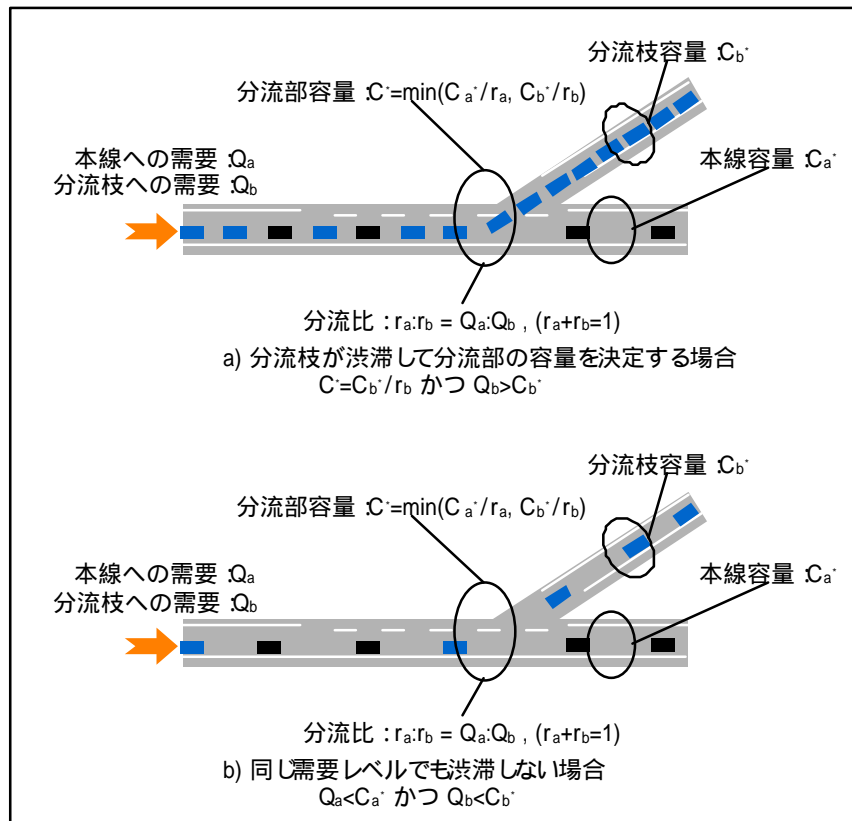


図7 分流部での容量と分流率の違いによる渋滞状況の違い

5) 信号交差点での対向直進交通による右折容量の低下

一般街路では、信号交差点における右折待ち車両が後続の車両の走行を阻害し、渋滞の原因となっている場面が日常的に見られる。車両の右折待ちは、青現示において対向直進交通のギャップを待っているもので、その結果交差点を右折する交通容量が対向直進の交通量によって低下させられている。モデルの verification は、この現象をマクロに記述するモデルとシミュレーション結果を比較することで行う。マクロに記述した例として、次式(1)に交通工学研究会による右折容量の算定式⁴を示す。

$$S_R = 1800 f (S G - q C) / (S - q) C + 3600 K / C \quad \dots(1)$$

S_R ...右折専用車線の交通容量 [台/時]

S ...対向直進流入部の飽和交通流率 [台/有効青1時間]

q ...対向直進流入部の交通量 [台/時]

C ...サイクル長 [秒]

G ...有効青時間 [秒]

K ...信号の変わり目で捌ける台数 [台/サイクル]

f ...次の関係で与えられるギャップアクセプタンス確率

⁴ 交通工学研究会，“平面交差の計画と設計 - 基礎編 - ”,1984

$f =$	1.00	($q=0$),	0.81	($q=200$),
	0.65	($q=400$),	0.54	($q=600$),
	0.45	($q=800$),	0.37	($q=1000$),
	0.0	($q>1000$),	中間の q の値については補間する.	

6) 経路選択行動

シミュレーションで考慮される利用者経路選択行動のモデリングを以下のように分類した。

- 動的な経路選択モデルを組み込んでいない...各車両の経路が決まっており,交通状況に応じてそれを変更することがないもの.リンク下流端に設定された分流比に従って,次のリンクを選択するタイプのものも,これに含まれる.
- 動的利用者最適(DUO: Dynamic User Optimal)配分を組み込む...DUOは「利用者が目的地に着くまでに,提示された瞬間の経路コストに従って,最適な経路を選択する」という原則に従うものである.シミュレーションそのものが,各時点での状況を積み重ねて現時点を再現しているので,比較的モデリングしやすいことなどから,多くのモデルがDUO原則に従う経路選択モデルを組み込んでいる.ただしDUOでは選択の際に提示された経路コストと実際に経験する経路コストが時間差のために同一とならず,特定の経路に交通が集中し,結果的にそれが最適とならない,いわゆるハンチング現象がおこる.
- 動的利用者均衡(DUE: Dynamic User Equilibrium)配分を組み込む...DUEは「利用者が目的地に着くまでに,自分が実際に経験する経路コストに従って,最適な経路を選択する」ものである.選択する時点でまだわかっていない,将来の交通状況を予測する必要があるため,ネットワークが複雑な形状の場合は理論的に解を求めることが困難である.このため,厳密にDUEを達成する実用的なシミュレーションモデルは今のところ存在しない.近似的にDUEを達成するモデルとして,c1)シミュレーションで再現されている現時点の交通状況をもとに,独立したモジュールが近い将来までの交通状況を常に先行しながらシミュレーションした結果をフィードバックさせて選択するモデルと,c2)シミュレーションを繰り返し実行し,前回の実行結果から将来の経路コストを経験的に予測し,収束させるモデルがある.
- 確率的経路選択...上述のb),c)は提示された経路コストのなかで最小のものを必ず選択するのに対し,人間の認知誤差が確率的に分布すると仮定して,必ずしもコスト最小のものを選択するとは限らないとしたモデル.認知誤差の分布形によってロジットモデル,プロビットモデルなどのいくつかのモデルがある.

これらのうちa)を採用するモデルについては,道路利用者の経路変更を考慮しなくてもよい短期的な交通運用策の評価や経路選択の余地がないネットワークへの適用に向いていると考えられる.これらのモデルのverificationは,実際に設定した分流率が達成されているかどうかを確認するものであり,前出の合分流比のverificationと同等であるため,とくに必要ではない.

一方,b)のDUOあるいはc)のDUEといった規範を採用するシミュレーションモデルは,利用者が

提示された経路コストに基づいて選択するフレームワークを採用し,情報提供や道路建設などによる交通の空間的な分散を図る運用策を評価することを目的とするものが多い。

一般にネットワークが複雑になると,DUO や DUE を達成するフローパターンを求めることが困難になるため,これらのモデルの verification は簡単な図 8 のような 2 経路のネットワークを用いて行われる。ここでは合流部下流端のリンクがボトルネックとなっており,渋滞時の合流比は 1:1 とする。また起点からネットワークに流入した車両は,分流部において提示された経路コストに従って経路選択をする。

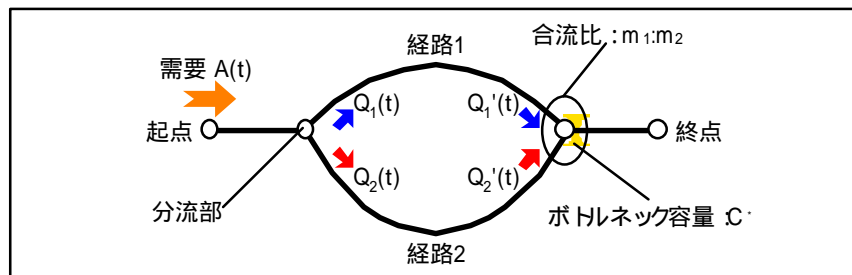


図 8 :1OD2 経路のネットワーク

図 9 ,10 に point-queue を使って,合流部がボトルネックとなる簡単な 1OD2 経路のネットワークに,ピークを含む需要 $A(t)$ が到着した場合のフローパターンを,DUO 配分した場合とDUE を達成しているものそれぞれについて示す。まず DUO の場合は現在の経路所要時間,すなわち直前に各経路通過した車両の所要時間を経路コストとしているため,自分が経験する経路コストとのタイムラグが生じ,次のようなフローパターンを呈する。

- i) 始めのうちはすべての車両が,コストが小さい経路 1 を選択する。
- ii) 時刻 t_2 では経路 1 のコスト,すなわちこの時点で流出する車両の旅行時間 $t_2 - t_1$,が経路 2 の初期コスト p_2^0 に等しくなる。
- iii) さらに次の瞬間での経路 1 のコストは,直前に流出した車両より先大きな遅れを渋滞により被った車両の旅行時間となるので,経路 2 のコストより先大きくなる。したがって t_2 以降はすべての車両が経路 2 を選択する。
- iv) 時刻 t_3 になると経路 2 から合流部へ流出する交通量がでてくる。この時点では経路 1 側にも渋滞が残っているので,両経路の流出交通量はボトルネック容量を合流比で配分したものになる。
- v) 時刻 t_4 で経路 1 の渋滞が解消する。経路 1 上には車両が存在していないため,経路コストは p_1^0 にまで不連続に低下する。したがってこの時点以降はすべての車両が再び経路 1 を選択する。

この場合は各経路への流入交通量 $Q_1(t)$, $Q_2(t)$ が階段状になっていることが,図 9 からわかる。

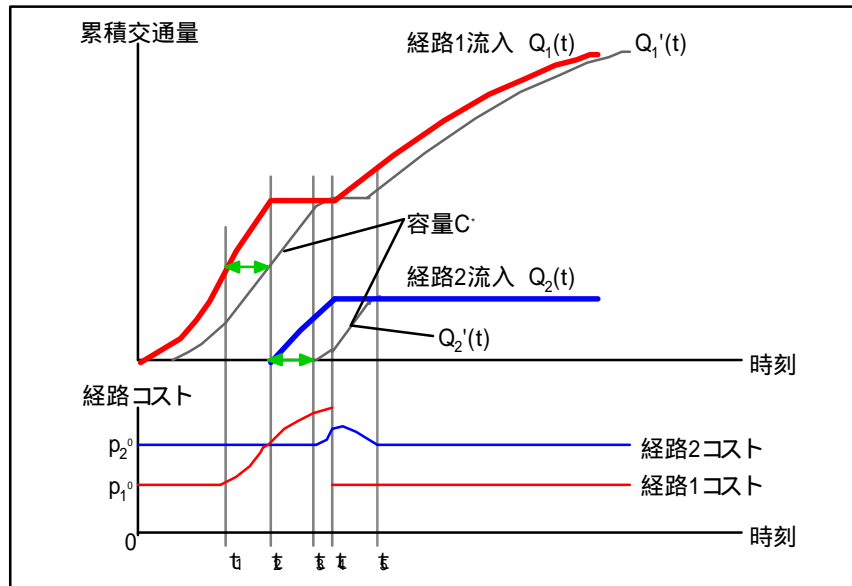


図9 現在の経路所要時間をもとにDUO配分したフローパターン

一方、同じ需要が与えられていても、DUEを達成しているフローパターンは、各利用者が実際に経験する経路コストにしたがって経路選択するため、DUOのそれとは大きく異なることが図10からわかる。すなわち、次のようなフローパターンとなっている。

- i) 始めのうちはすべての車両が所要時間の短い経路1を選択する。
- ii) 時刻 t_1 になると経路1と経路2のコストが等しくなるので、両方の経路を選択するようになる。各経路を選択する交通量の比率は、合流部での渋滞時の合流比率に等しくなり、それぞれの経路コストが等しく変化する。
- iii) 時刻 t_3 に経路2に流入した車両は、経路2の渋滞が解消する t_4 に流出するので、コストは p_2^0 になる。経路2のコストはこれ以下にはならないので、以降はすべての車両が経路1を選択する。

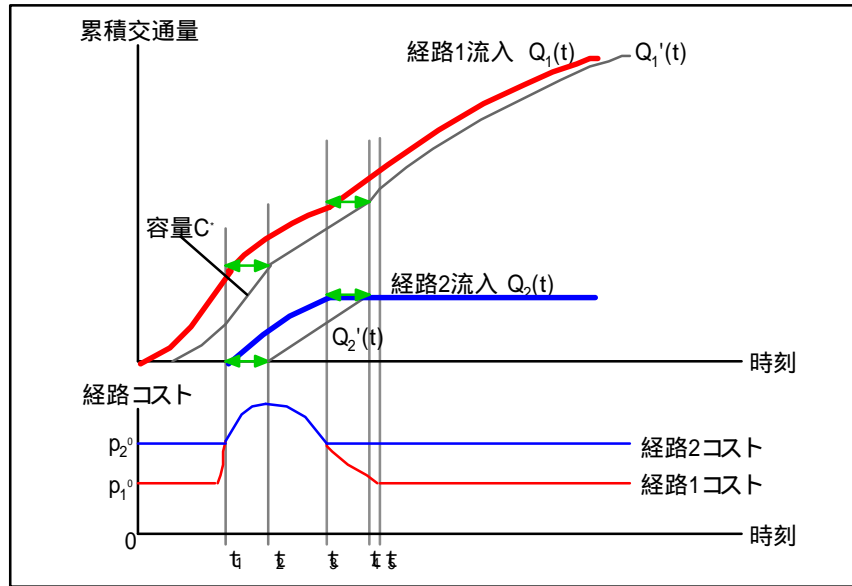


図 10 DUE を達成しているフローパターン

DUE の場合 ,両方の経路を選択できる状況ではどちらを通過しても同じ所要時間となるため ,ボトルネックでの FIFO (first-in-first-out) 原則が成立する .したがってボトルネックの通過交通量は単路での渋滞現象と全く同様となっていることがわかる .

図9および図10は渋滞の延伸を考慮していない point-queue を使った理論値なので ,physical-queue を扱うシミュレーションでは渋滞が分流部にまで延伸したときに異なった図になるが ,検証に際してはこのような理論値と比較して評価することになる .

