２－４．ETC の評価
－ スマートウェイ 2001 の評価

s

１．研究組織

桑原雅夫　東京大学　生産技術研究所　教授
吉井稔雄　高知工科大学　社会システム工学科　助教授
堀口良太　東京大学　生産技術研究所　博士研究員

２．平成１２年度成果の概要

1) 道路ネットワークにおける ETC の渋滞緩和効果の評価シミュレーション

ETC が導入された場合の集約料金所での容量改善効果を，動的かつ解析的に評価する手法を提案してきた．しかしながら，現実の道路ネットワークでは，料金所での容量増大は出口のすぐ先にある信号交差点や，高速道路本線上の容量ボトルネックに到着する交通量を増大させることになるので，新たな渋滞が発生することが予想され，料金所容量の改善分が 100%活用されるわけではない．そこで，交通流シミュレータ AVENUE に，ETC 評価機能を組み込んだシミュレーションの結果を，解析的手法から得られる理論値と比較することで，性能を検証した．さらに，関越自動車道上り・新座料金所～練馬出口の区間を対象範囲としたシミュレーションで，実際に ETC が普及した場合のエリア全体での容量改善効果を予測した．このケーススタディにより，本線上あるいは出口先のボトルネックとの位置関係によっては，ETC 車両の混入割合が高まっても，十分な渋滞緩和効果が得られない場合があることが示された．

2) スマート IC 新設による渋滞緩和効果の評価シミュレーション

コンパクトな敷地に低コストで建設できる ETC 専用 IC(スマート IC)が注目されている．スマート IC の設置には，物流基地などの機能付加といった，直接の開発効果だけではなく，道路運用の面からも交通需要が空間的に分散されるため，既存 IC や本線上ボトルネックに対する負荷が軽減され，渋滞緩和に間接的に役立つことが期待される．本研究では ETC の普及段階を想定しながら，スマート IC の渋滞緩和への間接的な効果を推定することを目的とする．具体的にはスタディエリアにおける高速道路利用者の OD 交通量を推定し，ETC 普及後のスマート IC が設置された場合の交通状況を，ETC の導入前とシミュレーションで比較することで，総旅行時間，総走行距離などの指標がどのように変化するかを分析した．機会発の広域ネットワークシミュレーションモデル SOUND を用い，高速道路利用の OD 交通量はセンサス，PT 調査や JH の独自調査によるものなど，利湯尾可能なデータを用いて推定した．ただし IC 新設による周辺地域の開発に伴う誘発交通量は，簡単のため今回は推定しない．

今回のシミュレーションでは，多くのパラメータ値の設定が交通量統計資料を論拠としている．とくに日交通量レベルでの数値から大まかなゾーンごとに時間帯別 OD 需要を設定しており，その精度にはまだまだ不十分な面がある．また ETC 車両の経路選択挙動についても，単純な仮定をおいている．これらの設定データの信頼性の議論を経ずして，実務レベルでの結論を出すことはできないが，今回の研究では ETC の導入効果をネットワークで評価する方法論を確立するという目的は達成することができたといえる．

3) 需要の時間的分散による渋滞緩和効果の定量的評価

ETC が十分に普及すれば，時間帯別の料金設定や季節料金の設定など，各種料金制度の導入が技術的に容易になる．しかしながら，ETC 技術の導入によって，短・中期的な視野の下，料金制度を上手に活用し需要を空間的・時間的に分散させることができれば，どの程度渋滞を緩和することができるかについては明らかにされていない．ここでは，このうちのトリップの経路変更と時刻の調整，すなわち空間的・時間的な需要の分散による渋滞削減可能性について，実データを基に交通流シミュレーションモデルを用いて定量的に評価し，比較検討を行った．その結果，時間的な分散効果は，平均 10 分から 15 分という小さな時間変更であってもかなりの渋滞削減効果が期待できること，さらに空間的な分散効果と比較して，はるかに大きな効果を得ることができるというポテンシャルを持ち合わせていることを確認した．さらに，実際に時間的分散制御を行うにあたり，需要を時間的に分散させる方法として，ボトルネックでの vertical queue 想定下での遅れ時間分だけ出発時刻をシフトさせるという考え方を提案した．さらに，提案した方法により，計算されたシフト時間だけ出発時刻をシフトさせた場合の交通状況改善効果について，実ネットワークを用いて定量的に分析した．その結果，多少の渋滞は残るものの，交通状況が大幅に改善されることが確認された．

３．詳細報告

3.1　道路ネットワークにおける ETC の渋滞緩和効果の評価シミュレーション

１）本研究の目的

昨年度の研究では，ETC が導入された場合の集約料金所での容量改善効果を，動的かつ解析的に評価する手法[1]を提案した．しかしながら，現実の道路ネットワークでは，料金所での容量増大は出口のすぐ先にある信号交差点や，高速道路本線上の容量ボトルネックに到着する交通量を増大させることになるので，新たな渋滞が発生することが予想され，料金所容量の改善分が 100%活用されるわけではない．

前述の解析的手法でこのような正味の改善効果を評価するためには，より複雑なネットワークでの動的交通解析を行うこととなり，限定された状況でしか解法が示されていないのが現状である．よって，ETC 導入効果を評価できる料金所シミュレーションを既存のネットワークシミュレーションに組み込み，実際のネットワークに適用することが，本研究の目的である．

以下ではまず，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タ AVENUE[2]に，ETC 評価機能を組み込んだシミュレーションの結果を，解析的手法から得られる理論値と比較することで，性能を検証した事例を報告する．さらに，関越自動車道上り・新座料金所～練馬出口の区間を対象範囲としたシミュレーションで，実際に ETC が普及した場合のエリア全体での容量改善効果を予測した事例を紹介する．

２）交通流シミュレータ AVENUE への ETC 評価機能の追加

AVENUE はハイブリッドブロック密度法を用いて交通流の計算を行っている．これは道路を車線ごとに 10～20m のブロックとよぶ区間に分割し，ブロック内の車両密度を用いて隣接するブロック間の流量を交通量-密度関数を用いて計算する手法で，これにより渋滞の延伸／解消の状況を厳密に再現することができるという特徴をもつ．

さらにAVENUEはオブジェクト指向プログラミングで開発されており，「AVENUE 基本クラス(AFC)」からユーザクラスを派生させることで，自由度の高いカスタマイズ能力を提供する．ここでは，車両を移動させるという基本機能をもつブロックのクラスから，一定時間が経過してからでないと車両を移動させない機能を追加した料金所ブロックや，ETC 車両のみ通過させる ETC ブロックなどを派生させ，ETC 料金所のシミュレーションを実現[3]している．

したがってブロック密度法の計算の一環として，料金所機能を実現しているため，AVENUE での ETC 評価シミュレーションでは，料金ゲートの容量をパラメータとして与えることとなる．これは車両の運転挙動に関する数多くのパラメータを設定しなければならない，追従型のミクロシミュレーションと比べ，ただ一つのパラメータでよく，直感的に妥当な値を設定することができるため，扱いやすいシミュレーションとなっていることが特徴である．なお，料金所 1 ゲートあたりの一般的な容量は，都市間高速出口で 200～300[台/時]，都市内高速入口で 500～600[台/時]，ETC 専用ゲートで 600～800[台/時]といわれており，以下のシミュレーションではこれらの範囲から容量値を設定している．

３）ETC シミュレーションの検証

堀口ら[1]はこれまでに ETC 料金所の容量を解析的に求める手法を提案しているが，これによると ETC 料金所のゲート構成が「ETC 混用×m＋一般×n」の場合，「一般×(m+n)」と比較し

た容量の改善割合gは，n および m によらず，一般車両と ETC 車両それぞれのゲートでのサービス時間 h，h_c，および普及率 p だけの，次のような関数となる．

$$g = h / ((1 - p)h + ph_c) \qquad ? \text{ (式 1)}$$

また「ETC 専用×m＋一般×n」の構成では，料金所容量 C^*は一般ゲート容量 C^N と ETC 専用ゲート容量 C^E より，

$$C^* = nC^N / (1 - p) \qquad ? \text{ (式 2)}$$

となることが指摘されている．

そこで，AVENUE が図 1 に示す 4 通りの ETC 料金所のシミュレーションで，理論通りに容量を再現しているかどうかを検証した．各ケースとも上流からの需要は 1800 台/時で，1 時間のシミュレーションを行っている．ETC 混入割合は 10%とした．また一般車両のサービス時間は 20.5 秒，ETC 車両は 6.0 秒とした．これは一般ゲートの容量が 175 台/時，ETC 専用ゲートが 600 台/時に相当する．

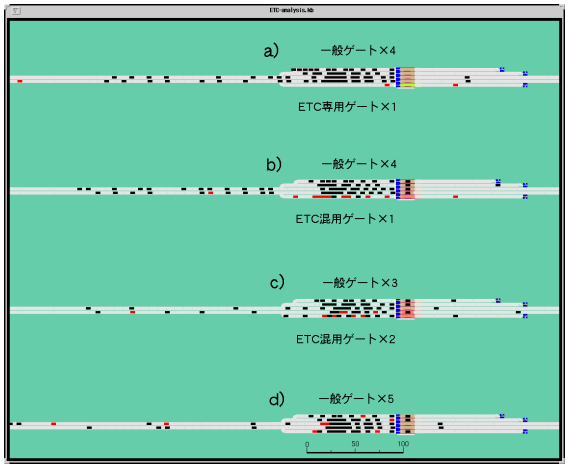


図 1：シミュレーションのケース設定

a) 「一般×4＋ETC 専用×1」の場合…理論値では一般ゲートからの渋滞が本線に延伸した後は，(式 2)より
$C^* = 175 * 4 / (1 - 0.1) = 778$ [台/時]
と求められる．シミュレーションでは本線に渋滞が延伸してから 748[台/時]の容量が観測されている．

b) 「一般×4＋ETC 混用×1」の場合…理論値では(式 1)より
$C^* = 175 * 5 * 20.5 / ((1 - 0.1) * 20.5 + 0.1 * 6.0) = 942$ [台/時]
となる．シミュレーションでは 932[台/時]の容量が観測されている．

c) 「一般×3＋ETC 混用×2」の場合…理論値では b)と同じ 942[台/時]と求められる．シミュレーションでは 917[台/時]の容量が観測されている．

d) 「一般×5」(参考ケース)の場合…容量は 175×5=875[台/時]と求められる．シミュレーションでは 877[台/時]の容量が観測されている．

図 2 は a)～d)のシミュレーション結果をグラフ化したものである．これを見ると，おおむね良好な再現結果を得ているが，a)～c)ではシミュレーション値が解析値よりも若干小さい値を示していることがわかる．これは次の理由による．

