

## 1. はじめに

近年、モータリゼーションの発達による交通需要の増加は都市圏における都市高速道路において、交通渋滞を引き起こしている。

しかし、都市圏での新たな高速道路の整備は困難な状況にある。その原因は空間的な制約と予算的な制約のためである。本研究ではこの2つの制約を満足する高速道路の整備方法として“自動運転車専用の道路トンネルの整備”を検討する。自動運転は、近年の情報伝達技術の発達によるITS（高度道路交通システム：Intelligent Transport Systems）の中のAHS（Advanced Cruise-assist Highway System）と呼ばれる車両の自動運転化技術として開発されている。この方法は地下空間を用いることにより空間的な制約を満足し、自動運転車専用とすることで安全に対するリスクを減しつつ車線幅を減少することでトンネル断面の縮小を図り、低コストでの新たな道路整備を可能にすると考えられる。

そこで、本研究では通行可能な車両の種類を限定することになる自動運転車専用の道路整備が、全ての車両が通行可能な従来通りの道路整備と比較して、より好ましいものとなるのかを検討する。

そのために、シミュレーションを用いて交通を再現し、その結果から新たな道路整備により発生する便益を算定し、道路整備の費用との関係から比較を行う。その結果従来のものよりも自動運転車専用の方が良い結果が出れば、小さな予算で効率的な道路整備を行うことができることが示される。

\*キーワード：道路計画，ITS

\*\*フェロー，工博，京都大学大学院都市社会学専攻  
（京都市左京区吉田本町，TEL:075-753-4789，  
E-mail:taniguchi@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

\*\*\*学生員，京都大学大学院都市社会学専攻  
（京都市左京区吉田本町，TEL:075-753-4788，  
E-mail:harada@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

## 2. 交通流シミュレーション

交通を表現するモデルは、流れを表現するフローシミュレーションモデルと車両の経路選択を表現する経路選択モデルの2つのサブモデルから成り立つ。この2つのモデルを単位時間1分ごとに交互に行うことにより交通を表現している。

### (1) フローシミュレーションモデル

本シミュレーションはブロック密度法<sup>1)</sup>に基づいたマクロモデルを用いる。リンクをブロックに分割し、その間の車両の移動量を、フローの保存則とQ-k関係から求められる、上流ブロックの流出需要と下流ブロックの流入容量の最小値として求める（図1）。そのQ-k関係を表す関数を表すためにk-v関係を用いて表現する。但しk-v関係としてここではグリーンシールズ<sup>2)</sup>の式<sup>2)</sup>を用いる

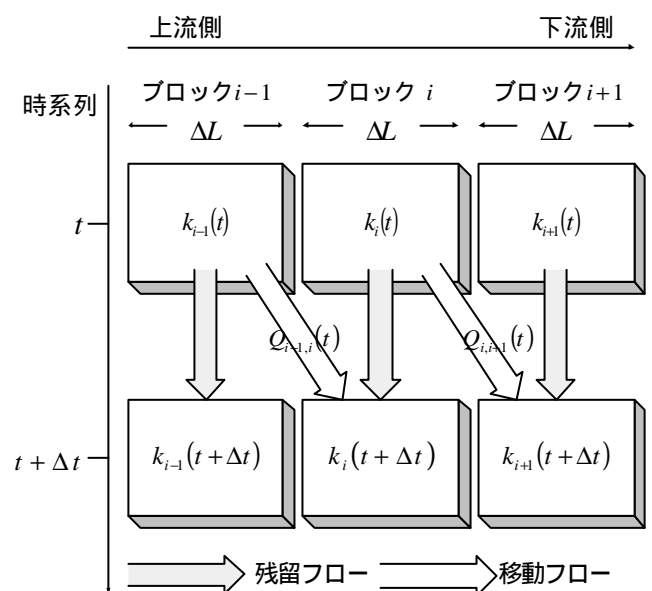


図1. ブロック間のフローの移動のイメージ図

図1のブロックiについてのフローの保存則は次式で表される。

$$k_i(t + \Delta t)\Delta L = k_i(t)\Delta L + Q_{i-1,i}(t)\Delta t - Q_{i,i+1}(t)\Delta t \quad (1)$$