4.シミュレーションモデルの標準検証プロセス~ Verification

この章では verification のプロセスを、仮想データセットを示しながら説明していく。Verification は「すでに確立されている現象を記述する理論」とシミュレーションが示す動的な交通状況を観測、集計した結果を比較するものである。Verification の目的は、シミュレーション結果がそれらの理論値と厳密に合致していることを求めるものではなく、理論との相関または相違を確認しながらモデルの特質を明らかにすること、および各種のモデルパラメータとモデル挙動の関係を明確にすることである。

Verification の各ステップでは、それぞれのモデルが対象の交通現象をどのようにモデリングしているかを概念的に説明することが求められる。このとき個々の車両の追従挙動を取り入れてフローを再現するモデル(以下追従タイプのモデル)と、交通量 - 密度(Q-K)関数などの交通流特性を外成的に与え、車両リストでフローを管理するモデル(以下 Q-K タイプのモデル)とでは設定すべきパラメータが大きく異なるため、それぞれに別の検証手順が求められる。

以下において、前章で議論した交通現象に対応する検証ステップを、Q-K タイプと追従タイプのモデル別に、順を追って説明していく。すべての項目に共通して、モデルがそれらの現象をどのようにモデリングしているかを、できる限り詳しく記述すること、また関連するパラメータや設定はすべて明記することが求められる。なお、リンクに関してはとくに記述がない限り1車線として考える。これは多車線にした場合の車線変更による容量などへの影響をできるだけ排除した形で検証したいためである。

A.Q-K タイプのモデル verification 手順

Q-K モデルはマクロな交通流特性を外成的に与え、リストなどでフローを管理するモデルの総称である。したがってQ-K 関係にかぎらず、それから導出可能なS-V(車頭間隔 - 速度)やQ-V(交通量 - 速度)などの関係を与えるモデルも含まれる。これらのモデルについては、以下に示す 1) ~ 6) の手順に従ってverificationを進める。なお、モデルによっては部分的に車両挙動などのミクロな特性を与えて、特定の現象を扱っているものもある。このような場合は、後述の追従タイプのモデルに関する検証手順を参照すること。

1) 車両の発生

これはシミュレーションモデルの車両発生の機能を検証するものである。検証に際して確認すべき点は次の通りである。

- a) モデルで仮定している発生パターンが達成されているか。
- b) 乱数系列により、仮定したパターンから大きく乖離することはないか。
- c) 一定時間帯内に設定した交通需要と全く同じ台数の車両が発生しているか、あるいはどの程

度増減するか。

- d) スタディエリア内側の渋滞がネットワーク外部に延伸した状態で,到着する車両がエリア外の渋滞末尾に追加され,最終的に設定した需要が消滅することなくすべて流入しているか。

まず a) ~ c) についての具体的な検証手順の例を以下に示す。

- i) 図 11 に示す発生点とそこから流出するリンクからなるネットワークを作成する。リンクについては 2200[台/時]の容量を持つものとする。

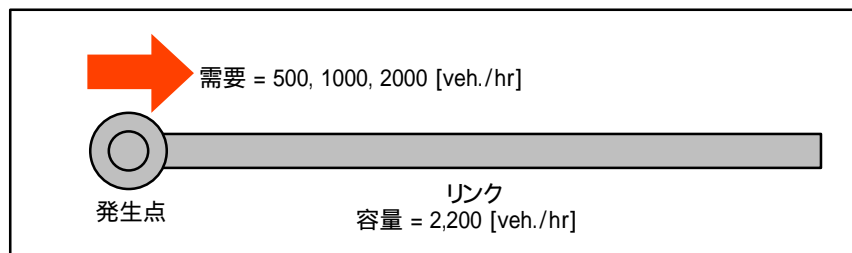


図 11 車両発生モデルの検証用データセットの例

- ii) それぞれ 500, 1000, 2000[台/時]の3段階の交通需要が与えられた場合の,1時間のシミュレーションを実行し,各車両が発生したときの前車との時間間隔を記録する。車両の発生タイミングを記録するのが困難なモデルについては,リンク上流端で車頭時間間隔を観測する。また流体近似モデルについては,モデルの単位スキャン間隔で発生交通量を記録する。
- iii) 図 12 のように,それぞれの結果について,適当に離散化された車頭時間間隔あるいは単位スキャン時間内の発生交通量をヒストグラムにする。比較のため理論的な到着パターンの確率密度分布も重ねて図示する⁵。

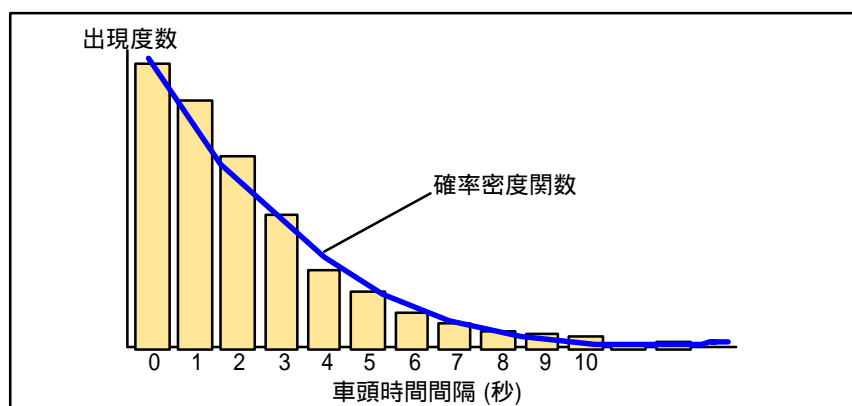


図 12 車頭時間間隔のヒストグラムと理論値

⁵ Verification が理論値を厳密に再現することを強く求めるのではなく,モデルの挙動を明らかにすることに主眼をおいていることから,統計的な検定までする必要はなく,グラフを目視する程度でよいと考える。

- iv) また、1 時間の総発生量がそれぞれ設定した 500、1000、2000 台と比べて増減しているかどうかを確認する。
- v) 乱数を用いてランダム発生を実現しているモデルは、それぞれの交通需要について乱数系列を変え、ii) ~ iv) を 5 回程度繰り返す。

次に d) の検証について示す。

- i) 図 13 のように、最初の 1 時間が 4400 [台/時] で、それ以降は全く車両が発生しない交通需要を与えて、リンク下流端での交通量が 0 になるまでシミュレーションを行う。



図 13 ネットワークの範囲外に渋滞が延伸したときの交通量保存の検証用データセット

- ii) リンク上流端で観測された通過交通量の累積曲線を図示し、最終的に 4400 台の車両がネットワークに流入していることを確認する。図 14 のような曲線が期待される。

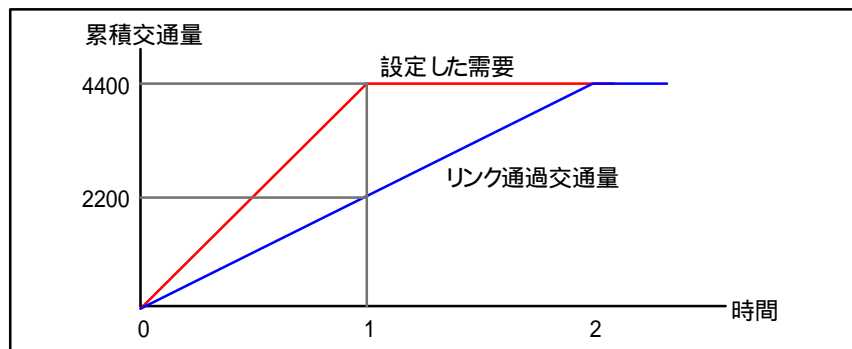


図 14 4400 [台/時] の需要を与えたときに期待される交通量累積曲線

2) ボトルネック容量 / リンク下流端の飽和交通流率

まずボトルネック容量の再現性の確認を行う。以下に例示する手順⁶で、ボトルネックに対して十分大きい交通需要を与え、下流側の流率がボトルネック容量で安定しているかどうかを検証する。

- i) 図 15 のような下流端がボトルネックとなるようなリンクからなるネットワークを用いる。ボトルネッ

⁶ 追従走行を基本とするモデルについては、Appendix1 での渋滞流側の Q-K 曲線を求める手順とほぼ同等のものとなる。

ク容量が 800,1000,1200[台/時]になるようにモデルパラメータを設定する.その他の区間については 2200[台/時]程度の容量とする.

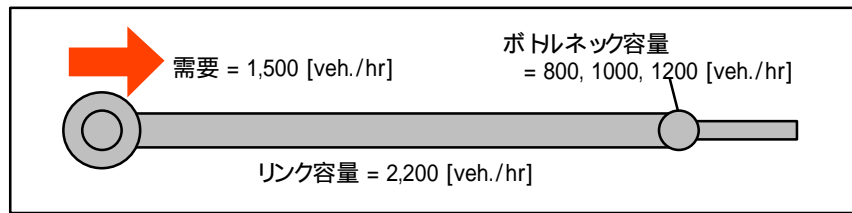


図 15 ボトルネック容量の再現性検証用データセット

- ii) 常にボトルネックで渋滞が発生するように,1500[台/時]の交通需要を与える.
- iii) それぞれのモデルパラメータについて 1 時間のシミュレーションを実行し,ボトルネック下流で通過交通量を記録する.
- iv) 図 16 のように通過交通量の累積曲線を図示⁷,ボトルネック容量が達成されていることを確認する.

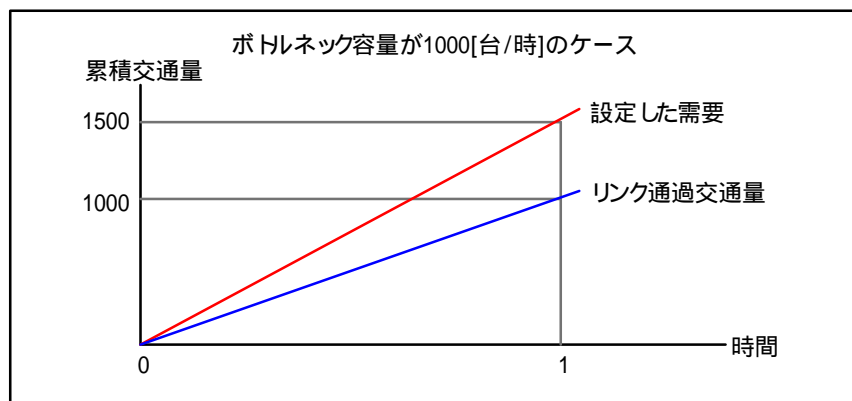


図 16 ボトルネック容量が安定して再現されているかどうかの確認

つぎに,リンク下流端での飽和交通流率の検証については,次の手順で行う.すなわち,信号交差点を含む一般街路を対象とするシミュレーションモデルについて,赤現示の間に滞留した車両が,青現示の間に流出していく様子を確認するものである.

- i) 図 17 に示すような,下流端が信号で制御される1車線のリンクからなるネットワークを作成する.信号はサイクル長 120[秒],スプリット50%,損失時間 10[秒/サイクル]の定周期制御とする.

⁷ 必ず 1 時間でリンク通過交通量をグラフ上に記入すること.

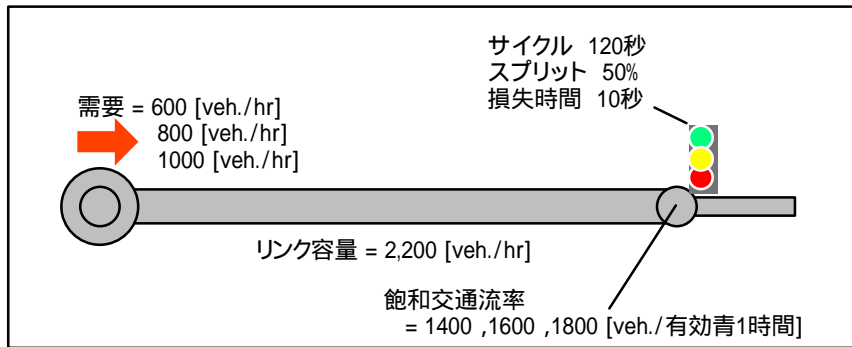


図 17 :リンク下流端の飽和交通流率の再現性検証用データセット

- ii) リンク下流端の飽和交通流率を、それぞれ 1400, 1600, 1800[台/有効青 1 時間]になるようにモデルパラメータを設定した場合について、上流からの到着需要を 600, 800, 1000[台/時]と変えて、それぞれ 1 時間のシミュレーションを行う。
- iii) シミュレーション開始後 10 サイクルが経過してから、10 サイクル程度の間、リンクからの流出量を観測する。観測する時間間隔は、モデルの単位スキャン時間とする。
- iv) 青現示が始まってからの 1 サイクルごとの流出交通量を累積曲線にして、図 18 のように 10 サイクル分を重ねて図示⁸する。交通流が飽和している間はいずれのサイクルでも流率が安定して再現されていることを確認する。

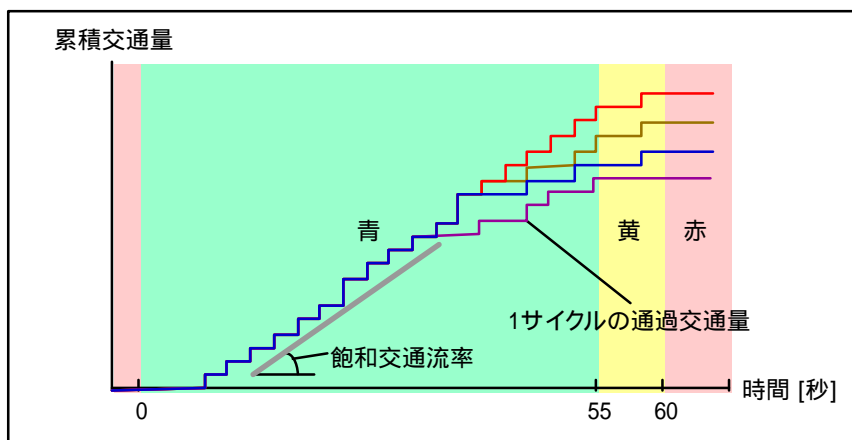


図 18 :リンク下流端で観測される飽和交通流率

3) 渋滞の延伸と解消およびショックウェーブの伝播速度

この検証では、ボトルネックを含む単路部において、

- a) 需要がボトルネック容量を上回り、渋滞が上流に延伸する状況
- b) 需要がボトルネック容量を下回り、渋滞が上流から解消していく状況

⁸ 参考のため、飽和交通流率の傾きを持った直線をグラフに記入すること。

について、渋滞の延伸と解消が理論通りに再現されているかについて確認を行う。信号で制御される交通流を扱うモデルについては、さらに

- c) 信号現示が赤から青に変わること、渋滞が下流から解消していく状況

についても検証する。具体的な手順を、まず a) と b) について以下に示す。

- i) 図 19 のような下流にボトルネック区間をもつ、複数のリンクから構成される単路状のネットワークを作成する。

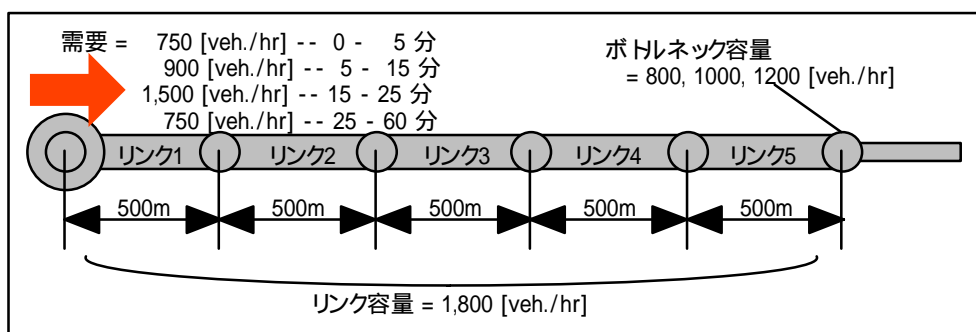


図 19 渋滞の延伸と解消の検証用データセット

- ii) ボトルネック容量がそれぞれ 800, 1000, 1200[台/時]になるように、3 種類のケースを用意する。その他の区間容量は 1800[台/時]とする。
- iii) ボトルネックで渋滞が発生して、その後解消するようなピークを持つ需要を与える。ここではシミュレーション開始後から、
 - 0 ~ 5 分...750[台/時]
 - 5 ~ 15 分...900[台/時]
 - 15 ~ 25 分...1500[台/時]
 - 25 ~ 60 分...750[台/時]
 の需要を与える。
- iv) 図 20 のように⁹、モデルに与えた Q-K 曲線から求められるショックウェーブの伝播速度を求め¹⁰、図 21 下に示すようなボトルネック上流側の交通状態遷移図をあらかじめ作成しておく。
- v) それぞれのボトルネック容量についてシミュレーションを実行し、渋滞が延伸していく状況を、各リンクの流出交通量を観測することで把握する。
- vi) 図 21 に示すように、交通状態遷移図と各リンクの流出交通量累積曲線と重ね、渋滞がその

⁹ この図では簡単のため Q-K 曲線と三角形として近似した例を示しているが、モデルによってはこの限りではない。このケースでは FW1 ~ FW5 までの 5 つの前進波と 1 つの後進波 BW1 が発生している。