すなわち，解析的手法では，到着交通の中に ETC 車両が均一に混入しているとして，容量を算出しているが，AVENUE ではランダム到着が仮定されており，ETC 車両の混入割合が短い時間間隔で見るとポアソン分布にしたがって変動するため，理論値から乖離してしまうものである．

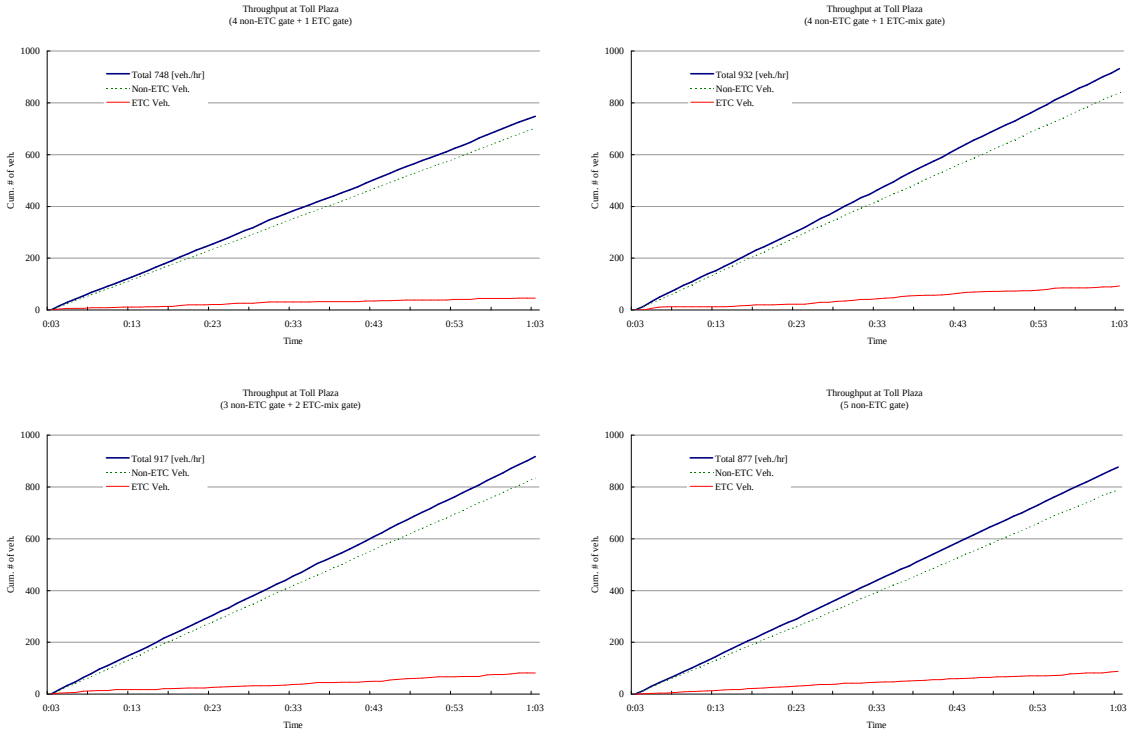


図 2：a)～d)のシミュレーション結果

4）関越自動車道・新座料金所～練馬出口へのシミュレーションの適用

つぎに，ETC 評価機能が組み込まれた AVENUE を，図 3 に示す関越自動車道上り・新座料金所～練馬出口の区間に適用した．対象としたのは，新座料金所の上流にある所沢 IC(8.31KP)から，練馬出口にかけての約 8km の区間で，途中には東京外環自動車道に接続する大泉 JCT がある．

この区間では休日に新座料金所を先頭とする渋滞が頻繁に発生し，ETC 導入による渋滞緩和効果がもっとも期待される区間の一つである．しかしながら，練馬出口の直下流には信号交差点があり，高速道路本線と比べて明らかに容量が低くなっている．実際，東京外環自動車道が接続する以前は，外環方面へ迂回する交通もすべて練馬出口を通過していたため，ここが大きな渋滞発生地点となっていた．ETC 導入後は，この練馬出口への到着需要が大きくなるため，渋滞が発生することも考えられる．

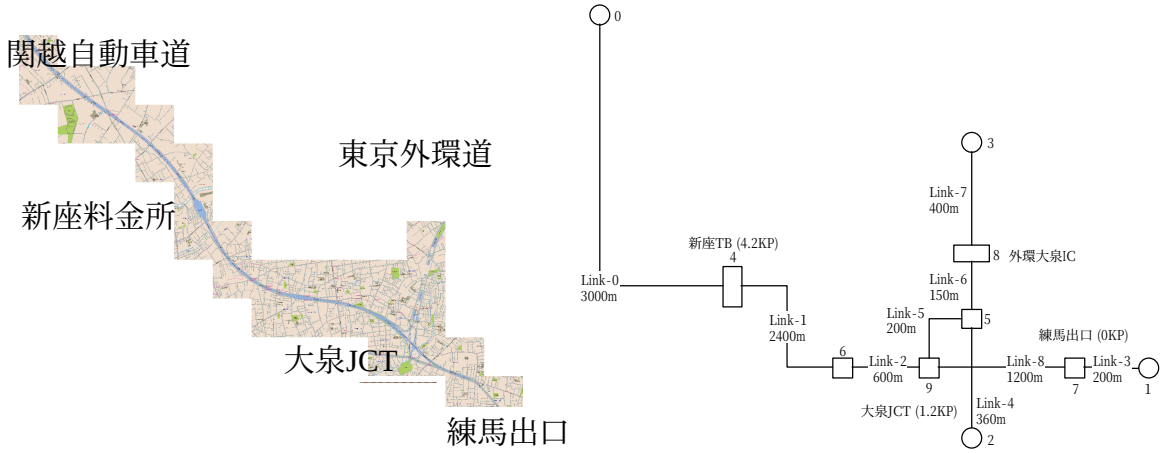


図 3：対象エリアとネットワーク模式図

シミュレーションでは平成 10 年 3 月 8 日(日)に観測された感知器交通量を用いた．これは図 4 に示すように，日交通量では年間で 30 番目に相当する比較的交通量の多い休日である．図 5 は所沢 IC～大泉 JCT の区間に設置された感知器から得られた，交通量と区間平均速度をプロットしたものである．グラフでは 14 時の交通量ピークから渋滞が発生し，17 時頃に渋滞がピークとなり，20 時に解消していることが読みとれる．

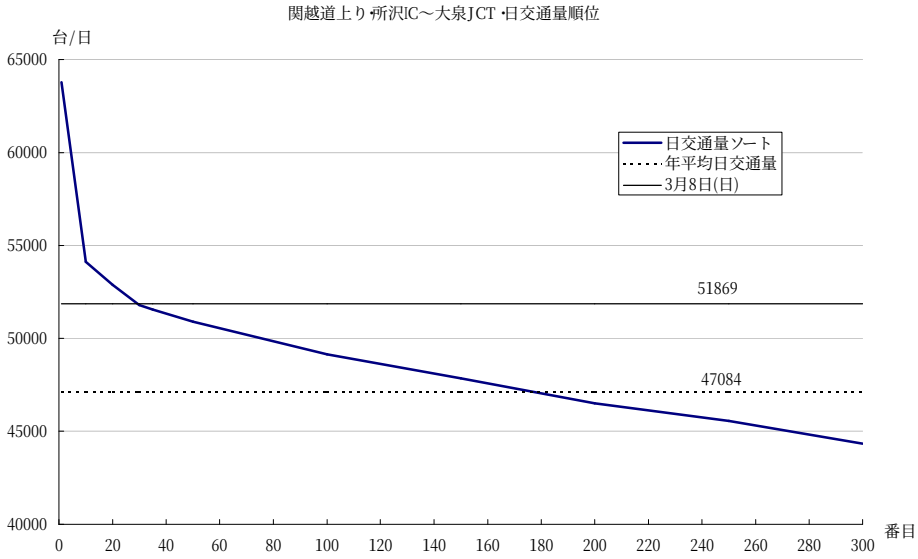


図 4：平成 10 年の年間日交通量順位

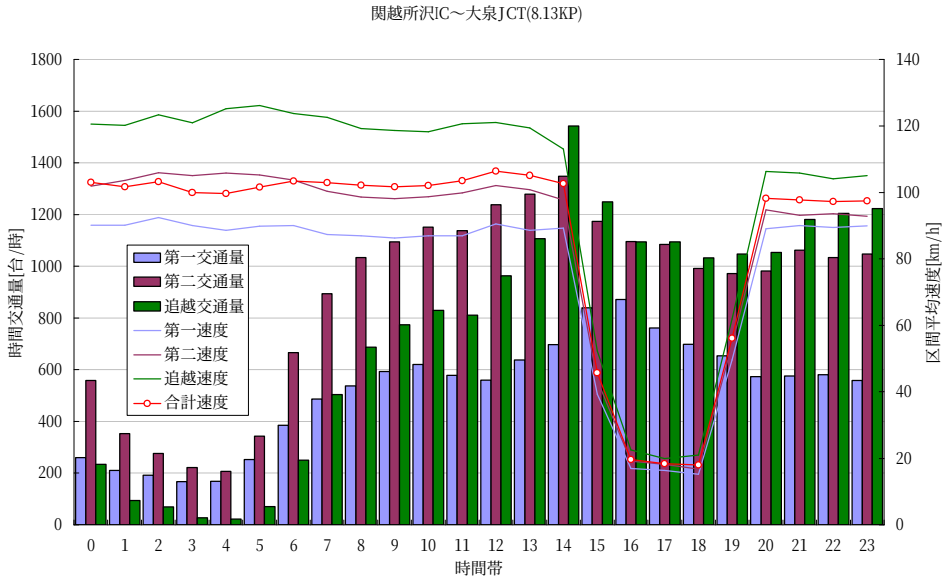


図 5：関越・所沢 IC～大泉 JCT の感知器交通量と区間平均速度

現況再現のシミュレーションでは，新座料金所のゲート数を 12 車線として，一般車両のゲートにおける平均ヘッドウェイのみをキャリブレーション対象のパラメータとした．数度の試行錯誤の結果，平均ヘッドウェイは 12 秒とした．練馬出口先の信号交差点については，2 車線の飽和交通流率を 3600[pcu/有効青 1 時間]とし，60%のスプリットを流出方向に割り当てた．