ブロック間の移動フローは上流ブロック*i*と下流ブロック*i+1*のそれぞれの状態の違いに基づき、次のような関係となる。

- *i*と*i+1*がともに非渋滞の場合
 
$$Q_{i,i+1}(t) = \min\{f_i(k_i(t)), Q_{i+1}^c(t)\} \quad (2)$$

- *i*が渋滞、*i+1*が非渋滞の場合
 
$$Q_{i,i+1}(t) = \min\{Q_i^c(t), Q_{i+1}^c(t)\} \quad (3)$$

- *i*が非渋滞、*i+1*が渋滞の場合
 
$$Q_{i,i+1}(t) = \min\{f_i(k_i(t)), f_{i+1}(k_{i+1}(t))\} \quad (4)$$

- *i*と*i+1*がともに渋滞の場合
 
$$Q_{i,i+1}(t) = \min\{Q_i^c(t), f_{i+1}(k_{i+1}(t))\} \quad (5)$$

ここで、

- $k_i(t)$  : ブロック*i*の交通密度
- $f_i(k_i(t))$  : ブロック*i*におけるQ-k関係式
- $Q_i^c(t)$  : ブロック*i*における臨界交通量
- $Q_{i,i+1}(t)$  : 時刻*t*においてブロック*i*からブロック*i+1*に移動する交通量

### (2) 経路選択モデル

車両は現在旅行時間の情報が与えられているものとし、それに基づき単位時間1分ごとに各ノードに存在する車両は旅行時間を最小化する経路を選択する。その際車両の種類に従って通行が禁止されている新規のリンクについては除外して計算することで、車両の流入禁止を表現している。

## 3. 評価方法

本研究では評価方法として費用便益分析を用い、費用便益比(CBR)に基づき道路整備事業の比較を行う。

(1) 費用便益分析を行う上で次のように仮定する。

- 社会的割引率は4%とする。
- トンネルの建設期間は10年、その後の利用期間は40年、60年、100年の3ケースについて、それぞれ基準年に換算した現在価値を用いて費用便益比を求める。
- 建設期間中に発生する工費は10年間等しく同額である。
- 利用期間内での自動運転車の乗用車に占める割合は一定である。

### (2) 費用

費用の種類は、トンネルの工事費、用地費のみを考える。維持管理費、補償費等のその他の費用については発生しないと仮定する。道路の種類によるトンネルの工事費の違いは表1のように仮定する。

表1. トンネルの工事費比率

	従来型	乗用車専用型	自動運転車専用型
工事費比率	1.00	0.83	0.78

### (3) 便益

便益の種類は、利用者便益と環境改善便益の2つに分け、利用者便益として走行時間減少便益、総工費用現象便益、交通事故減少便益の3つを考える。環境改善便益としてNO<sub>x</sub>による大気汚染改善便益、CO<sub>2</sub>による地球温暖化改善便益の2つを考える。

## 4. シミュレーション結果

### (1) 設定条件

#### (a) 比較ケース

比較する対象として、新しく道路を整備する前、従来型の道路を整備した後、乗用車専用型の道路を整備した後、自動運転車専用型の道路を整備した後の3つのケースについて行う。但し自動運転車専用型の道路整備については自動運転車の普及率が0%から100%まで10%刻みで10ケース行う。

#### (b) 対象とするネットワーク

解析対象ネットワークを図2に示す。

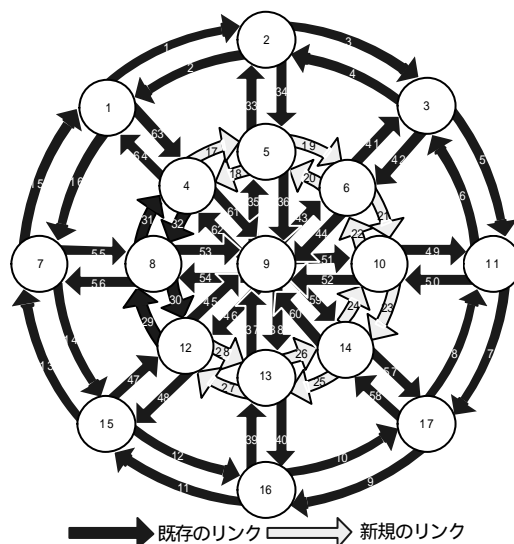


図2. 対象ネットワーク

リンクの距離は内周が 8.8km，外周が 17.6km，放射状の部分が 11.7km である．自由走行速度は 88km/h，飽和密度は 184 台/km とし，各リンクの車線数は 2 本とする．このネットワークを走行する車両は合計 180 万台とし，その内 20% は大型車が占めている．但し，車両の種類の違いによる交通上における走行特性の差異はシミュレーションでは表していない．