¹⁰ Q-K ではなく S-V などの関係を与えるモデルは、その関係を Q-K に変換することでショックウェーブ伝播速度を求める。

速度で延伸 / 解消するかどうかを確認¹¹する。

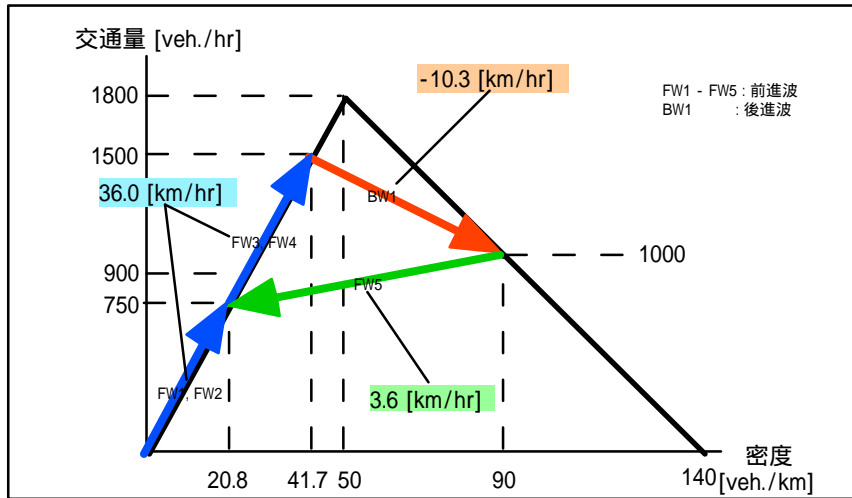


図 20 ボトルネック容量が 2000[台/時]の時のショックウェーブの伝播速度

¹¹ ここでもverificationの主旨より、累積曲線上でリンク流出レートが変化する時点と、理論的にショックウェーブが伝播する時点とが、グラフ上で一致することを目視する程度でよい。シミュレーションでは流出レートが安定しないので、数値で厳密にショックウェーブが伝播した時点を示すのは困難である。

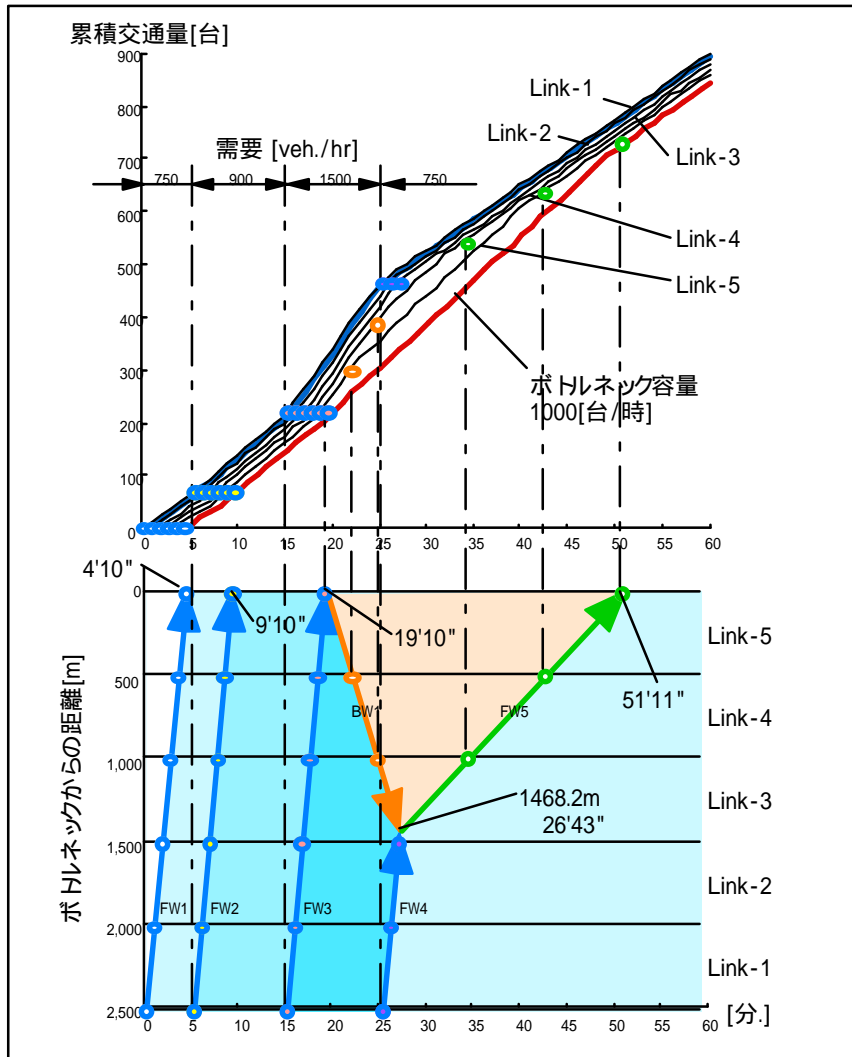


図 21 ボトルネック上流での交通状態遷移図(下)と観測される交通量累積曲線(上)

つぎにc) についての手順を以下に示す。ここでの検証は、信号交差点を含む一般街路を対象とするシミュレーションモデルについて、赤現示の間に滞留した車両が、青現示の間に流出していく様子を確認するものである。検証は信号による発進波と停止波の伝播速度がショックウェーブ理論から求められる理論値と一致しているかどうかを調べる。

- i) 図 22 に示すような、下流端が信号で制御される1車線のリンクからなるネットワークを作成する。信号はサイクル長 120[秒]、スプリット50%、損失時間 10[秒/サイクル]の定周期制御とする。

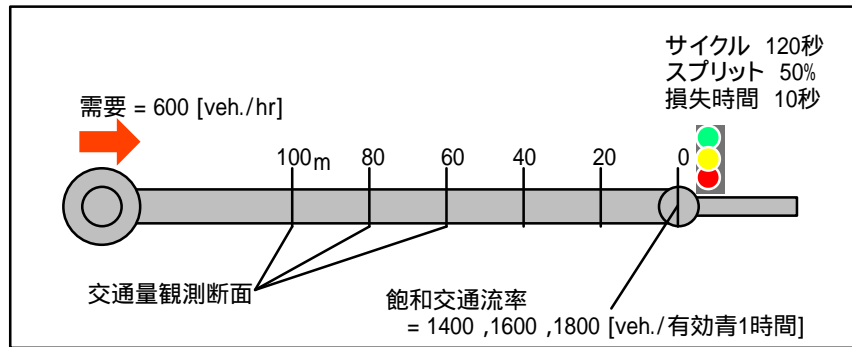


図 22 :信号による発進波/停止波の再現性検証用データセット

- ii) 飽和交通流率をそれぞれ 1400 ,1600 ,1800[台/有効青1 時間]になるようにモデルパラメータを設定して ,3 ケースのシミュレーションを行う。
- iii) 信号交差点に対し非飽和となるように 600[台/時]の需要を与える。このとき ,到着のランダム性が大きいと ,停止波が理論通りに伝播するかどうかを確認する障害となるので ,車両の発生は一様到着とするのが望ましい¹²。
- iv) それぞれのパラメータセットについてシミュレーションを実行し ,信号交差点からそれぞれ 0m , 20m ,40m ,60m ,80m ,100m ,...の地点における通過交通量を観測する。観測する時間間隔は ,モデルの単位スキャン時間とする。
- v) 赤現示で始まる適当な 1 サイクルの時間帯について ,各地点の通過交通量の累積曲線を重ねて図示する。リンク容量を外成的に与えるモデルの場合は ,図 23 のように¹³モデルが仮定している Q-K 曲線から求められるショックウェーブの伝播速度で発進波と停止波が伝播しているかどうかを ,図 24 のように累積曲線と重ね ,傾きが変化する時点が一致するかどうかを確認¹⁴する。

¹² 一様到着を仮定していないモデルでは ,できるだけ短い時間間隔で一定需要を与えるなどの工夫をすること。たとえば 1 分ごとに 10 台ずつ発生させるなど。

¹³ この図でも ,前節と同じく簡単のため Q-K 曲線を三角形で近似した例を示している。

¹⁴ ここでも verification の主旨より ,累積曲線上でリンク流出レートが変化する時点と ,理論的にショックウェーブが伝播する時点とが ,グラフ上で一致することを目視する程度でよい。シミュレーションでは流出レートが安定しないので ,数値で厳密にショックウェーブが伝播した時点を示すのは困難である。

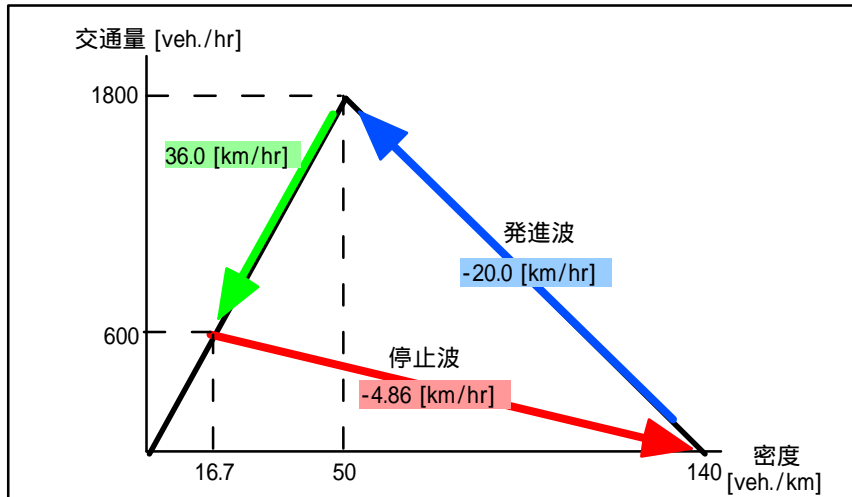


図 23 Q-K 曲線から求められる発進波と停止波の速度

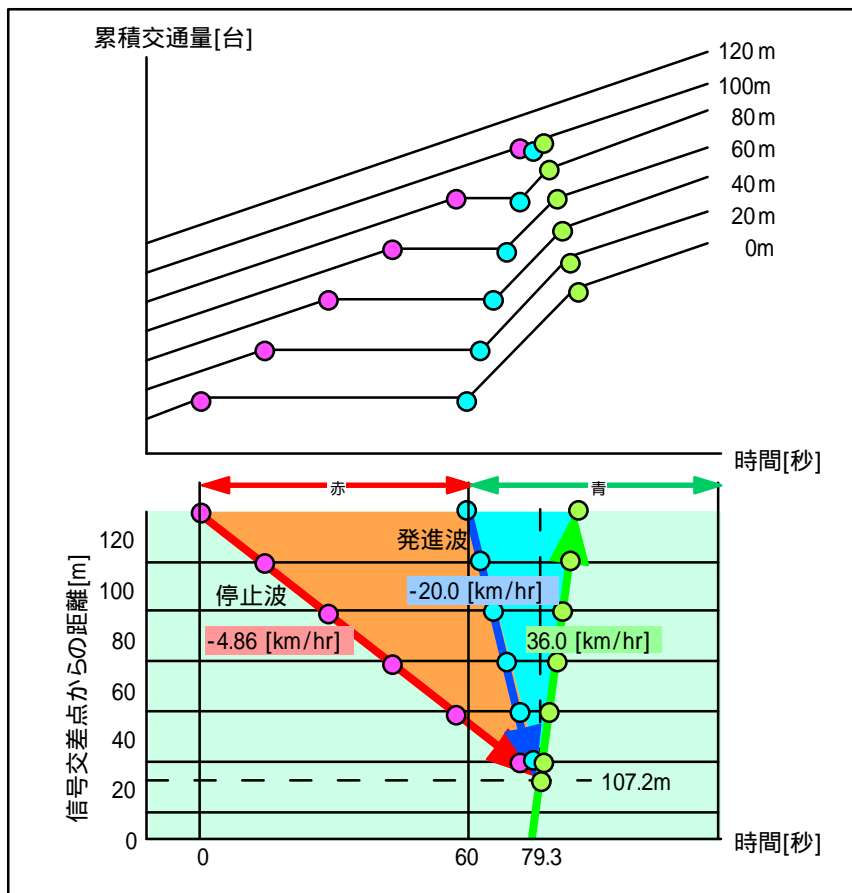


図 24 発進波と停止波の伝播の様子と各地点での累積交通量

4) 合分流部の容量と合分流比

合流部においては、本線側と合流側との需要比率に変化を与え、それぞれの場合に達成される合流部の容量と合流比が設定に従っているかどうか確認する。以下に合流部における挙動の検証手順を示す。

- i) 図25に示すような、容量が1800[台/時]のa, b2本の合流枝からなるネットワークを用いる。合流部直下流断面の容量は2200[台/時]とし、各合流枝の容量の和より小さくなっている。

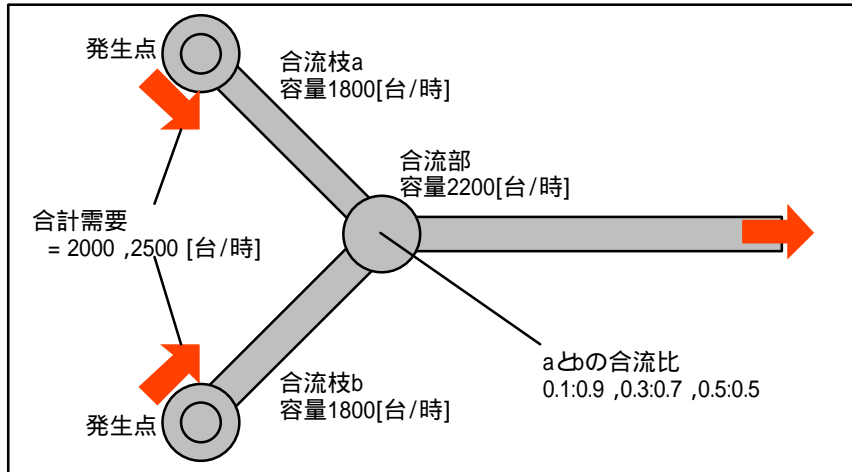


図25 合流部容量の再現性検証用データセット

- ii) 渋滞時の合流比を外生的に与えるモデルは、aとの合流比を 0.3:0.7 および 0.5:0.5 の通りに設定して、それぞれシミュレーションを行う。
- iii) それぞれのパラメータセットについて、合流部への需要の合計を2000, 2500[台/時]として、さらにa, b各合流枝からの需要構成比を0.1:0.9, 0.3:0.7, 0.5:0.5, の3段階に設定して、合計6パターンで12回のシミュレーションを行う。シミュレーション時間は1時間程度でよい。
- iv) それぞれのケースについて、各合流枝に対する需要と下流端での累積通過交通量をそれぞれグラフ化し、渋滞しているかどうかを判別する。渋滞状況は表1および表2のような結果が期待される。同時に合流部下流での累積通過交通量もグラフに記入し、設定した容量が達成されているかどうかを確認する。

表1 渋滞時の合流比が0.3:0.7の時の各合流枝の渋滞状況

需要合計 a,bの構成比	0.1:0.9	0.3:0.7	0.5:0.5
2000[台/時]	渋滞なし	渋滞なし	渋滞なし
2500[台/時]	bが渋滞	両方渋滞	aが渋滞

表2 渋滞時の合流比が0.5:0.5の時の各合流枝の渋滞状況

需要合計 a,bの構成比	0.1:0.9	0.3:0.7	0.5:0.5
2000[台/時]	渋滞なし	渋滞なし	渋滞なし
2500[台/時]	bが渋滞	bが渋滞	両方渋滞

分流部においては、分流率によって容量が変化することを、以下の手順で確認する。

- i) 図26に示すような、容量が900[台/時]のa, b2本の分流枝からなるネットワークを用いる。分流部手前の容量は2200[台/時]とする。

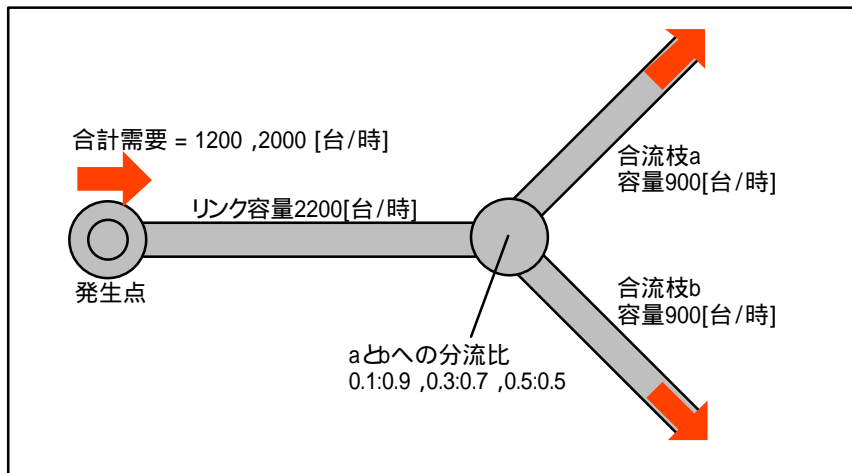


図26 分流部容量の再現性検証用データセット

- ii) 分流部への需要の合計を1200, 2000[台/時]とし,それぞれの需要レベルについてa, bそれぞれの分流枝への需要の構成比あるいは分流率を0.1:0.9, 0.3:0.7, 0.5:0.5, の3パターンに変えて, 6回のシミュレーションを行う.
- iii) それぞれのケースについて分流部での通過交通量から, 渋滞しているかどうか判定し, 容量を観測する. 表3のような結果が期待される.