図 6 は 12 時から 20 時における，所沢 IC 下流 8.31KP での交通量と同地点での速度を，感知器による観測データとシミュレーション結果でそれぞれ比較したグラフである．また図 7 は大泉 JCT から練馬出口までの区間における，交通量と旅行時間を比較したグラフである．シミュレーションでは 14 時になると速度が急激に低下しており，この時点で渋滞が上流に延伸しているが，下流の練馬出口では渋滞していない状況を意味している．

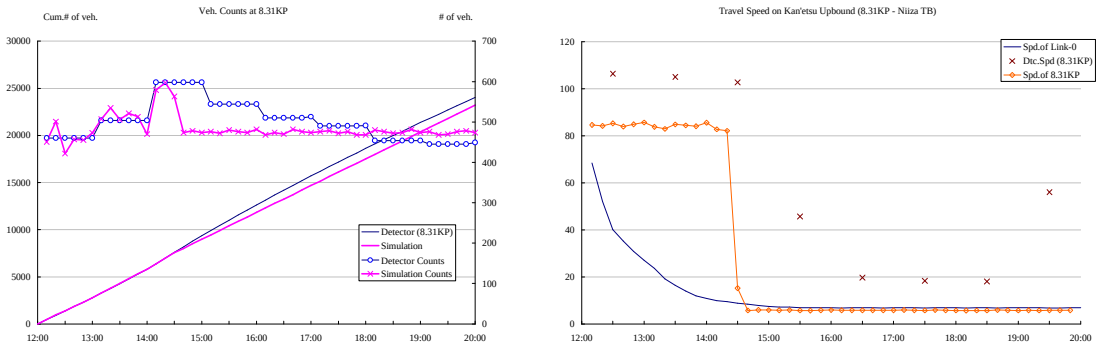


図 6：現況再現ケース～8.31KP での交通量(左)と地点速度(右)の比較

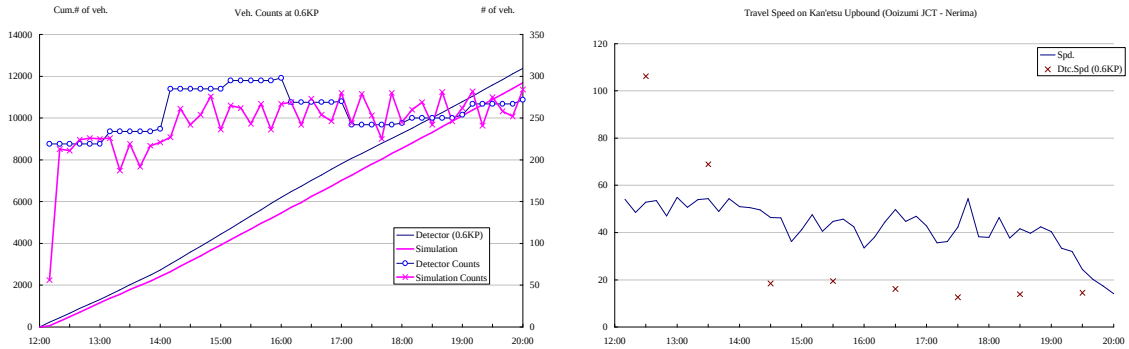


図 7：現況再現ケース～0.6KP の交通量(左)と旅行速度比較(右)の比較

この現況再現ケースを基準に，ETC 車両の混入割合が 30%の場合，渋滞状況にどのような変化があるか評価した．料金所のゲート構成は，ETC 専用ゲートを 2 車線設け，残りの 10 車線は一般ゲートのままである．ETC 専用ゲートの容量は 800[台/時]とした．

図 8 と図 9 は，それぞれ 8.31KP と 0.6KP での交通量と平均速度を，感知器データとシミュレーション結果で比較したグラフである．現況再現のケースと比べると，上流での渋滞が緩和されている反面，練馬出口で渋滞が発生していることがわかる．

図 10 は現況再現ケースと ETC 導入後のケースで，遅れ時間を比較したものである．円柱の高さは総遅れ時間を示している．単純に料金所容量の改善分だけで評価すると，ETC 車両が 30%混入した場合の遅れ時間は，80%以上減少することになるが，エリア全体では半減するにとどまる．遅れ時間の内訳を見ると，練馬出口からの渋滞が大泉 JCT 上流にまで達しており，これが新たに発生した分だけ，渋滞緩和効果が相殺されていることがわかる．

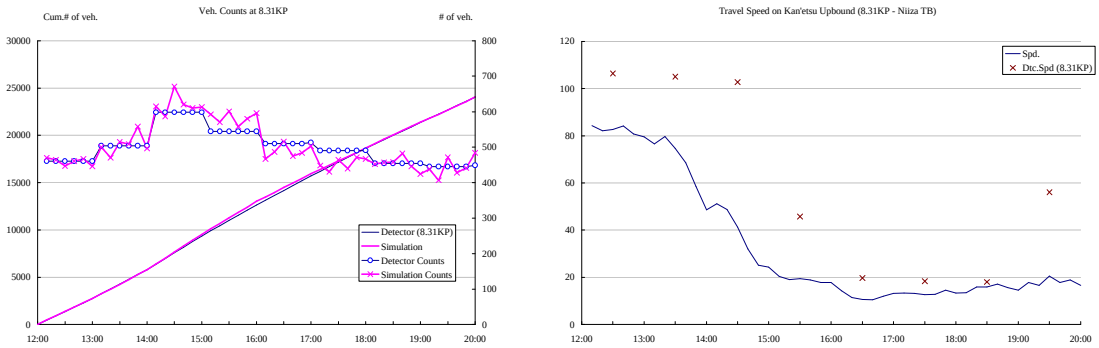


図 8：ETC 混入率 30%～8.31KP での交通量(左)と地点速度(右)の比較

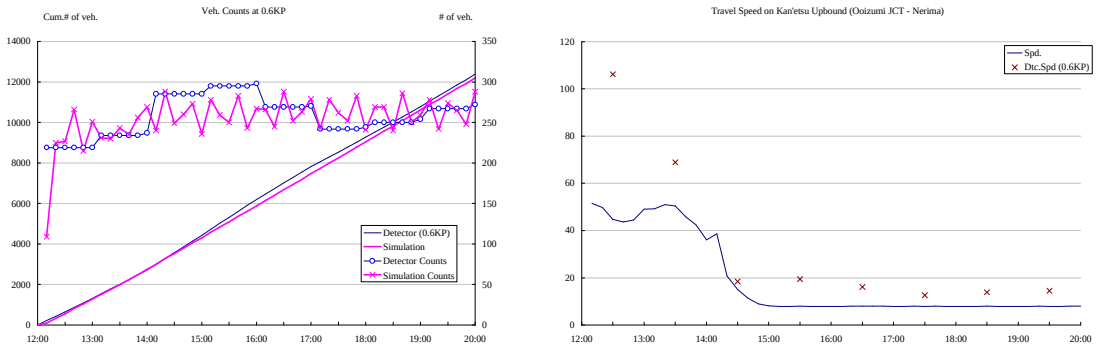


図 9：ETC 混入率 30%～0.6KP の交通量(左)と旅行速度比較(右)の比較

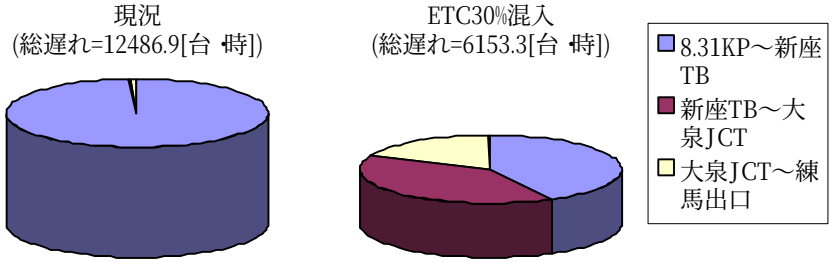


図 10：総遅れ時間の比較

5）まとめ

本研究では，ETC 導入の効果をネットワーク全体で評価できるシミュレーションを開発した．また，関越道上りの新座料金所から練馬出口を対象として，ETC が導入された場合の渋滞緩和効果を評価した．このケーススタディにより，本線上あるいは出口先のボトルネックとの位置関係によっては，ETC 車両の混入割合が高まっても，十分な渋滞緩和効果が得られない場合があることが示された．

3.2　スマート IC 新設による渋滞緩和効果の評価シミュレーション

1）研究の背景

コンパクトな敷地に低コストで建設できる ETC 専用 IC(スマート IC)が注目されている．スマート IC の設置には，物流基地などの機能付加といった，直接の開発効果だけではなく，道路運用の面からも交通需要が空間的に分散されるため，既存 IC や本線上ボトルネックに対する負荷が軽減され，渋滞緩和に間接的に役立つことが期待される．

2）研究方針

本研究では ETC の普及段階を想定しながら，スマート IC の渋滞緩和への間接的な効果を推定することを目的とする．具体的にはスタディエリアにおける高速道路利用者の OD 交通量を推定し，ETC 普及後のスマート IC が設置された場合の交通状況を，ETC の導入前とシミュレーションで比較することで，総旅行時間，総走行距離などの指標がどのように変化するかを分析する．シミュレーションとして既開発の広域ネットワークシミュレーションモデル SOUND

を用いる．

高速道路利用の OD 交通量はセンサス，PT 調査や JH の独自調査によるものなど，利用可能なデータを用いて推定した．ただし IC 新設による周辺地域の開発に伴う誘発交通量は，簡単のため今回は推定しない．

３）広域ネットワークシミュレーション・SOUND

SOUND[5]は都市圏レベルの広域ネットワークに適用できる動的交通シミュレーションである．リンク毎に容量や自由流速度，ジャム密度などのマクロな交通特性を与えることで，リンク上の車両密度を管理するフローモデルを備えており，比較的少ないパラメータで動的な渋滞現象を再現できることが特徴である．

また，確率的経路選択モデルを内包しており，ネットワーク整備効果や経路誘導効果など，広域に影響範囲が及ぶ各種の道路交通施策を評価することができる．SOUND の最新のバージョンでは，道路利用者層別に経路選択モデルを設定できるので，

・一般車両…従来の IC しか利用できない経路を取る
・ETC 車両…スマート IC を利用する経路も選択できる

のように設定することで，今回の研究目的に沿ったシミュレーションも可能である．

４）スタディエリアについて

本研究のスタディエリアには，今のところ東名高速道路・厚木 IC～川崎 IC 区間(図 11)を想定している．これは次のような理由による．

・人口密集地を通過しており，IC 新設による交通量の分散効果が見込める．
・料金所やボトルネックでの渋滞があり，交通量の分散による効果が顕在化する．

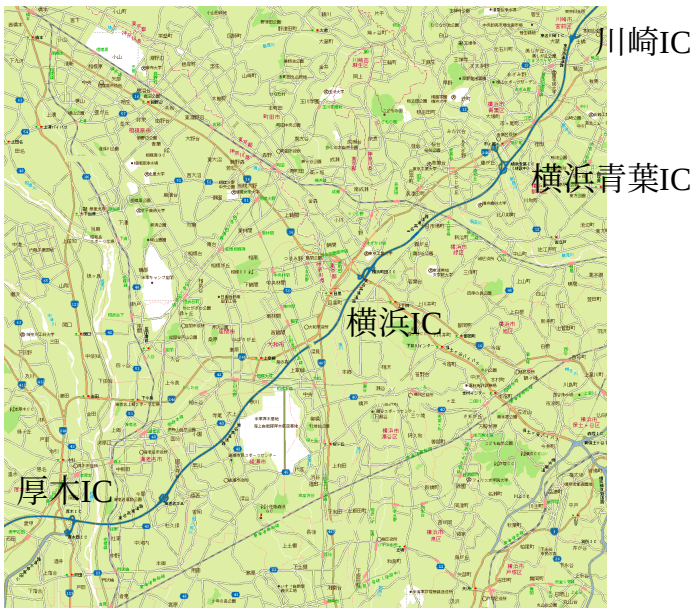
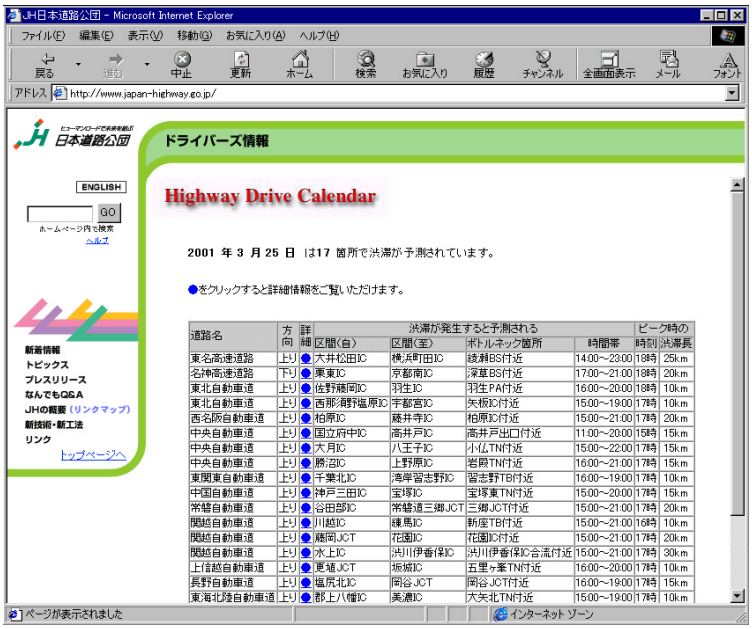


図 11：東名自動車道・厚木 IC～川崎 IC 区間のスタディエリア

このエリアでは，上り方向で厚木 IC 下流に位置する，綾瀬バス停や大和バス停といった容量ボトルネック区間を先頭として，休日午後に頻繁に渋滞が発生しており，大きな問題となっている(図 12)．厚木 IC から横浜町田 IC の区間距離はおよそ 18km あるが，この間にスマート IC を設置し，IC 間距離を 5km 程度に短縮してやることで，ETC 車両は綾瀬ボトルネックの手前で高速道路を降りる選択肢ができるため，需要の分散が期待できる．



道路名	方向	詳細	区間(自)	区間(至)	ボトルネック箇所	時間帯	ピーク時の時刻	渋滞長
東名高速道路	上り	●	大井松田IC	横浜町田IC	綾瀬BS付近	14:00～23:00	18時	25km
名神高速道路	下り	●	栗東IC	京都南IC	深草BS付近	17:00～21:00	18時	20km
東北自動車道	上り	●	佐野藤岡IC	羽生IC	羽生PA付近	16:00～20:00	18時	10km
東北自動車道	上り	●	西那須野塩原IC	宇都宮IC	矢板IC付近	15:00～19:00	17時	10km
西名阪自動車道	上り	●	柏原IC	藤井寺IC	柏原IC付近	15:00～21:00	17時	20km
中央自動車道	上り	●	国立府中IC	高井戸IC	高井戸出口付近	11:00～20:00	15時	15km
中央自動車道	上り	●	大月IC	八王子IC	小仏TN付近	15:00～22:00	17時	15km
中央自動車道	上り	●	勝沼IC	上野原IC	岩殿TN付近	16:00～21:00	17時	15km
東関東自動車道	上り	●	千葉北IC	湾岸習志野IC	習志野TB付近	16:00～19:00	17時	10km
中国自動車道	上り	●	神戸三田IC	宝塚IC	宝塚東TN付近	15:00～20:00	17時	15km
常磐自動車道	上り	●	谷田部IC	常磐道三郷JCT	三郷JCT付近	15:00～21:00	17時	20km
関越自動車道	上り	●	川越IC	練馬IC	新座TB付近	15:00～21:00	16時	10km
関越自動車道	上り	●	藤岡JCT	花園IC	花園IC付近	15:00～21:00	17時	20km
関越自動車道	上り	●	水上IC	渋川伊香保IC	渋川伊香保IC合流付近	15:00～21:00	17時	30km
上信越自動車道	上り	●	更埴JCT	坂城IC	五里ヶ峯TN付近	16:00～20:00	17時	10km
長野自動車道	上り	●	塩尻北IC	岡谷JCT	岡谷JCT付近	16:00～19:00	17時	15km
東海北陸自動車道	上り	●	郡上八幡IC	美濃IC	大矢北TN付近	15:00～19:00	17時	10km

図 12：日本道路公団ホームページでの渋滞予測(一番上が綾瀬 BS での渋滞)

5）基本ケースでのシミュレーション設定について

まず，ETC 導入前の交通状況を代表する基本ケースのシミュレーション設定を行う．図 13 は平成 10 年度[6]における，厚木 IC～横浜 IC 区間上り方向の休日・年間平均時間交通量と平均速度グラフである．平均値であるにもかかわらず，午後の交通量ピーク時に速度の落ち込みが見られるため，このピークを含む 12 時間帯(10:00～22:00)を対象時間帯とした．

シミュレーションでの需要は，この時間交通量を拡大して作成した．拡大率を 120%とするとき，ピーク時の交通量(約 5200 台/時)は年間時間帯交通量順位のおよそ 30 番目となる．図 13 には拡大した交通量も併記した．

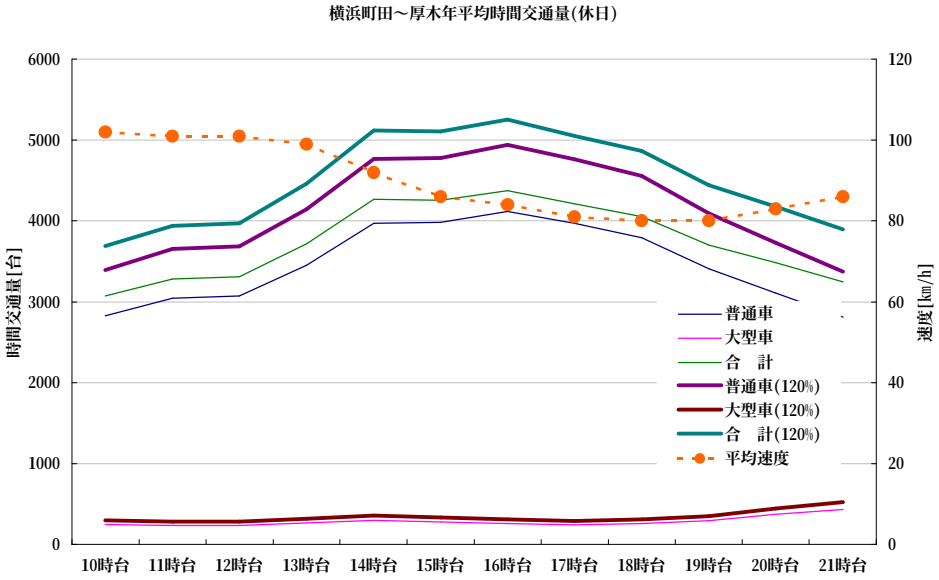


図 13：厚木 IC～横浜 IC(上り)の休日・年間平均時間交通量と平均速度(平成 10 年度)