表3 :分流部での交通状況

需要合計 a,bへの構成比	0.1:0.9	0.3:0.7	0.5:0.5
1200[台/時]	渋滞 (容量1000[台/時])	渋滞なし	渋滞なし
2000[台/時]	渋滞 (容量1000[台/時])	渋滞 (容量1286[台/時])	渋滞 (容量1800[台/時])

5) 信号交差点での対向直進交通による右折容量の低下

右折容量の検証に際しては, 国内で広く用いられている交通工学研究会の右折容量の算定式¹⁵と比較する. 以下に検証手順を例示する.

- i) 図 27 のように 1 つの信号交差点を含むネットワークを作成する. 対向直進交通の飽和交通流率は2000[台/有効青1時間]あるいはこれと同レベルに設定する. また右折の基本容量は1800[台/時]とし, 交差点内に滞留できる右折待ち車両台数は2台とする.

¹⁵ この式は理論値を示すものではなく, あくまでも比較の対象として参考とするためである.

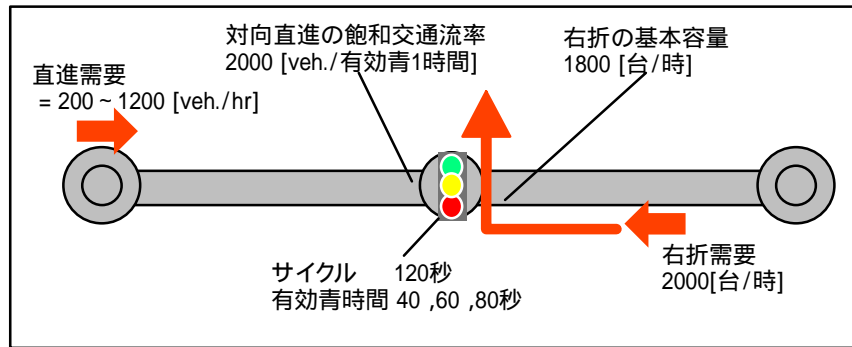


図 27 :右折容量の低下の検証用データセット

- ii) 信号パラメータはサイクルを 120 秒とし,有効青時間をそれぞれ 40 ,60 ,80 の 3 段階に変える .
- iii) 各信号パラメータのセットに対して ,対向直進の交通需要を200 ,400 ,600 ,800 ,1000 ,1200 の 6 段階に変えながら ,右折交通量を観測する .交差点を右折する交通需要は ,つねに車両が供給されるよう2000[台/時]程度の値にする .
- iv) シミュレーションの観測結果を第 3 章 5 節の式(1)と比較する .すなわち ,

$$S_R=1800 f(S G - q C)/(S - q) C + 3600K/C \quad \dots(1)$$

S_R ...右折専用車線の交通容量 [台/時]

S ...対向直進流入部の飽和交通流率 [台/有効青 1 時間]

q ...対向直進流入部の交通量 [台/時]

C ...サイクル長 [秒]

G ...有効青時間 [秒]

K ...信号の変わり目で捌ける台数 [台/サイクル]

f ...次の関係で与えられるギャップアクセプタンス確率

$f =$	1.00	($q=0$),	0.81	($q=200$),
	0.65	($q=400$),	0.54	($q=600$),
	0.45	($q=800$),	0.37	($q=1000$),
	0.0	($q>1000$),	中間の q の値については補間する .	

シミュレーション結果を比較する際は ,図 28 のように各信号パラメータセットごとに横軸に対向直進交通量 ,縦軸に右折容量(=通過交通量)をプロットするものとする .

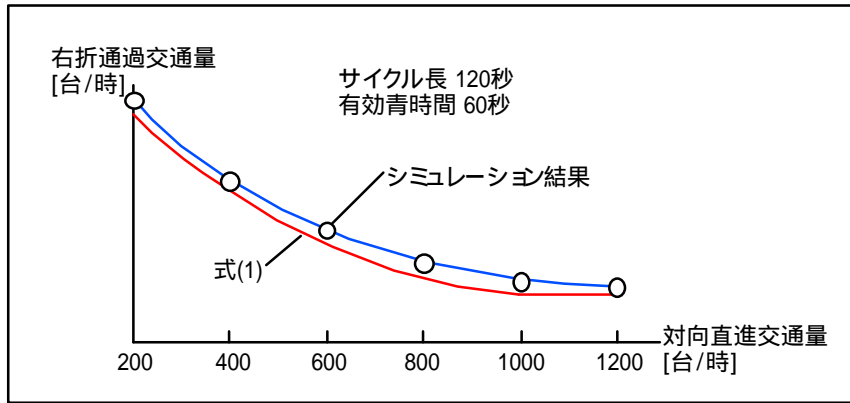


図 28 右折容量のシミュレーション結果と理論値の比較

6) 経路選択行動

この検証はシミュレーションモデルがどのような経路選択モデルを仮定しており、どの程度理論値を忠実に再現するかを確認するものである。この場合の理論とは DUO あるいは DUE であるが、ネットワークが複雑になると理論値そのものが計算できなくなるので、1OD2 経路からなる簡単なネットワークを用いて検証することになる。ここでは以下の手順で検証を行う。

- i) 図 29 のような 1OD2 経路のネットワークを用いる。合流部がボトルネックとなるように容量を 900[台/時]あるいはこれと同程度とし、その他の区間の容量は 1800[台/時]とする。また、渋滞時の合流比は 0.5:0.5 となるようにする。

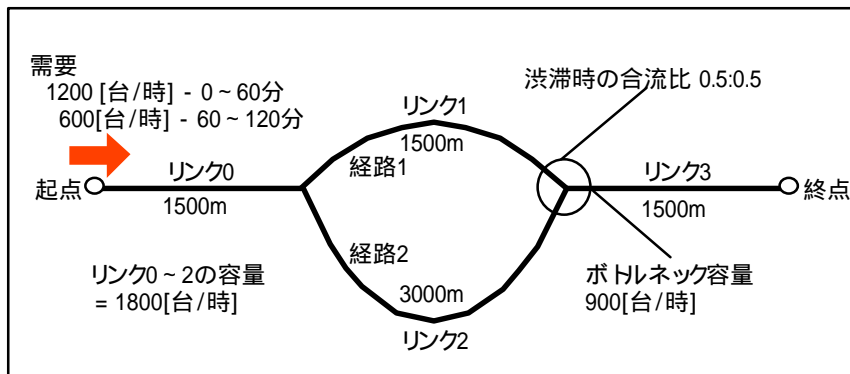


図 29 経路選択行動の再現性検証用データセット

- ii) モデルの経路選択規範(DUO/DUE, 最短コスト選択/確率選択, など)や経路コスト更新の時間間隔, 経路選択のタイミングなど, 関連するモデルの設定パターン¹⁶をそれぞれについて 3 通りずつ用意する。
- iii) それぞれの設定パターンについて 2 時間のシミュレーションを行う。需要は最初の 1 時間は

¹⁶ パラメータや設定項目はモデルにより大きく異なるので、ここでは具体的に指示しない。各モデル利用者が関連するパラメータを明示し、適切な値を設定すること。

1200[台/時]に、つづく1時間を600[台/時]に設定する。

- iv) 各ケースでリンク1 とリンク2 の流入と流出の累積交通量を観測し、理論値のフローパターンと比較する。参考のため、自由流速度を 36km/時(=10m/秒)として¹⁷、DUE を達成する場合のフローパターンをそれぞれ図 30 に示す。ただし煩雑さをさけるためリンクの交通量を point-queue で扱っており、渋滞が分流部まで延伸した場合を考えていないことに留意されたい。

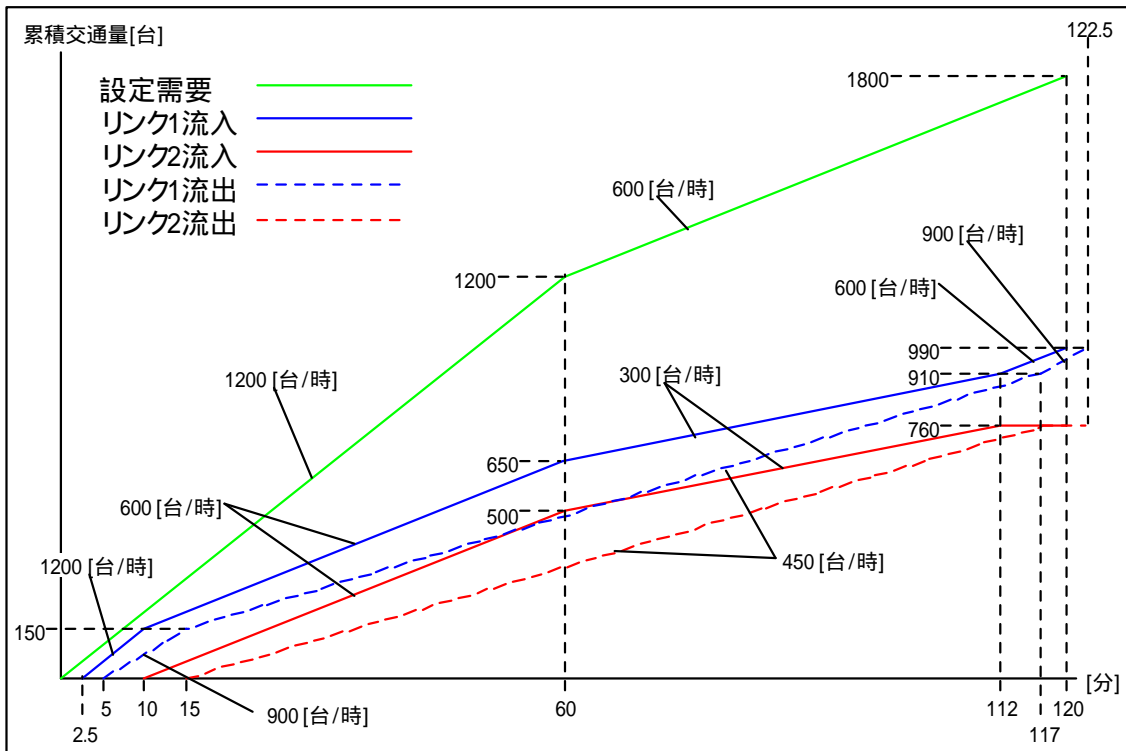


図 30 DUE を達成する場合のフローパターン

¹⁷ 両経路の自由旅行時間の差は 2.5 分となる。

B. 追従タイプのモデル verification 手順

追従タイプのモデルとは、車両ごとに反応遅れや最大化速度、目標ヘッドウェイなどの運転挙動に関するパラメータを設定し、車線上を走行させるモデルを示す。これらのモデルについては、以下に示す 1) ~ 7) の手順に従って verification を進める。

1) 車両の発生

これはシミュレーションモデルの車両発生の機能を検証するものである。検証に際して確認すべき点は次の通りである。

- モデルで仮定している発生パターンが達成されているか。
- 乱数系列により、仮定したパターンから大きく乖離することはないか。
- 一定時間帯内に設定した交通需要と全く同じ台数の車両が発生しているか、あるいはどの程度増減するか。
- スタディエリア内側の渋滞がネットワーク外部に延伸した状態で、到着する車両がエリア外の渋滞末尾に追加され、最終的に設定した需要が消滅することなくすべて流入しているか。

まず a) ~ c) についての具体的な検証手順の例を以下に示す。

- 図 31 に示す発生点とそこから流出するリンクからなるネットワークを作成する。リンクについては十分な容量を確保するため、有効幅員 3.5m、縦断勾配 0% とする。

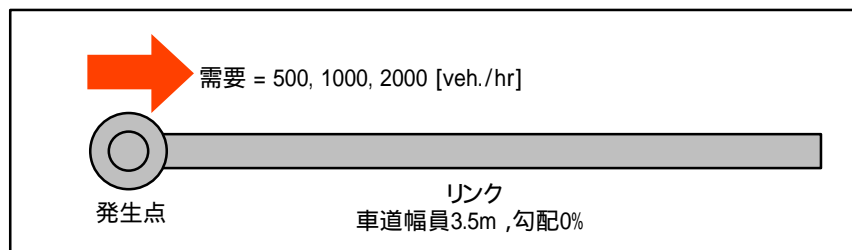


図 31 車両発生モデルの検証用データセットの例

- それぞれ 500, 1000, 2000[台/時]の 3 段階の交通需要が与えられた場合の、1 時間のシミュレーションを実行し、各車両が発生したときの前車との時間間隔を記録する。車両の発生タイミングを記録するのが困難なモデルについては、リンク上流端で車頭時間間隔を観測する。また流体近似モデルについては、モデルの単位スキャン間隔で発生交通量を記録する。
- 図 32 のように、それぞれの結果について、適当に離散化された車頭時間間隔あるいは単位スキャン時間内の発生交通量をヒストグラムにする。比較のため理論的な到着パターンの確

率密度分布も重ねて図示する¹⁸。

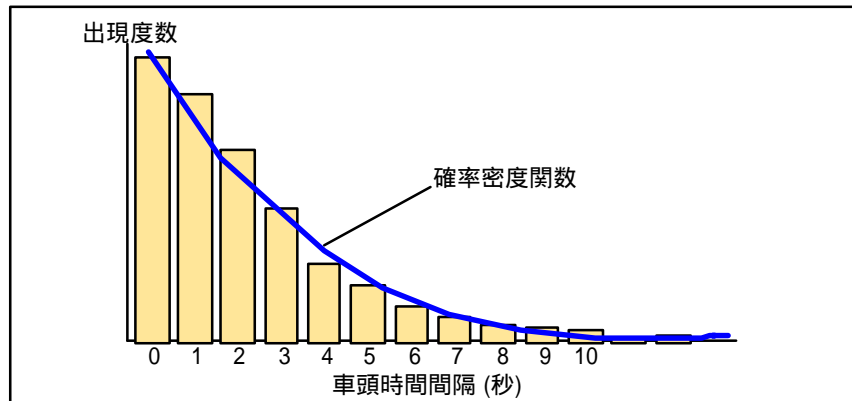


図 32 車頭時間間隔のヒストグラムと理論値

- iv) また、1時間の総発生量がそれぞれ設定した500、1000、2000台と比べて増減しているかどうかを確認する。
- v) 乱数を用いてランダム発生を実現しているモデルは、それぞれの交通需要について乱数系列を変え、ii) ~ iv)を5回程度繰り返す。