SOUND では，需要は OD ペア毎に設定する必要がある．このため，交通量統計の IC 勢力範囲と，IC 関連ゾーン別日交通量から，図 14 のような OD パターンを作成し，これに前出図 13 の 120%拡大交通量を掛け合わせ，OD 交通量を設定している．

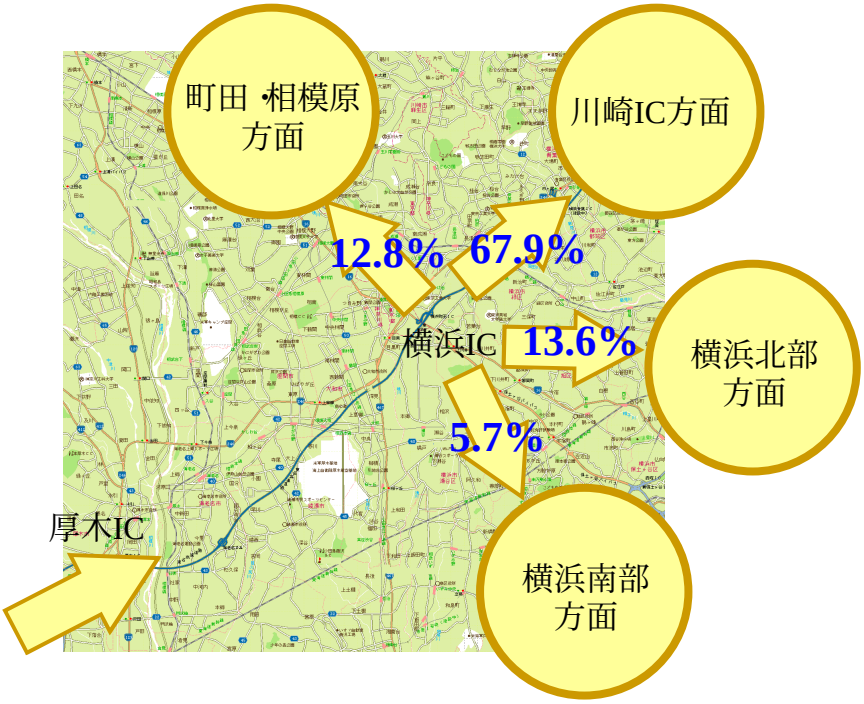


図 14：方面別交通需要パターンの設定

図 15 に SOUND での対象ネットワーク簡略図を示す．シミュレーションに必要なリンクパラメータは，次の表 1 のように設定した．なお今回は，綾瀬ボトルネック区間容量を年間時間

交通量順位での 200～300 番目程度のレベルとした．また横浜 IC 出口の容量についても，接続する国道 16 号の容量マージンの大きさに影響されるため，料金ゲート数に比べて小さい容量を仮定している．

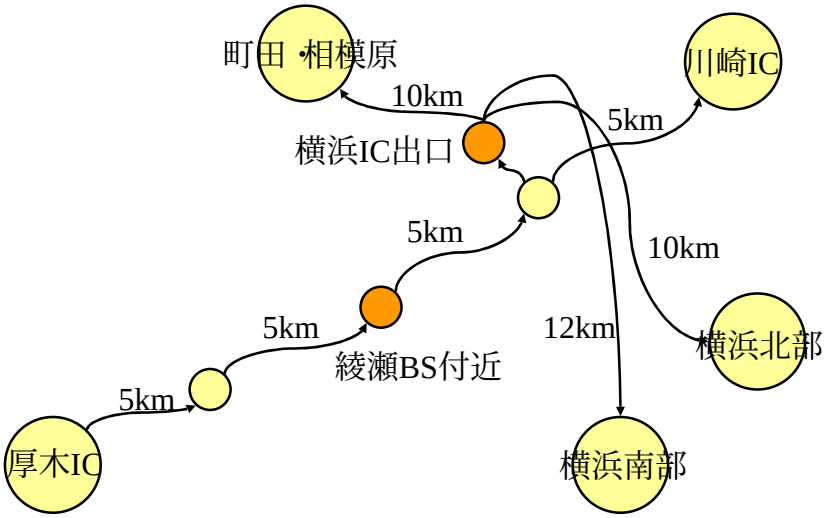


図 15：シミュレーション対象ネットワーク

表 1：シミュレーションのリンクパラメータ

パラメータ	値
高速道路本線容量	6000 [pcu/時]
高速道路本線車線数	3 [車線]
綾瀬 BN 区間容量	5000 [pcu/時]
高速道路本線自由流速度	80 [km/時]
横浜 IC 出口容量	1200 [pcu/時]
一般道容量	高速道路より十分に大きい
一般道平均速度	25 [km/時]

6）ETC 導入後のシミュレーションケース設定について

ETC 導入後のケースについては，本線交通における ETC 車両の混入率が 30%になった将来時点とした．ただし，交通量の伸びは仮定しておらず，総需要は基本ケースと同じである．

また，スマート IC が綾瀬バス停の前後区間に設置されると仮定し，図 16 のようなネットワークでシミュレーションしている．図中の赤いリンクは，スマート IC から目的地へ向かうリンクである．ここでは町田・相模原方面と横浜南部方面へ向かう交通については，ETC 車両が新設スマート IC を利用する可能性があるとしている．

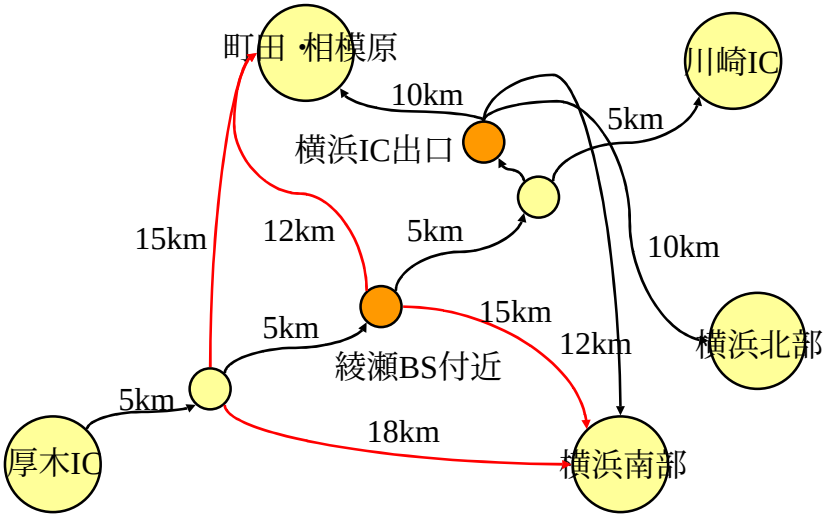


図 16：ETC 評価ケースの対象ネットワーク

7）シミュレーション結果

図 17 および図 18 は，基本ケース結果から綾瀬ボトルネック付近と横浜 IC 付近の渋滞状況を示したものである．綾瀬ボトルネックでは交通量が増加し始める 14:00 過ぎから渋滞が発生し，18:00～19:00 のピークでは速度も 20km/h 近くまで低下している状況である．また，横浜 IC についても，夕方 18:00 頃に渋滞が延伸する．

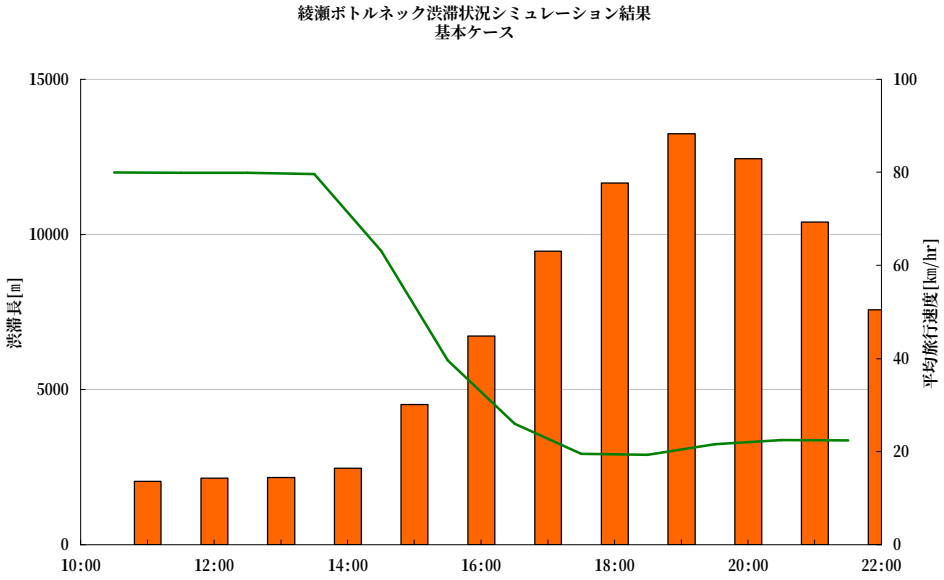


図 17：基本ケース結果～綾瀬ボトルネック付近の渋滞状況

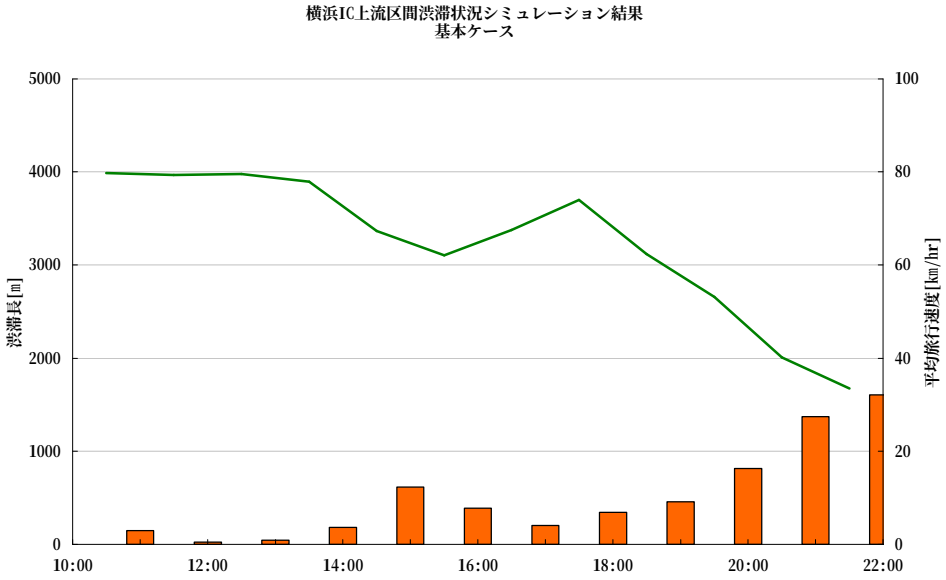


図 18：基本ケース結果～横浜 IC 付近渋滞状況

一方，図 19 と図 20 は ETC が普及し，スマート IC が新設された場合のシミュレーション結果である．この場合，綾瀬ボトルネックでの渋滞は持続時間，渋滞長とも基本ケースより大幅に減少している．また，横浜 IC については渋滞が見られず，需要の分散効果が十分に発揮された結果となった．

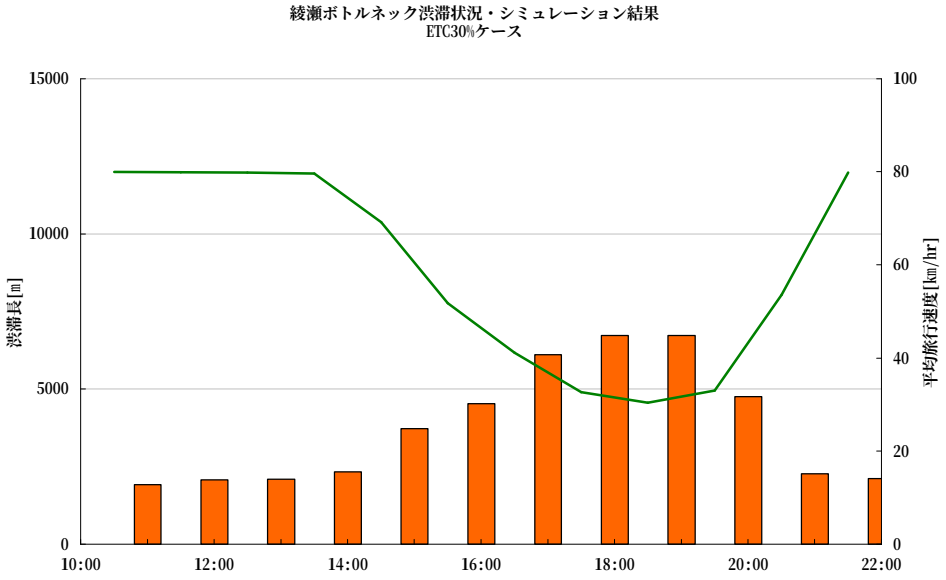


図 19：ETC 評価ケース～綾瀬ボトルネック付近渋滞状況

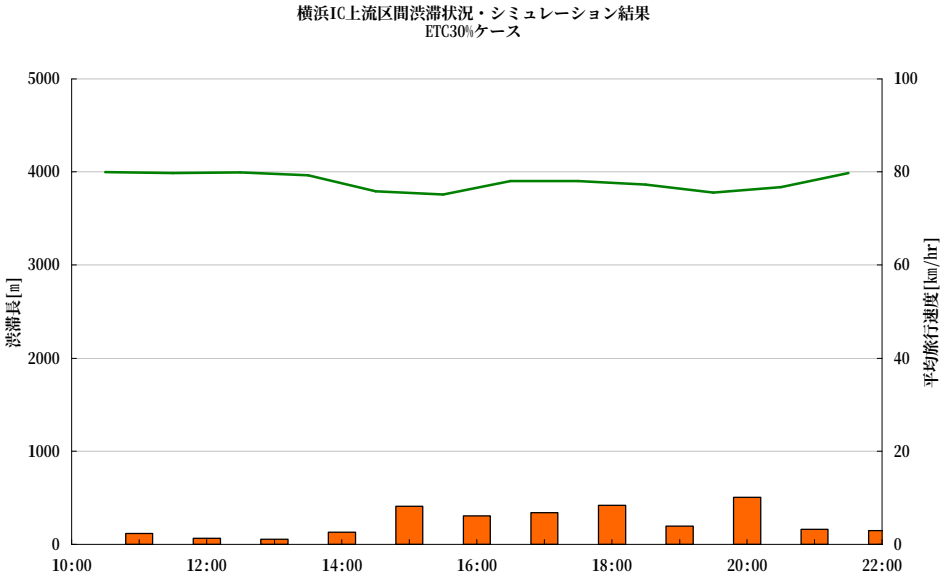


図 20：ETC 評価ケース結果～横浜 IC 付近渋滞状況

8）まとめ

今回のシミュレーションでは，多くのパラメータ値の設定が交通量統計資料を論拠としている．とくに日交通量レベルでの数値から大まかなゾーン毎に時間帯別 OD 需要を設定しており，その精度にはまだまだ不十分な面がある．また ETC 車両の経路選択挙動についても，単純な仮定を置いている．

これらの設定データの信頼性の議論を経ずして，実務レベルでの結論を出すことはできないが，今回の研究では ETC の導入効果をネットワークで評価する方法論を確立することであり，その目的は達成されたといえる．

3.3　需要の時間的分散による渋滞緩和効果の定量的評価

1）本研究の目的

TDM には，長期的に都市構造を変化させて需要の分布パターンを変化させようとするものから，より短期的にトリップの利用交通機関，経路，あるいは出発時刻を調整しようというものまで，幅広い施策が含まれる．本研究においては，このうちのトリップの経路変更と時刻の調整，すなわち空間的・時間的な需要の分散による渋滞削減可能性について，実データを基に交通流シミュレーションモデルを用いて定量的な評価を行なう．さらに，実際の需要を時間的に分散させるためには，各車両の出発時刻を調整する必要があり，出発時刻をシフトすべき時間を決定しなければならない．ここでは，このシフト時間の決定方法を提案し，提案した方法に従って出発時刻の制御を実施した場合の影響を簡単な実ネットワークを用いて評価する．

ETC が十分に普及すれば，時間帯別の料金設定や季節料金の設定など，各種の料金制度を導入する事が技術的に容易になる．本研究は，短・中期的な視野の下，料金制度を上手に活用し需要を空間的・時間的に分散させることが出来れば，どの程度まで渋滞を緩和することができるかについて定量的に把握する事を目的とする．

２）対象ネットワーク

本研究では, 実ネットワークとして, 以下の 2 つのネットワークを対象として分析を進めた.

a.東京都南西部街路ネットワーク（図 21）

b.木曽福島周辺ネットワーク（図 22）

a.の東京都南西部ネットワークでは，需要の空間的分散と時間的分散の効果の違いについて考察し, b.木曽福島周辺ネットワークでは, 実際に需要を制御する方法について考察を加える.

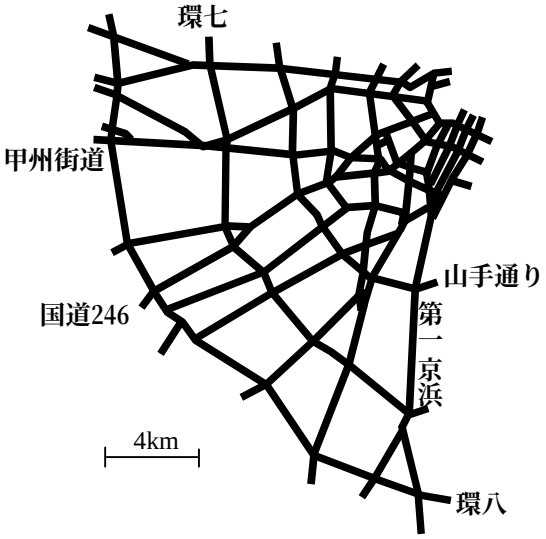


図 21　東京都南西部ネットワーク

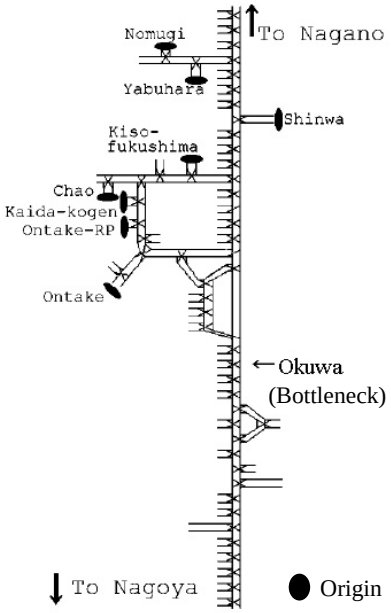


図 22　木曽福島周辺ネットワーク

３）需要の空間的分散と時間的分散による交通状況改善効果の比較検討

ここでは，東京都南西部の一般道路ネットワークを対象とし，後述の三つのシナリオでトリップの空間的・時間的分散を行った場合の渋滞削減効果について比較検討を行った.

a)分析ネットワークと使用データ

対象地域（図 21）は，東西に 13km，南北に 18km の東京都南西部地域で，ノード数 249, リンク数 623 から構成される．OD ノードは首都高速道路のオンランプ・オフランプ，周辺地域からの接続ノード，ゾーン中心に設定し，O ノード 72 個，D ノード 69 個とする.