次に d)の検証について示す。

- i) 図 33 のように、最初の1時間が4400[台/時]で、それ以降は全く車両が発生しない交通需要を与えて、リンク下流端での交通量が0になるまでシミュレーションを行う。

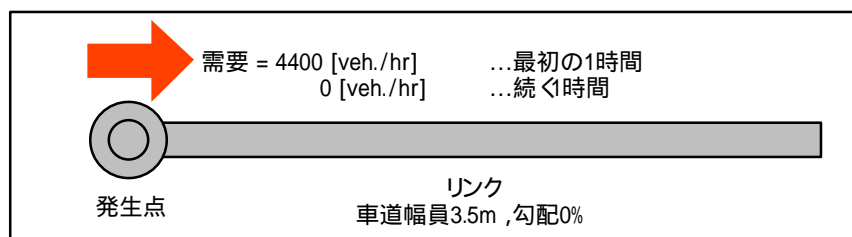


図 33 ネットワークの範囲外に渋滞が延伸したときの交通量保存の検証用データセット

- ii) リンク上流端で観測された通過交通量の累積曲線を図示し、最終的に4400台の車両がネットワークに流入していることを確認する。図 34 のような曲線が期待される。

¹⁸ Verification が理論値を厳密に再現することを強く求めるのではなく、モデルの挙動を明らかにすることに主眼をおいていることから、統計的な検定までする必要はなく、グラフを目視する程度でよいと考える。

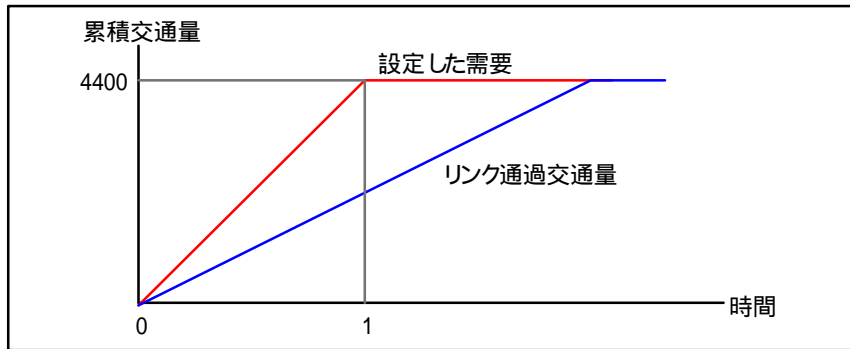


図 34 :4400[台/時]の需要を与えたときに期待される交通量累積曲線

2) モデルパラメータと交通流特性の関係 / ボトルネック容量

追従タイプのモデルでは、主要なパラメータは「反応遅れ」「希望速度」「加減速の強さ」などのような運転挙動に関するものと、「制限速度」「車道幅員」「縦断勾配」のような地点や道路区間に関するものの2種類に大別される。つまりverification で必要となるリンク容量やQ-K 曲線は外成的に与えられるのではなく、個々の車両挙動を合成した結果として再現されるものである。したがってこの検証ステップでは入力データやモデルパラメータと交通流特性の関係を明らかにすること、すなわち現実的な入力項目の範囲内およびモデルが推奨しているパラメータの範囲¹⁹内で、再現されるリンク容量値、あるいは飽和交通流率の範囲を明らかにすることを目的とする。

ここでは表 4 に示す入力項目およびモデルパラメータとその標準値、設定範囲を持つ追従タイプのモデルを想定し、シミュレーションで再現される Q-K 曲線を求めていく。各モデル利用者は、まずこれと同様に容量の再現性に影響する主要な入力項目とパラメータを列挙し、標準値、設定範囲²⁰を明示すること。

表 4 想定するモデルの主要な入力項目とパラメータ

名称	標準値	最小値	最大値
a) 車両の運転挙動に関するもの			
a-1) 反応遅れ時間	1.0 秒	0.7 秒	1.5 秒
a-2) 希望ヘッドウェイ	2.0 秒	1.7 秒	3.0 秒
a-3) 最大加速度(小型)	2.5 m/秒 ²	1.8 m/秒 ²	2.5 m/秒 ²
	(大型) 1.4 m/秒 ²	0.8 m/秒 ²	2.0 m/秒 ²
a-4) 希望速度	60 km/秒	40 km/秒	100 km/秒
b) 交通需要に関するもの			
b-1) 交通需要	必要に応じて任意に設定		
b-2) 大型車混入率	15 %	0 %	30 %
c) リンクの性能に関するもの			
c-1) 制限速度	60 km/秒	40 km/秒	100 km/秒

¹⁹ そのモデルパラメータの推奨範囲が交通工学的に妥当なものであるかどうかは、ここではあえて議論の対象としない。これは、たとえばシミュレーションでの「反応遅れ時間」という名称のモデルパラメータは、現実の運転挙動における反応遅れ時間とは似て非なるものであるため、厳密に値を定めることに意味を見いだせないためである。

²⁰ パラメータの妥当な設定範囲がモデルのマニュアルに記載されていない場合、すくなくとも過去にそのモデルを適用した経験から、一般的と思われる値の範囲を明示すること。

c-2)	縦断勾配	0 %	-6 %	6 %
c-3)	車線幅員	3.5 m	2.75 m	3.5 m
c-4)	最小ヘッドウェイ	2.0 秒	1.7 秒	3.0 秒

ある入力データとパラメータの設定(以下単にパラメータセットとする)を用いたときにモデルがどのような交通特性を示すかを調べるには,自由流および渋滞流それぞれの「定常状態²¹」で,リンク上流端と下流端の累積交通量を記録し,一定の時間帯における交通量と交通密度をサンプリングし,Q-K 平面上にプロットする.このとき,この後の検証ステップで使うために,そのプロットから得られる平均的な Q-K 曲線も求めておく.

まず 1 リンクからなるネットワークに対し,次のような手順でシミュレーションを実行し,自由流側の Q-K 曲線を求める.

- i) 表 5 に示す 11 通りのパラメータセットを用意する.自由流の場合は道路上にボトルネックを作らないよう,c)のリンクの性能に関するパラメータは変化させない.

表 5 自由流での交通特性を調べるパラメータセット

Free-1	すべて標準値としたもの.
Free-2	a-1)を最小値とし,他はすべて標準値としたもの.
Free-3	a-1)を最大値とし, "
Free-4	a-2)を最小値とし, "
Free-5	a-2)を最大値とし, "
Free-6	a-3)を最小値とし, "
Free-7	a-3)を最大値とし, "
Free-8	a-4)を最小値とし, "
Free-9	a-4)を最大値とし, "
Free-10	b-2)を最小値とし, "
Free-11	b-2)を最大値とし, "

- ii) あるパラメータセットについて,はじめは渋滞を起こさないよう,十分に小さいレベルの交通需要を設定し,シミュレーションを開始する.
- iii) 当該リンクが自由流で「定常状態」となるのを待つ.「定常状態」となってからの当該リンク上流端と下流端の累積交通量を観測する.大型車については,乗用車換算係数を 1.7 としてカウントする.
- iv) ある 10 分間について,1 分ごとにリンク上流端と下流端の累積交通量の差で区間内の車両台数を求め,これらを平均してその 10 分間の車両密度とする.
- v) またおなじ 10 分間で下流端を通過した車両台数を交通量とする.
- vi) この結果を Q-K 平面上にプロットする.
- vii) 次の 10 分間で v) ~ vii) を繰り返す,同様にプロットする.
- viii) これを 10 回,すなわち 100 分間のシミュレーションについて行い,Q-K 平面上にプロットする.

²¹ ここでの「定常状態」の概念については,巻末の Appendix A を参照されたい.

- ix) 一旦シミュレーションを終了し、つぎに交通需要を段階的に増加させて i) ~ viii) を繰り返す。需要がある一定レベルを超えると、リンク通過交通量が飽和する。このときの交通量を、このパラメータ設定でのリンク容量値と考える。リンク容量が観測されたら、x) に進む。
- x) 各パラメータセットにおける平均値のプロットを補間する直線あるいは曲線をひく。これがあるパラメータ設定での自由流側の Q-K 曲線となる。
- xi) i) に戻り、パラメータセットを変えて同様の手順を繰り返す。

以上の手順を図 35 に示す。

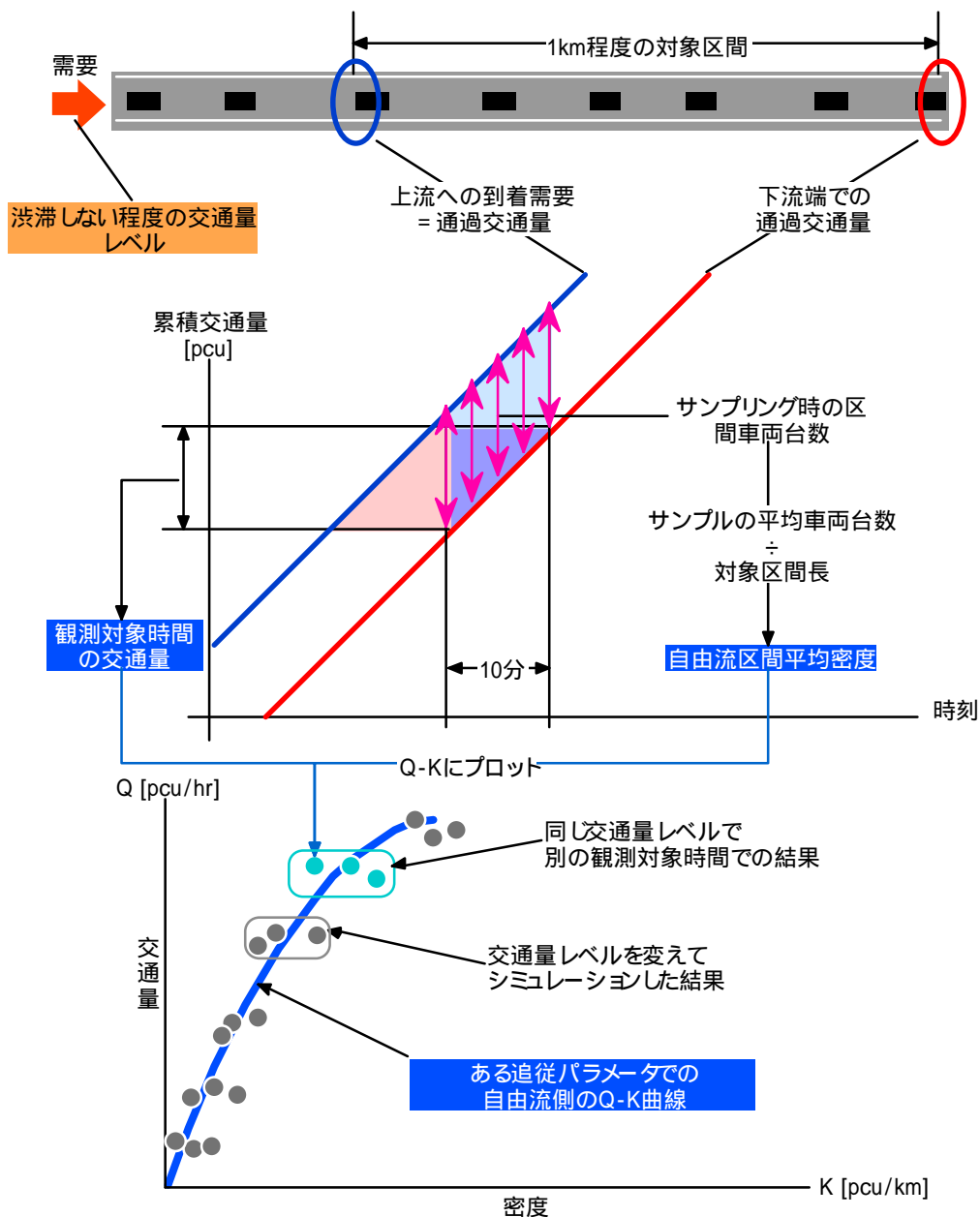


図 35 :自由流の Q-K 特性の求め方

つぎに渋滞側の Q-K 曲線を求めるには、上述 Free-1 ~ Free-11 のパラメータセットに対し、下流側

にボトルネックとなるリンクを設け,そのリンク性能に関わるパラメータを変化させてながら,次のような手順でシミュレーションを実行する.

- i) 表 6 に示す 44 通りのパラメータセットを用意する.

表 6 渋滞流での交通特性を調べるパラメータセット

Jam-1	Free-1 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-2	Free-1 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-3	Free-1 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-4	Free-1 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-5	Free-2 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-6	Free-2 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-7	Free-2 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-8	Free-2 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-9	Free-3 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-10	Free-3 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-11	Free-3 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-12	Free-3 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-13	Free-4 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-14	Free-4 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-15	Free-4 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-16	Free-4 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-17	Free-5 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-18	Free-5 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-19	Free-5 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-20	Free-5 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-21	Free-6 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-22	Free-6 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-23	Free-6 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-24	Free-6 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-25	Free-7 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-26	Free-7 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-27	Free-7 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-28	Free-7 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-29	Free-8 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-30	Free-8 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-31	Free-8 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-32	Free-8 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-33	Free-9 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-34	Free-9 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-35	Free-9 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-36	Free-9 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-37	Free-10 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-38	Free-10 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-39	Free-10 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-40	Free-10 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化
Jam-41	Free-11 + 下流側リンクの c-1)を標準値から下限値まで変化
Jam-42	Free-11 + 下流側リンクの c-2)を標準値から上限値まで変化
Jam-43	Free-11 + 下流側リンクの c-3)を標準値から下限値まで変化
Jam-44	Free-11 + 下流側リンクの c-4)を標準値から上限値まで変化

- ii) ボトルネックで渋滞が発生するように,リンク容量に相当する需要をあたえシミュレーションを実行する.