分析に用いたデータは，平成 6 年 11 月に主要幹線道路，交差点において観測した交通量である．分析対象時間は午前 6 時から正午とし，時間単位を 15 分とする．また，時速 15km を渋滞・非渋滞の閾値とする.

b)空間的・時間的分散のシナリオ

経路（出発時刻）の変更基準として，以下の三つのシナリオを設定し，交通需要の分散効果について評価を行った.

空間分散１：ネットワーク全体の総旅行時間が減少する場合に経路の変更を行う.

空間分散２：ドライバーの目的地までの所要時間が減少する場合に経路の変更を行う.

時間分散　：ドライバーの目的地までの所要時間が減少する場合に最大許容時間を 30 分として出発時刻の変更を行う.

c)シナリオ別渋滞削減効果

分散前の交通状況を表 2 に示す. 表の総渋滞損失時間は, 総走行時間からすべての車両が時速 15km で走行した場合の走行時間を引いた値である.

表 2　分散前の交通状況

総 OD 交通量	247,000　台
総走行距離	2,100,856　台・km (平均 8.5km/台)
総走行時間	160,626　台・時間 (平均 39 分/台)
総渋滞損失時間	35,948　台・時間 (平均 8.8 分/台)

この初期状態から出発し, 空間的・時間的分散を行った結果が図 23, 図 24 である. 図 23 は各シナリオ別の, 経路変更あるいは出発時刻変更を行った車両台数の総 OD 交通量に対する割合を示す. 図中の数字は変更台数である. 図 24 は各シナリオにおける分散後の渋滞損失時間の減少分が分散前の損失時間に占める割合を示す. いずれの場合でも, 経路変更や出発時刻の変更を行う車両数はそれほど変わらず, 全体の OD 交通量の 15%に満たない. しかしながら, 分散による減少分はシナリオによって大きく異なっていることがわかる.

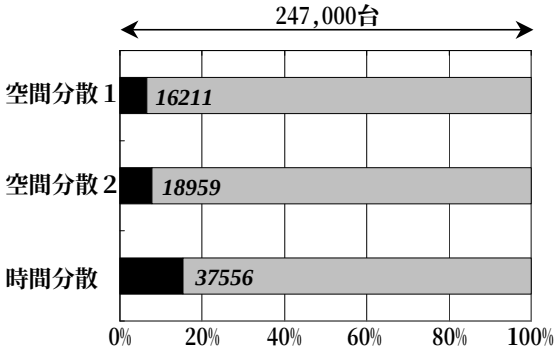


図 23　経路・出発時刻変更車両の割合

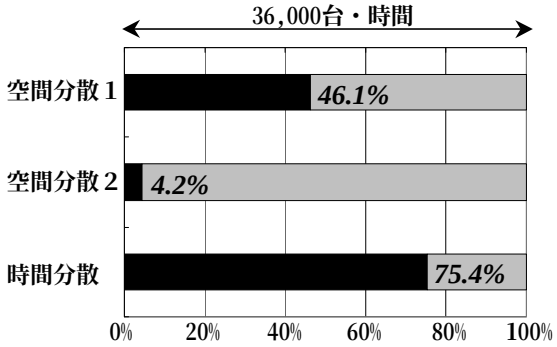


図 24　シナリオ別渋滞損失時間の減少割合

空間分散１に着目すると，半分程度渋滞損失時間が減少している．しかしながら，このシナリオにおいては，全体の総旅行時間を短縮するために，遠回りの経路へ変更させられるなどして，目的地までの旅行時間が増加しているドライバーも少なからず存在する．図 25 は経路変更した車両自身の変更前後での旅行時間の変化を示したものである．図中の+5～+20 は経路変更によって旅行時間が増加したドライバーであるが，20 分以上増加したドライバーも少なくない．このことより，空間分散１のシナリオは現実的ではないものと考えられる．

一方，空間分散２のシナリオはドライバーが得をする場合にのみ経路変更を行うため，より現実的ではあるが，分散効果はわずかである．これと比較して時間分散の場合は，8 割近くの渋滞が解消されており，出発時刻の変更が渋滞削減には大きなポテンシャルを持ち合わせていることが確認された．なお，時間分散における平均の出発時刻変更時間は 21.4 分である．

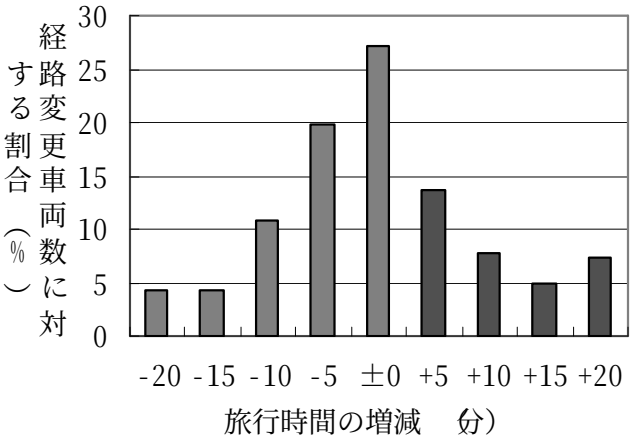


図 25　空間分散１における経路変更車両の旅行時間の増減

図 26 は，午前 9 時における分散前と各シナリオの分散後の交通状況である．太線の黒が 7.5km/h 以下，灰色が 15km/h 以下を示す．時間分散のシナリオでは渋滞がほとんどなくなっている様子が伺える．

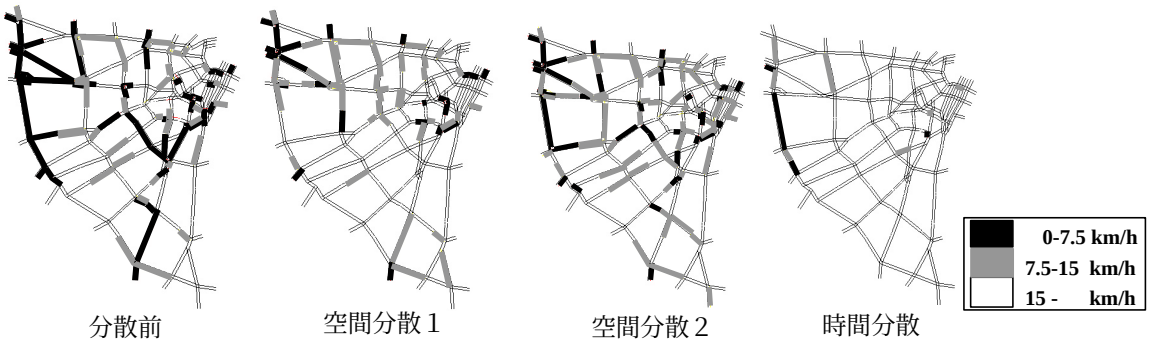


図 26　午前 9 時の交通状況

d)まとめ

平日午前の渋滞では，経路変更のみでは高々40%の渋滞削減にどとまるが，全交通量の約15%が平均 20 分程度の出発時刻の変更を行った場合には，約 80%の渋滞削減につながるという結果を得た.

これより，時間的な分散効果は，平均 10 分から 15 分という小さな時間変更であってもかなりの渋滞削減効果が期待できること，さらに空間的な分散効果と比較して，はるかに大きな効果を得る事が出来るというポテンシャルを持ち合わせている事を確認した.

４）出発時刻調整による需要の時間的分散

空間的に需要を分散させたい場合には，混雑している経路を避けて，容量に余裕がある経路を選択させるように制御すればよいので，制御するべき内容（シフトさせる経路）は比較的容易に決定できる．対して，需要を時間的に分散させる場合には，現状のみならず将来の交通状況を予期しながら，各車両に出発時刻の変更時間幅を指示しなければならない．ここでは，以下の３条件を満足する実例として木曽福島周辺における観光交通（スキー客）を取り上げ，実際には平面的な拡がりを持つ渋滞列を，ボトルネックにおける vertical queue として処理することで遅れ時間を算出し，算出された遅れ時間に基づいて決定された各車両の出発時刻のシフト量が達成されるように制御を施す場合に，制御が交通状況に与える影響を定量的に把握する.

対象ネットワークの条件

・1 ボトルネックの道路ネットワーク
・many-to-one の OD
・全ての OD がボトルネックを通過する

a)出発時刻シフト時間の算出方法

全ての交通が自由流旅行時間でボトルネックまで到達できるものと考えて，ボトルネック地点に到達する時刻を計算し，渋滞が無いと仮定した場合にボトルネックに到達するであろう累

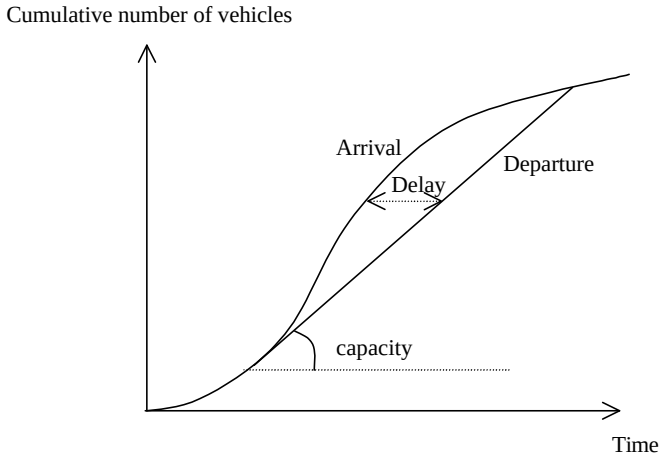


図 27　ボトルネックにおける累積到着交通量と累積通過交通量

積の車両台数を計算する（図 27 中 Arrival curve）．計算された到着交通量と実際のボトルのネック容量に基づいて，ボトルネックを通過する車両の累積台数を算出する（図 27 中 Departure curve）．両計算結果を比較する事により，各車両の渋滞による遅れ時間（図 27 中 Delay）が算出される．本研究が提案する方法は，ここで計算された遅れ時間分だけ，各車両の出発時刻をシフトさせる（後ろの時間帯に遅らせる）事によって需要を時間的に分散させようとするものである．

b)分析ネットワークの交通状況と OD 交通量

対象地域（図 23）は，長野県木曽福島周辺の南北に伸びる道路ネットワークで，同エリア内には，8 つのスキー場（Origin）が存在している．同ネットワークは，週末にスキー場にやって来たスキー客が名古屋方面（南方向）に向って帰途につくことになる午後から夜にかけての時間帯に，大桑（Okuwa）を先頭に激しい渋滞が発生している．