- iii) 上流側リンクが渋滞流で「定常状態」となるのを待つ。「定常状態」となってからの上流側リンクの上流端および下流端累積交通量を観測する。
- iv) ある 10 分間について、1 分ごとにリンク上流端と下流端の累積交通量の差で区間内の車両台数を求め、これらを平均してその 10 分間の車両密度とする。
- v) またおなじ 10 分間で下流端を通過した車両台数を交通量とする。
- vi) この結果を Q-K 平面上にプロットする。
- vii) 次の 10 分間で iv) ~ vi) を繰り返し、同様にプロットする。
- viii) これを 10 回、すなわち 100 分間のシミュレーションについて行い、Q-K 平面上にプロットする。このプロットのばらつき具合がボトルネック容量が安定して再現されるかどうかの目安となる。
- ix) 一旦シミュレーションを終了し、つぎに下流側リンクの性能に関するパラメータ c) を変えて ii) ~ viii) を繰り返す。c) の値は 5 段階程度に変えることが望ましい。
- x) これらの結果を補間する曲線をひく。これがあるパラメータセットでの渋滞流側の Q-K 曲線となる。モデルパラメータだけで再現できるボトルネック容量の範囲を明らかにする意味からも、下限値を明記すること。
- xi) ジャム密度を調べるため、リンク下流端を通行止めにして、停止している渋滞中の車両台数を計測する。
- xii) i) に戻り、パラメータセットを変えて同様の手順を繰り返す。

以上の手順を図 36 に図示する。

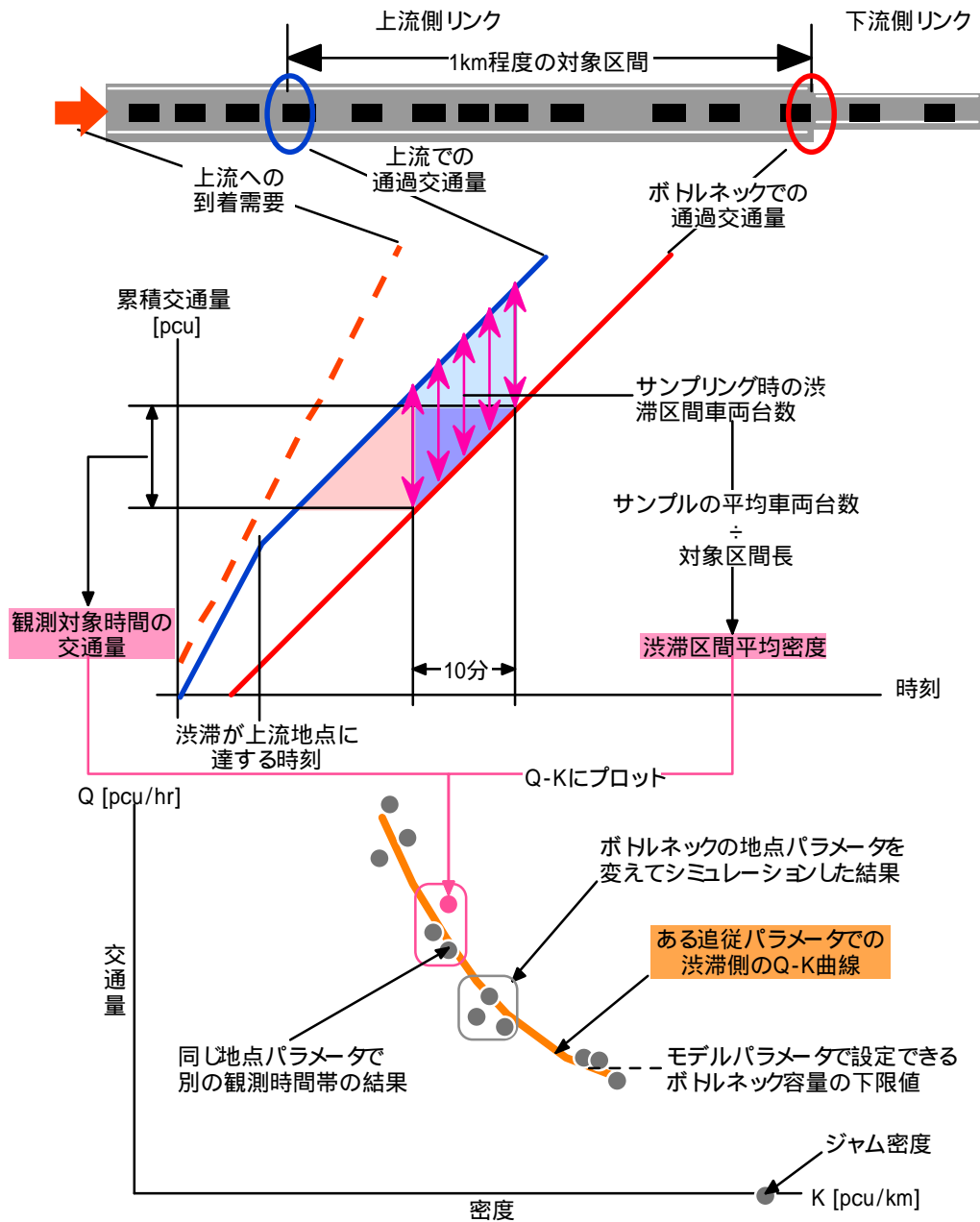


図 36 渋滞流の Q-K 特性の求め方

このようにして求めた自由流側と渋滞流側の Q-K 曲線を重ねて、あるパラメータセットでの交通流特性²²とする。

3) モデルパラメータと飽和交通流率の関係

リンク下流端での飽和交通流率再現性の検証については、次の手順で行う。すなわち、信号交差点を含む一般街路を対象とするシミュレーションモデルについて、赤現示の間に滞留した車両が、

²² ここでは「Free-1 + Jam-1, Jam-2, Jam3, Jam4」～「Free-11 + Jam-40, Jam41, Jam42, Jam43」の合計 11 種類の Q-K 特性が得られることになる。

青現示の間に流出していく様子を確認するものである。

- i) 図 37 に示すような、下流端が信号で制御される1車線のリンクからなるネットワークを作成する。信号はサイクル長 120[秒] ,スプリット50% ,損失時間 10[秒/サイクル]の定周期制御とする。

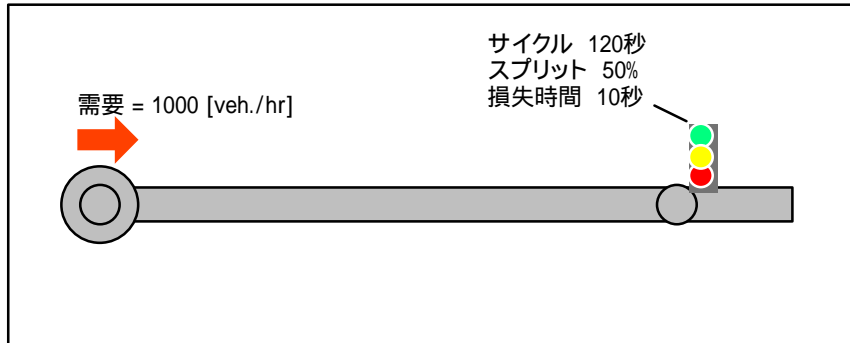


図 37 :リンク下流端の飽和交通流率の再現性検証用データセット

- ii) 上流からの到着需要を1000[台/時]とし,表 7 に示す 19 通りのパラメータセットについて,それぞれ 1 時間のシミュレーションを行う。

表 7 飽和交通流率の検証に使われるパラメータセット

SFR-1	すべて標準値としたもの。
SFR-2	a-1)を最小値とし,他はすべて標準値としたもの。
SFR-3	a-1)を最大値とし, "
SFR-4	a-2)を最小値とし, "
SFR-5	a-2)を最大値とし, "
SFR-6	a-3)を最小値とし, "
SFR-7	a-3)を最大値とし, "
SFR-8	a-4)を最小値とし, "
SFR-9	a-4)を最大値とし, "
SFR-10	b-2)を最小値とし, "
SFR-11	b-2)を最大値とし, "
SFR-12	c-1)を最小値とし, "
SFR-13	c-1)を最大値とし, "
SFR-14	c-2)を最小値とし, "
SFR-15	c-2)を最大値とし, "
SFR-16	c-3)を最小値とし, "
SFR-17	c-3)を最大値とし, "
SFR-18	c-4)を最小値とし, "
SFR-19	c-4)を最大値とし, "

- iii) シミュレーション開始後 10 サイクルが経過してから,10 サイクル程度の間,リンクからの流出量を観測する。観測する時間間隔は,モデルの単位スキャン時間とする²³。
- iv) 各パラメータセットについて,青現示が始まってからの 1 サイクルごとの流出交通量を累積曲線にして,図 38 のように 10 サイクル分を重ねて図示²⁴する。交通流が飽和している間はいず

²³ イベントスキャン型のシミュレーションモデルは少なくとも1秒程度の間隔で観測すること。

²⁴ 交通流が飽和している間の累積曲線と等しい傾きを持った直線をグラフに記入し,必ずその傾き,すなわち飽和交通流率を図に記入すること。ただしあくまでも目安なので,傾きの厳密な値に意味があるわけではないことに留意

れのサイクルでも流率が安定して再現されていることを確認する。

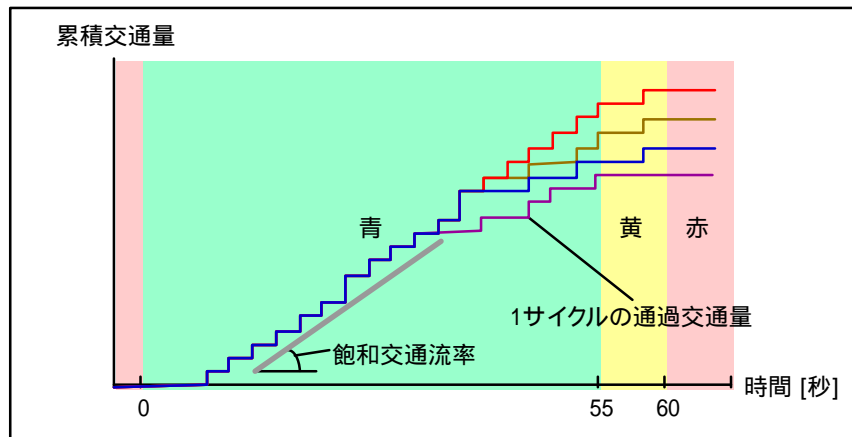


図 38 :リンク下流端で観測される飽和交通流率

4) 渋滞の延伸と解消およびショックウェーブの伝播速度

この検証では、ボトルネックを含む単路部において、

- a) 需要がボトルネック容量を上回り、渋滞が上流に延伸する状況
- b) 需要がボトルネック容量を下回り、渋滞が上流から解消していく状況

について、渋滞の延伸と解消がショックウェーブ理論と比べてどのように再現されているかについて確認を行う。信号で制御される交通流を扱うモデルについては、さらに

- c) 信号現示が赤から青に変わることで、滞留が下流から解消していく状況

についても検証する。具体的な手順を、まず a) と b) について以下に示す。

- i) 検証には下流にボトルネック区間をもつ単路状のネットワークを作成し、3~5カ所程度の通過交通観測断面を設定する。交通流の特性については、検証ステップ 2) で用いたパラメータセットのうち、典型的な Q-K 特性を示したものを 3 種類用意する。道路条件に関連するパラメータセットについては、ボトルネック上流側単路部はすべて標準値とし、ボトルネック区間をもっとも低い容量が再現されたものを用いる。また累積通過台数を観測する区間長は、交通流特性に応じてショックウェーブの伝播がわかるように適当に定める²⁵ こと。ここでは 500m ごとに観測断面をおいている。

すること。

²⁵ すなわち図 40 で求められるショックウェーブの伝播速度より、まずボトルネック上流側での交通状態遷移図を作

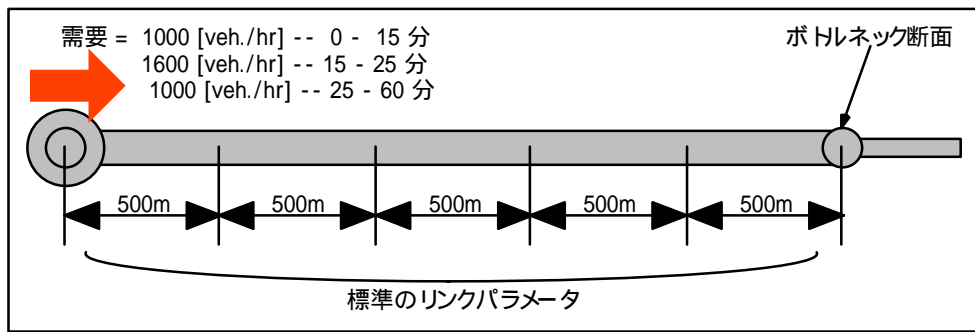


図 39 渋滞の延伸と解消の検証用データセット

- ii) ボトルネックで渋滞が発生して、その後解消するようなピークを持つ需要²⁶を与える。ここではボトルネック容量をシミュレーション開始後から、
- 0 ~ 15 分...1000[台/時]
 - 15 ~ 25 分...1600[台/時]
 - 25 ~ 60 分...1000[台/時]
- の需要を与えている。
- iii) 図 40 のように²⁷、モデルに与えたパラメータセットが示す Q-K 曲線から求められるショックウェーブの伝播速度を求め、図 41 下に示すようなボトルネック上流側での交通状態遷移図をあらかじめ作成する。
- iv) 3 種類のパラメータセットについてそれぞれシミュレーションを実行し、渋滞が延伸していく状況を、各観測断面の累積通過交通量を記録することで把握する。
- v) 図 41 に示すように、交通状態遷移図を各断面の通過交通量累積曲線と重ね、渋滞の延伸と解消が理論と比べてどのように再現されているかどうかを確認²⁸する。

成し、ショックウェーブの波面をなるべく多くの断面で捕捉できるように区間長を設定する。

²⁶ これも同様に、図 40 で示されるボトルネック容量に対して、渋滞が発生するような需要を与えること。

²⁷ このケースでは FW1 ~ FW4 までの 4 つの前進波と 1 つの後進波 BW1 が発生している。

²⁸ ここでも verification の主旨より、累積曲線上で流率に変化する時点と、理論的にショックウェーブが伝播する時点とが、グラフ上で一致することを目視する程度でよい。シミュレーションでは流率が一定値にはならないので、数値で厳密にショックウェーブが伝播した時点を示すのは困難であるだけでなく、理論値を求めている Q-K 曲線が、もともと目安として作成された平均的なものであるため。

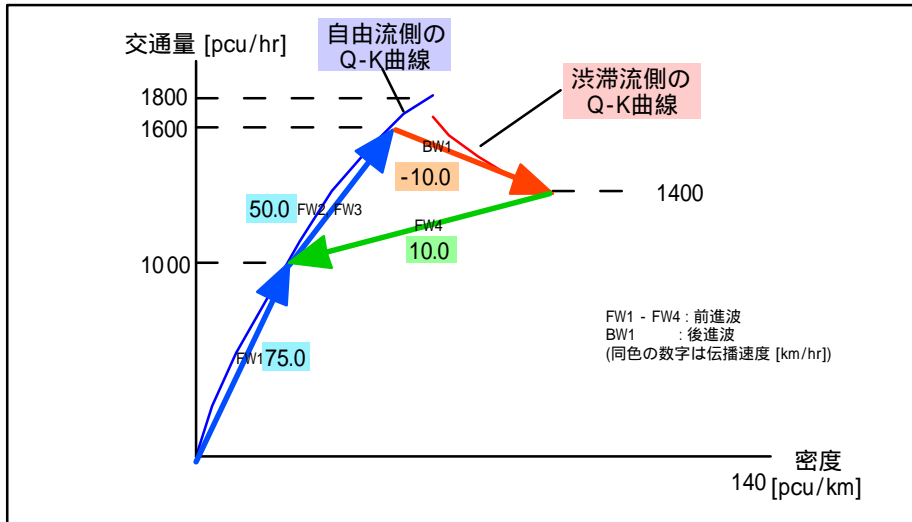


図 40 Q-K 曲線から求められるショックウェーブの伝播速度

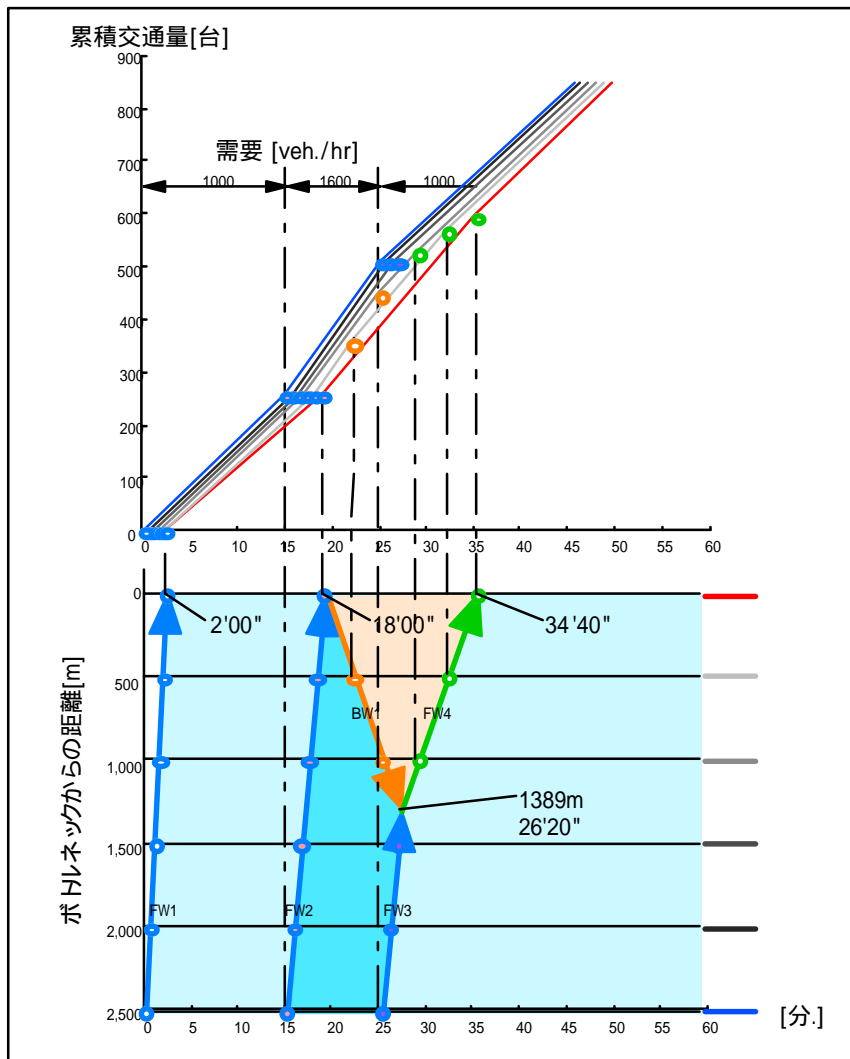


図 41 ボトルネック上流の交通状態遷移図(下)と各観測断面での通過交通量累積曲線(上)

つぎにc)についての手順を以下に示す。ここでの検証は、信号交差点を含む一般街路を対象とするシミュレーションモデルについて、赤現示の間に滞留した車両が、青現示の間に流出していく様子を確認するものである。検証は信号による発進波と停止波の伝播速度をショックウェーブ理論から求められる理論値と比較するものである。

- i) 図 42 に示すような、信号交差点を含む単路状のネットワークを作成する。信号はサイクル長 120[秒]、スプリット50%、損失時間 10[秒/サイクル]の定周期制御とする。信号交差点の上流側には 20m ごとに通過交通量を観測する断面を設定する。なお、観測する時間間隔はモデルの単位スキャン時間²⁹とする。

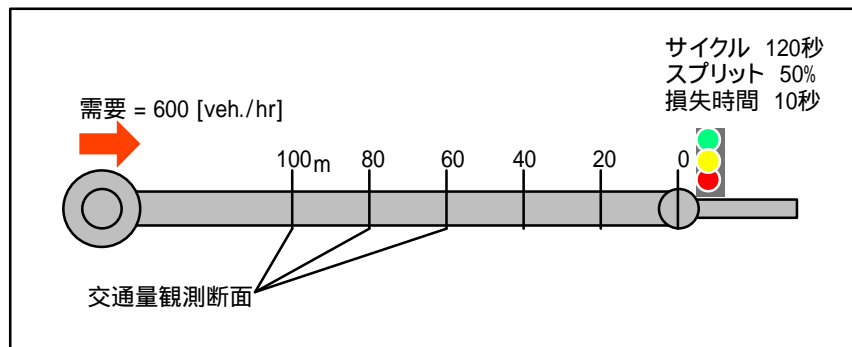


図 42 :信号による発進波/停止波の再現性検証用データセット

- ii) 飽和交通流率の検証に用いたパラメータセットのうち、典型的な飽和交通流率を与えるものを3種類用意し、それぞれについて600[台/時]の需要を与えてシミュレーションを行う。このとき、到着のランダム性が大きいと停止波が一様に伝播せず比較が難しくなるため、車両の発生は一様到着とするのが望ましい³⁰。
- iii) 与えたパラメータセットに対応するQ-K 曲線と飽和交通流率から、図 43 のように発進波と停止波の伝播速度を求め、図 44 下のように信号交差点上流の交通状態遷移図を作成する。
- iv) 赤現示で始まる適当な1 サイクルの時間帯について、図 44 上のように各地点の通過交通量の累積曲線を重ねて図示する。これを交通状態遷移図と重ね、傾きが変化する時点が一致するかどうかを確認³¹する。

²⁹ イベントスキャン型のシミュレーションについては、1 秒程度の間隔で交通量を観測すること。

³⁰ 一様到着を仮定していないモデルでは、できるだけ短い時間間隔で一定需要を与えるなどの工夫をすること。たとえば1 分ごとに10 台ずつ発生させるなど。

³¹ ここでもverification の主旨より、累積曲線上でリンク流出レートが変化する時点と、理論的に発進波と停止波が伝播する時点とが、グラフ上で一致することを目視する程度でよい。シミュレーションでは流出レートが安定しないので、数値で厳密に発進波と停止波が伝播した時点を示すのは困難である。

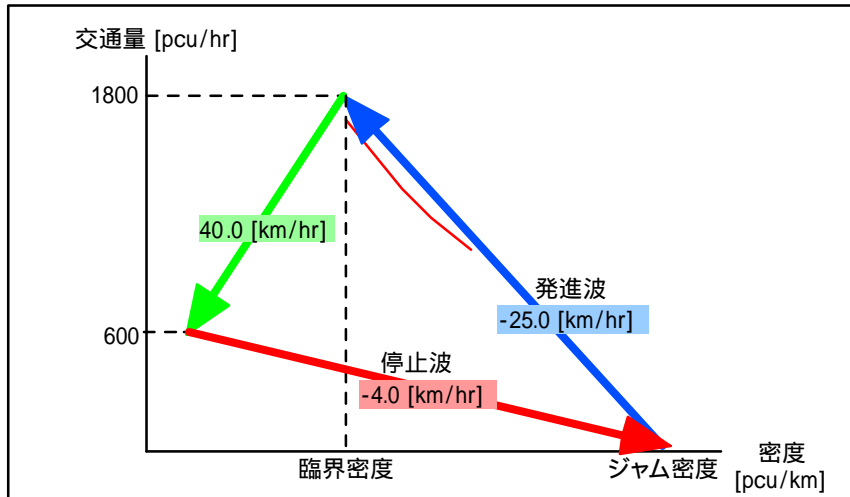


図 23 Q-K 曲線から求められる発進波と停止波の速度

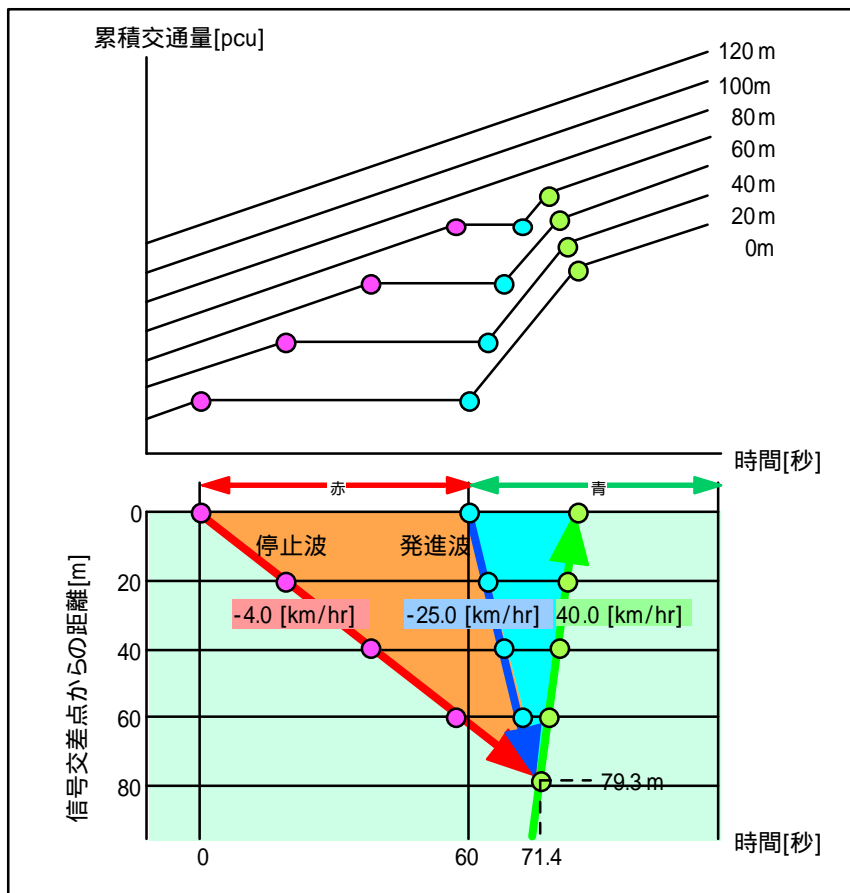


図 24 発進波と停止波の伝播の様子と各地点での累積交通量

5) 合流部の容量と合流比³²

³² 追従タイプのモデルでは分流部の検証を省略する。Q-K タイプのモデルの場合、分流部上流リンクでFIFO原則が守られ、設定した下流リンク容量の制約を受けるように交通量を移動させているかを調べる必要があるのに対し、追従タイプの場合、明らかにFIFO原則は守られており、また下流リンクの容量は各パラメータの設定に応じて合成される。この容量を調べることは、単路部のボトルネック容量の検証と同じである。

合流部の検証については、まず表4に挙げた追従走行の特性を規定する入力データとパラメータに加え、合流挙動に影響するものについても、その標準値と設定範囲を明示する。表8にここで想定しているモデルでの主要な入力項目とパラメータを例示する。

表8 想定するモデルでの合流挙動に影響する主要な入力項目とパラメータ

名称		A	B	C
d) 車両の運転挙動に関するもの				
d-1)	ギャップアクセプタンス閾値 ³³	1.0 秒	0.7 秒	1.5 秒
e) 合流区間に関するもの				
e-1)	合流区間長	100m	0m	200m
e-2)	合流枝からの最大進入速度	50km/h	30km/h	80km/h
f) 合流枝と本線の需要比率				
f-1)	合計 2000[台/時]	3:7	1:9	5:5
f-2)	合計 2500[台/時]	3:7	1:9	5:5

このとき、追従走行に関するパラメータは表4での標準値としすなわち表5のFree-1)、さらに表8の入力項目とパラメータを表9のように変化させて、それぞれの場合について合流部での容量と合流比率を確認する。

表9 合流部の検証に用いるパラメータセット

Merge-1	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-1-A”
Merge-2	“Free-1” + “d-1-B” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-1-A”
Merge-3	“Free-1” + “d-1-C” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-1-A”
Merge-4	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-B” + “e-2-A” + “f-1-A”
Merge-5	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-C” + “e-2-A” + “f-1-A”
Merge-6	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-B” + “f-1-A”
Merge-7	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-C” + “f-1-A”
Merge-8	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-1-B”
Merge-9	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-1-C”
Merge-10	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-2-A”
Merge-11	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-2-B”
Merge-12	“Free-1” + “d-1-A” + “e-1-A” + “e-2-A” + “f-2-C”

以下に合流部における検証手順を示す。

- i) 図45に示すような、合流枝と本線からなるネットワークを用い、各パラメータセットについて1時間程度のシミュレーションを行う。

³³ ここではギャップアクセプタンスの閾値を境に、0/1で合流の判断をするモデルを想定しているが、確率的に決定するモデルの場合は、その確率分布を3種類示すこと。

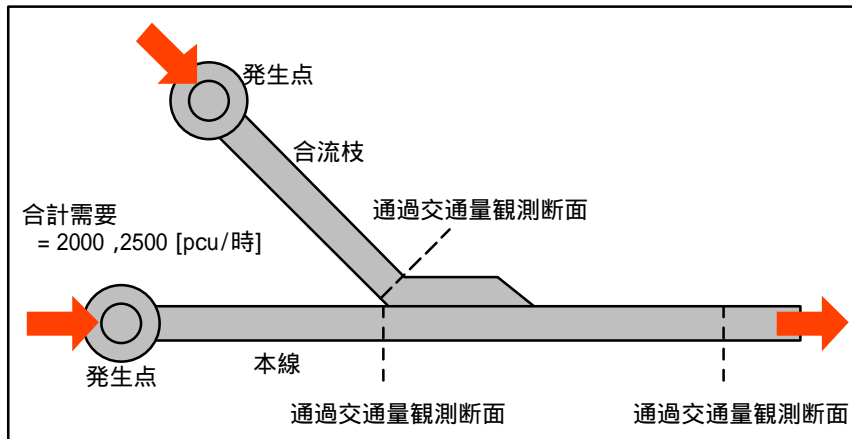


図45 合流部容量の再現性検証用データセット

ii) それぞれのケースについて、合流枝と本線の下流端で交通量を観測する。それぞれの累積交通量と合計の累積交通量(=合流部の累積交通量)をグラフにする。グラフには合流枝と本線が渋滞しているかどうかを判別するために、需要の累積曲線も記入する。また合流枝と本線の通過交通量から求められた合流比もグラフ中に明記すること。

6) 信号交差点での対向直進交通による右折容量の低下

右折容量の検証に際しては、国内で広く用いられている交通工学研究会の右折容量の算定式³⁴と比較する。まず表 4 に挙げた追従走行の特性を規定する入力データとパラメータに加え、合流挙動に影響するものについても、その標準値と設定範囲を明示する。表 10 にここで想定しているモデルでの主要な入力項目とパラメータを例示する。

表 10 想定するモデルでの右折容量に影響する主要な入力項目とパラメータ

名称	A	B	C
g) 車両の運転挙動に関するもの			
g-1) 対向直進ギャップアクセプタンス閾値 ³⁵	3.0 秒	5.0 秒	8.0 秒
h) 交差点構造に関するもの			
h-1) 交差点内滞留台数	1 台	2 台	4 台
h-2) 右折の最小ヘッドウェイ	1.7 秒	2 秒	3 秒
i) 信号パラメータ			
i-1) サイクル	120 秒 (各ケース共通)		
i-2) 有効青時間	40, 60, 80 秒の 3 種類		
j) 需要に関するもの			
j-1) 対向直進需要	200 ~ 1200[台/時]まで 200 刻みで変化		
j-2) 右折需要	2000[台/時] (各ケース共通)		

³⁴ この式は理論値を示すものではなく、あくまでも比較の対象として参考とするためである。

³⁵ ここではギャップアクセプタンスの閾値を境に、0/1で合流の判断をするモデルを想定しているが、確率的に決定するモデルの場合は、その確率分布を 3 種類示すこと。

このとき、追従走行に関するパラメータは表 4 での標準値としすなわち表 7 の SFR-1) ,さらに表 10 の入力項目とパラメータを表 11 のように変化させて、それぞれの場合について達成された右折容量を確認する。

表11 右折容量の検証に用いるパラメータセット

Rturn-1	“SFR-1” + “g-1-A” + “h-1-A” + “h-2-A”
Rturn-2	“SFR-1” + “g-1-B” + “h-1-A” + “h-2-A”
Rturn-3	“SFR-1” + “g-1-C” + “h-1-A” + “h-2-A”
Rturn-4	“SFR-1” + “g-1-A” + “h-1-B” + “h-2-A”
Rturn-5	“SFR-1” + “g-1-A” + “h-1-C” + “h-2-A”
Rturn-6	“SFR-1” + “g-1-A” + “h-1-A” + “h-2-B”
Rturn-7	“SFR-1” + “g-1-A” + “h-1-A” + “h-2-C”

以下に検証手順を例示する。

- i) 図 46 のように 1 つの信号交差点を含むネットワークを作成する。

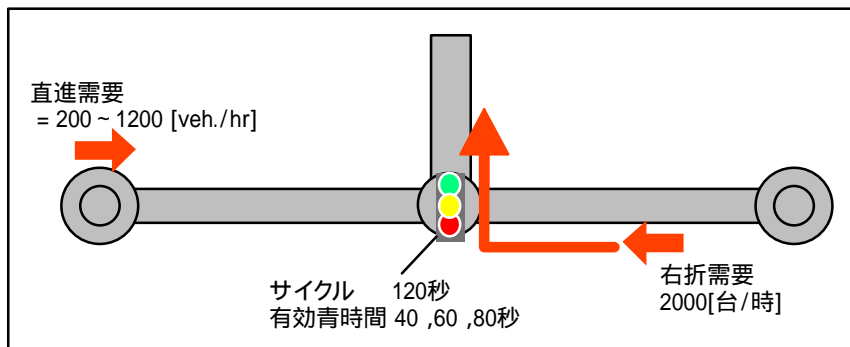


図 46 右折容量の検証用データセット

- ii) 信号パラメータはサイクルを 120 秒とし、有効青時間をそれぞれ 40、60、80 秒の 3 段階に変える。それぞれの信号パラメータの設定で、さらに対向直進の交通需要を 200、400、600、800、1000、1200 の 6 段階に変えながら、表 11 の各パラメータセットについて 1 時間程度のシミュレーションを実行し、右折交通量を観測する。
- iii) シミュレーションの観測結果を次式と比較する。

$$S_R = 1800 f (S G - q C) / (S - q) C + 3600 K / C \quad \dots(1)$$

S_R ...右折の最小ヘッドウェイの逆数(=右折交通容量) [台/時]

S ...飽和交通流率の検証の際に SFR-1 で再現された値 [台/有効青 1 時間]

q ...対向直進流入部の交通量 [台/時]

C ...サイクル長 [秒]

G ...有効青時間 [秒]

K ...信号の変わり目で捌ける台数 [台/サイクル]

f ...次の関係で与えられるギャップアクセプタンス確率

$f =$	1.00	($q=0$),	0.81	($q=200$),
	0.65	($q=400$),	0.54	($q=600$),
	0.45	($q=800$),	0.37	($q=1000$),
	0.0	($q>1000$),	中間の q の値については補間する.	