分析に際しては，ある週末に実施された調査結果に基づき，スキー場を起点とするスキー客とその他の交通とに分けて時間帯別の OD 表を作成した．なお，以下の分析では，出発時刻の管理を行なうのはスキー客のみで，その他の一般交通については管理は行なわないものとする．

作成した OD 交通量を，交通流シミュレーションモデル SOUND（街路版）を用いてネットワークにロードし，交通状況を再現した．その結果得られた各スキー場からボトルネック通過までに要する旅行時間の自由流旅行時間に対する比率を図 28 に示す．図より，夕方から深夜にかけて激しい渋滞が発生している事を確認できる．

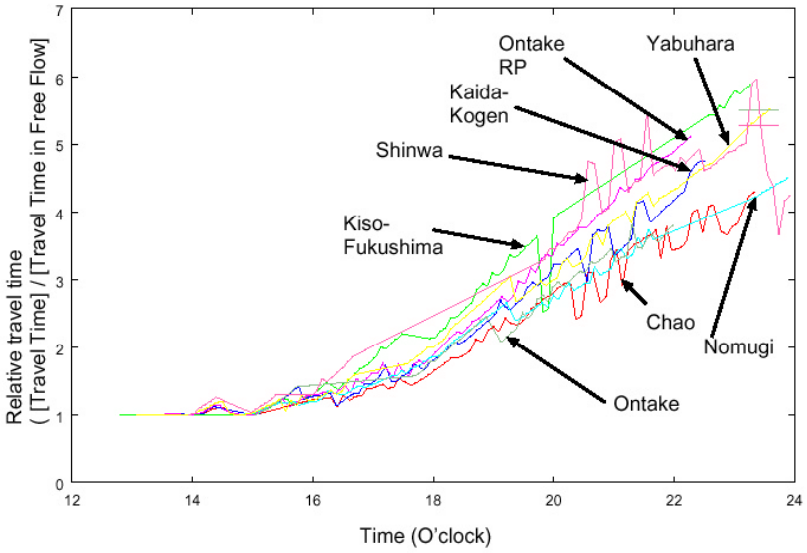


図 28　各スキー場からボトルネックを通過するまでの旅行時間の変化（現況）

c)出発時刻のシフト量

出発時刻のシフト量は以下の手順で決定する．

一般交通の制御は行なわないものとしたため，自由流旅行時間でボトルネックに到達する車両のうちスキー客を除く一般交通の交通量を算出し，ボトルネック容量からその交通量分を差し引いた残りの容量をスキー客に割り当てるようにして出発時刻変更の制御を行なう． 図 29 に，スキー客に割り当てられる容量の時間変化を示す．

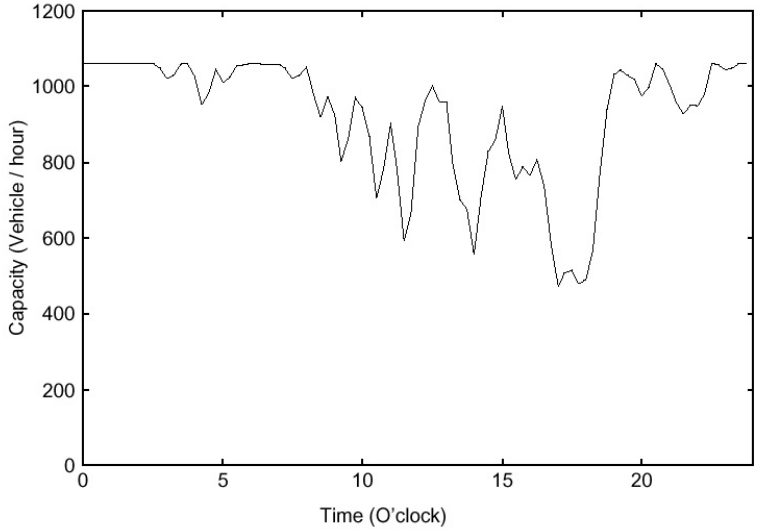


図 29　スキー客に割り当てられるボトルネック容量

次に，スキー客に割り当てられたボトルネック容量と（自由流旅行時間で）ボトルネックに到達する交通量から，ボトルネックにおけるスキー客の到着と出発の累積交通量を計算する．（図 30）この図より，各時刻にボトルネックに到達する車両の遅れ時間を算出する．算出された遅れ時間が，ボトルネック到達時刻から自由流旅行時間だけ遡った各時刻にスキー場を出発する車両の出発時刻のシフト量に相当する．

vertical queue を想定した状況下では，このようにして求めたシフト量だけ出発時刻を後ろにシフトさせれば，渋滞は解消する事になる．しかしながら，実際の交通状況下では必ずしも渋滞が無くなるとは限らない．そこで，ここで求められた時間だけ出発時刻をシフトさせた場合の交通状況の変化を各スキー場からボトルネック通過までに要する旅行時間を用いて図 31 に示す．現状の旅行時間（図 28）と比較して大幅に交通状況が改善され，渋滞による遅れがほとんど無い状況にまで交通状況が改善される事が確認できる．

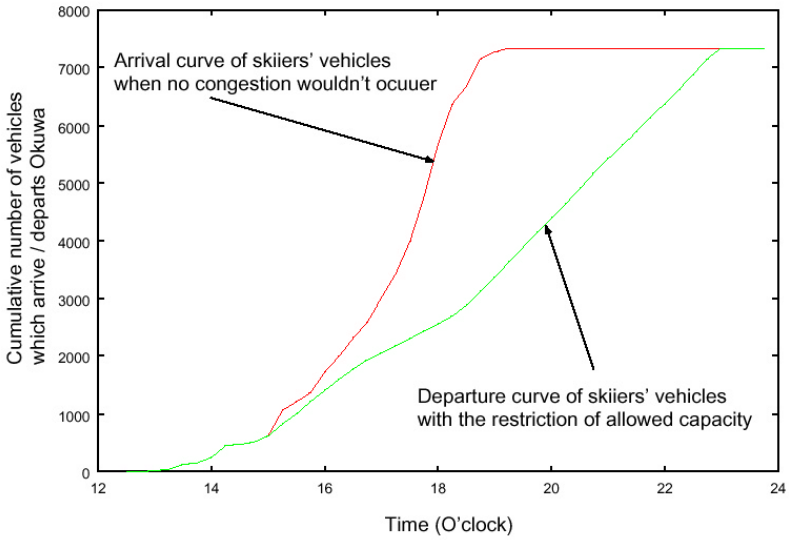


図 30　スキー客のボトルネック到着交通量と通過交通量

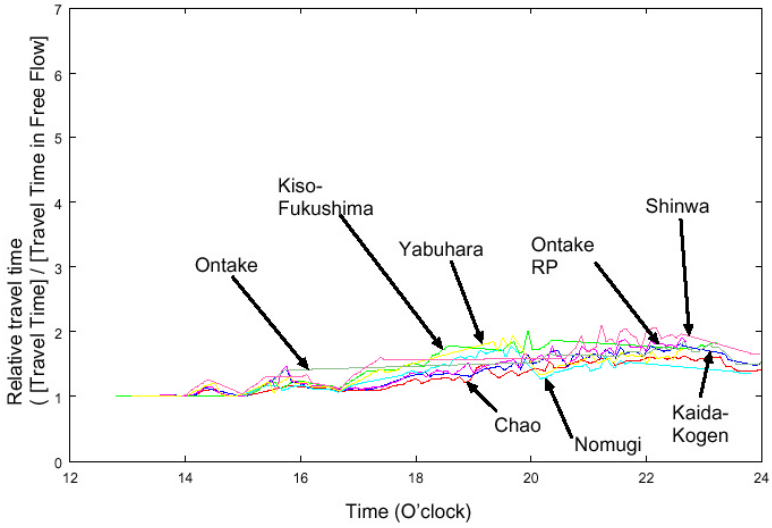


図 31　各スキー場からボトルネックを通過するまでの旅行時間の変化（制御実施後）

d)まとめ

ここでは，需要を時間的に分散させる場合の，出発時間のシフト量を決定する方法として，ボトルネックでの vertical queue 想定下での遅れ時間分だけ出発時刻をシフトするという考え方を提示した．さらに，計算されたシフト時間だけ出発時刻をシフトさせた場合に，交通状況がどの程度改善されるのかについて，実際のネットワークと需要交通量を用いて検証した．その結果，多少の渋滞は残るものの，交通状況は大幅に改善される事が確認された．

【参考文献】

[1] 堀口良太，桑原雅夫：ETC 導入による料金所容量への影響に関する理論的解法と考察，土木学会論文集，No. 653/IV-48，pp.29-38，2000
[2] 堀口良太：交通運用策評価のための街路網交通シミュレーションモデルの開発，東京大学学位論文，1996
[3] 堀口良太，永田尚人：シミュレーションを用いた料金所 ETC 化による容量改善の検討，第 23 回日本道路会議・一般論文集(A)・ITS 部会，pp.314-315，1999
[4] 日本道路公団東京第三管理局：交通統計作成業務(CD-ROM)，平成 10 年
[5] 吉井稔雄：大規模ネットワークに適用可能な動的配分シミュレーションモデルの開発と適用，東京大学学位論文，1999 年 3 月
[6] 日本道路公団東京第一管理局：東名高速道路交通量統計報告書，平成 11 年 3 月