シミュレーション結果を比較する際は、図 47 のように各信号パラメータの設定ごとに横軸に対向直進交通量、縦軸に右折容量(=通過交通量)をプロットするものとする。

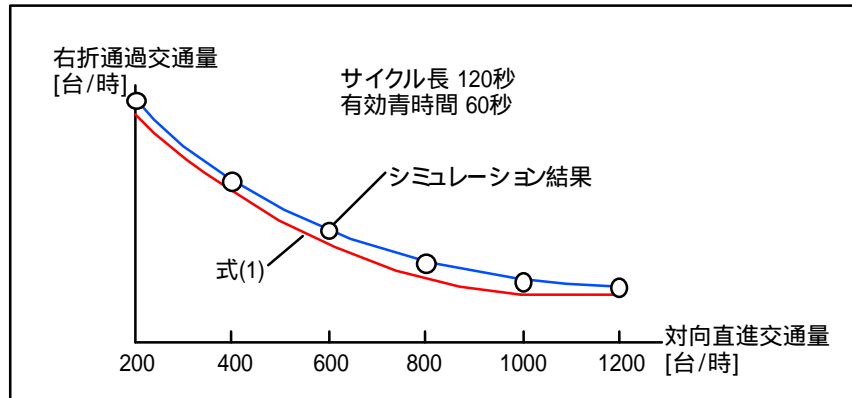


図 47 右折容量のシミュレーション結果と理論値の比較

7) 経路選択行動

この検証はシミュレーションモデルがどのような経路選択モデルを仮定しており、どの程度理論値を忠実に再現するかを確認するものである。この場合の理論とは動的な配分原理である DUO あるいは DUE であるが、ネットワークが複雑になると理論値そのものが計算できなくなるので、1OD2 経路からなる簡単なネットワークを用いて検証することになる。ここでは以下の手順で検証を行う。

- i) 図 48 のような 1OD2 経路のネットワークを用いる。合流部がボトルネックとなるよう、表 4 の c) リンク性能に関するパラメータを設定する。すなわち、リンク0～リンク2 よりもリンク3 の容量が低下するような値を用いる。合流部については、渋滞時の合流比が 1:1 となるように、表 8 の合流挙動に関するパラメータを設定する。

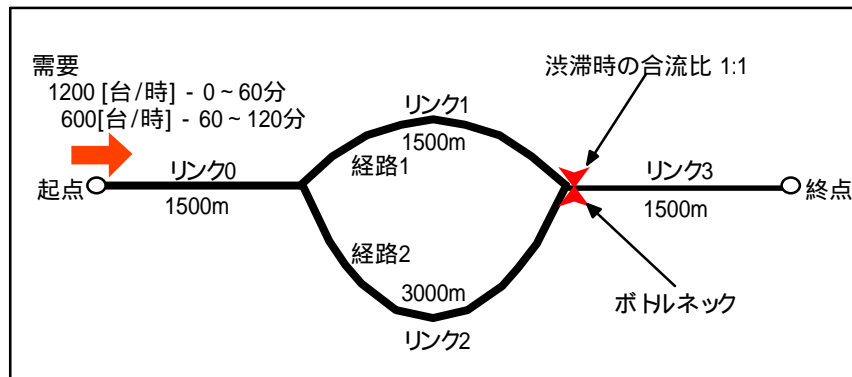


図 48 経路選択行動の再現性検証用データセットの例

- ii) モデルの経路選択規範(DUO/DUE, 最短コスト選択/確率選択, など)や経路コスト更新の時間間隔, 経路選択のタイミングなど, 関連するモデルの設定パターン³⁶をそれぞれについて 3 通りずつ用意する.
- iii) それぞれの設定パターンについて, 渋滞が発生するようなピーク需要を与えてシミュレーションを行う. 各ケースでリンク1 とリンク2 の流入と流出の累積交通量を観測し, 理論値のフローパターンと比較する. 参考のため, 需要は最初の 1 時間は 1200[台/時]に, つづく1 時間を 600[台/時]に設定し, 自由流速度を 36km/時(=10m/秒)とした場合の³⁷, DUE を達成する場合のフローパターンを図 49 に示す. また, 設定したモデルパラメータで達成されるリンク容量は, それぞれリンク0~リンク2 が 1800[台/時], リンク3 が 900[台/時]としている. ただし煩雑さをさけるためリンクの交通量を point-queue で扱っており, 渋滞が分流部まで延伸した場合を考えていないことに留意されたい.

³⁶ パラメータや設定項目はモデルにより大きく異なるので, ここでは具体的に指示しない. 各モデル利用者が関連するパラメータを明示し, 適切な値を設定すること.

³⁷ 両経路の自由旅行時間の差は 2.5 分となる.

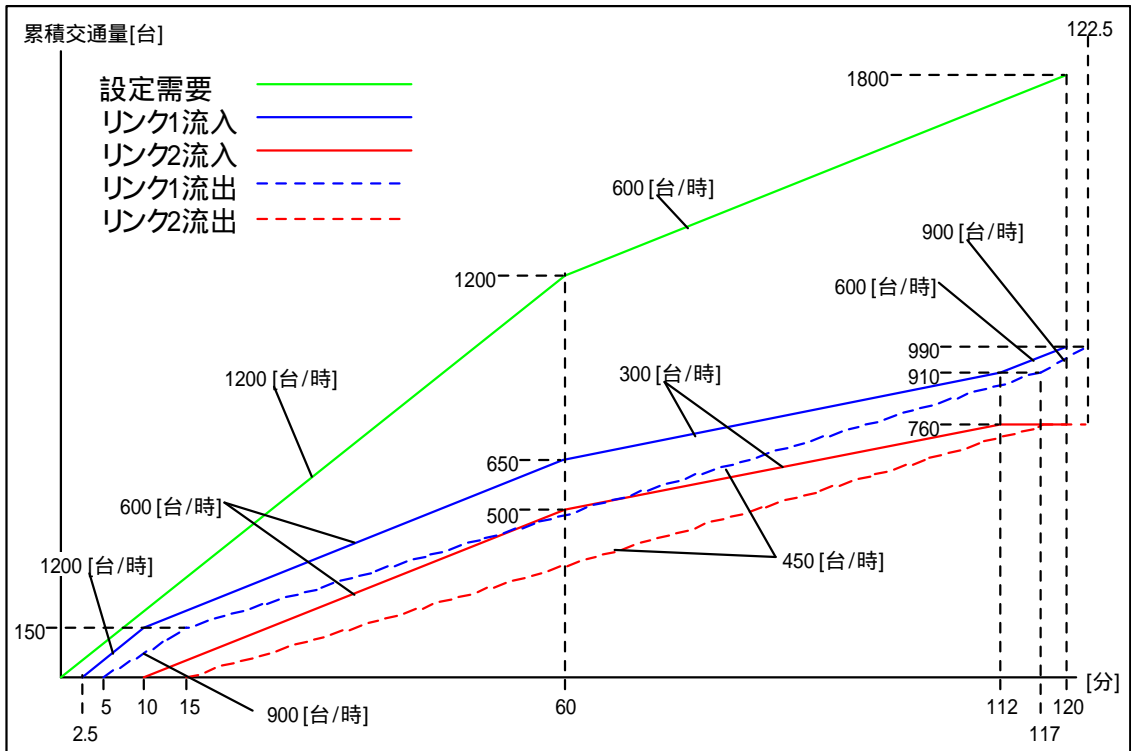


図 49 DUE を達成する場合のフローパターン

Appendix A 定常状態の概念について

追従タイプのモデルが示す交通流特性の確認は、自由流の状態と渋滞流とで別々に行う。ここでは、あるモデルパラメータの組み合わせについて、単純な1車線の単路でシミュレーションを行い、一定区間の交通状態が「定常」となったときの、その区間内の交通密度と交通量をプロットして、Q-K曲線を求めていくものである。この場合、交通状態が「定常」であるということは、「対象とする区間のどの地点をとっても、そこで観測される交通量がどの時間帯においても一定の許容誤差の範囲内で等量の流率を示している」状態と定義できる。しかし、当然ながら、時間帯の長さをどれくらいにするかによって、許容誤差の大きさも変わってくる³⁸ため、具体的な基準値を決めるのは実際には困難である。そこで、より簡易な判断基準を示す。すなわち

- i) 自由流が定常状態かどうかの判断基準は、1時間ごとに一定の交通需要を与えて³⁹シミュレーションを実行し、十分な時間が経過した⁴⁰後に、交通量の発生点およびリンク上流端と下流端における10分ごとの累積交通量を観測する。このとき上流端と下流端の累積交通量の差が時間を追うごとに増加しておらず、かつ発生点で滞留している車両がない場合、定常であると判断できる。
- ii) 渋滞流が定常状態かどうかの判断基準は、下流端にボトルネックを持つリンクで構成される単路状のネットワークに、ボトルネック容量を超える一定の交通需要を与えてシミュレーションを実行し、十分な時間が経過した後に、交通量の発生点およびリンク上流端と下流端における10分ごとの累積交通量を観測する。同時に、当該リンクにおける平均旅行速度と、そのリンクの下流端より先さらに下流側の区間における平均旅行速度を10分間ごとに観測する。このとき、上流端と下流端の累積交通量の差が、時間を追うごとに増加しておらず、かつ発生点でリンクに進入できずに滞留している車両が増加する傾向にあり、かつ当該リンクでの平均旅行速度がさらに下流側の平均旅行速度を下回っていれば、定常であると判断できる。

というものである。

³⁸ たとえば時間帯を30分としたときには「定常」とであると判断されるような交通状態でも、時間帯を5秒に変えてみると、その間に観測される交通量は場所、時間によっての変動が大きく、もはや「定常」とは言いえない。

³⁹ 時間帯ごとに同じ交通量を与えるという意味。

⁴⁰ この場合は、リンク下流端に交通量が到達するまでの時間。

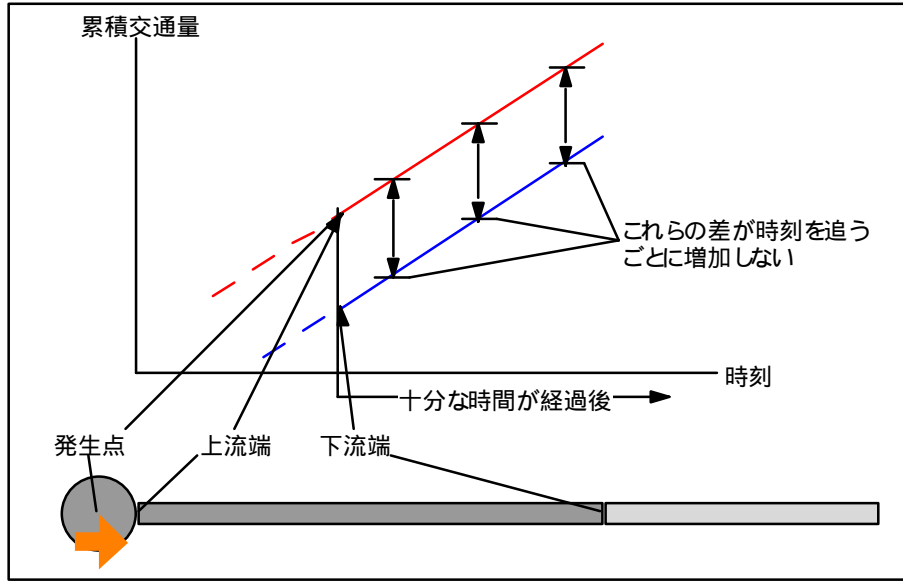


図 A1-1 :自由流が定常状態の時の概念図

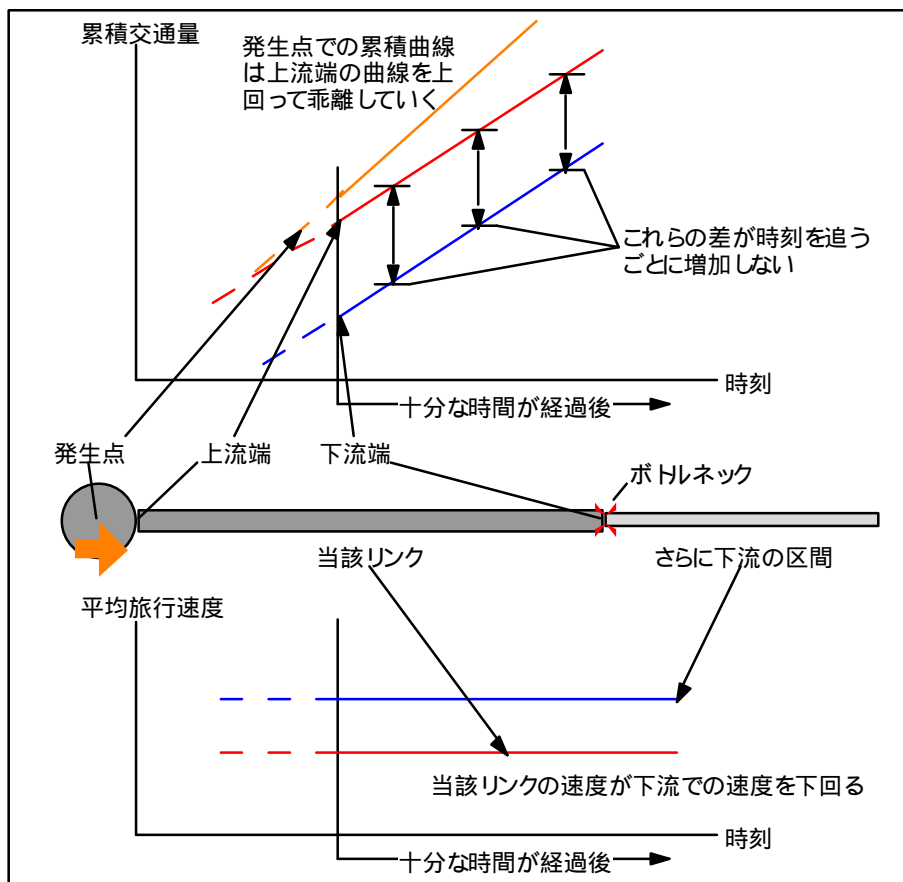


図 A1-2 :渋滞流が定常状態の時の概念図