ネットワークは上下左右対称であるが，OD については非対称に設定した．また時間帯別の交通発生量は 1 時間ごとに値を決め，午前 7 時台と午後 5 時台にピークを迎える．

以上の条件を持つ仮定のネットワークを与え，2 章で述べたモデルに従いシミュレーションを行う．

### (2) 道路整備による交通状態の変化

道路整備による渋滞の改善は全体的に見られたが，内環の内側のリンクにおいて影響が顕著に現れていた．しかし，内環と外環を結ぶリンクにおいては，わずかに走行速度が下がるリンクが少数だけ見られた．

また自動運転車の普及率の変化に伴う走行速度の変化について，普及率の低い状態（10%～20%）における改善率が高いことが分かった（図 3）．

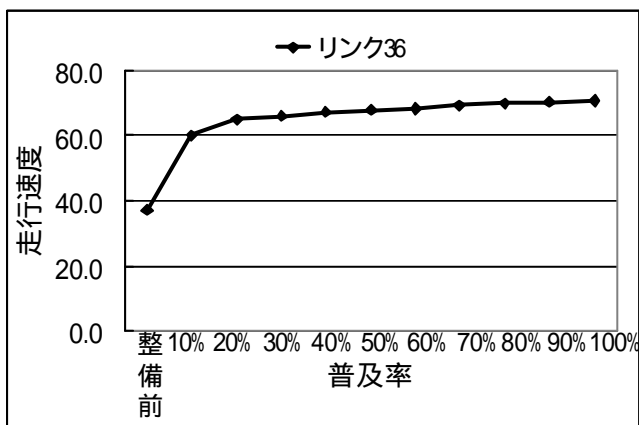


図 3 . 自動運転車の普及率に伴う走行速度の変化

車両全体で見た交通状態の変化を表す総走行時間と総走行距離の現状からの変化率を表 2 に示す．

表 2 . 総走行時間と総走行距離の変化 (%)

	総走行時間	総走行距離
従来型	-10.09	-4.06
乗用車専用型	-9.36	-3.25
自動運転車専用型 (普及率100%)	-9.36	-3.25

### (3) 環境改善効果

交通による環境への影響は様々な形が想定されるが，ここでは費用便益分析で用いる NO<sub>x</sub> と CO<sub>2</sub> について，自動車の NO<sub>x</sub> と CO<sub>2</sub> の走行速度による発出量特性に基づいて算出した（図 4）．

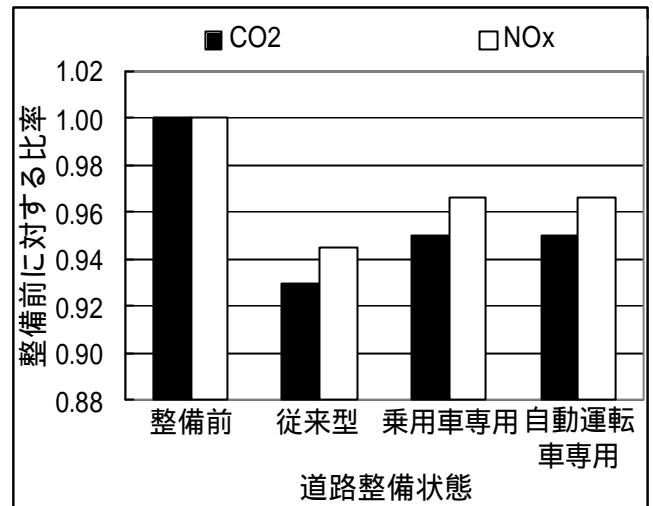


図 4 . NO<sub>x</sub> と CO<sub>2</sub> の排出量

この結果から交通環境が改善されることが分かる，その理由は走行速度が NO<sub>x</sub> と CO<sub>2</sub> の走行速度による排出量特性における減少範囲に当たることから，環境改善効果が見られたためである．

### (4) 発生する便益

道路整備によって発生する便益は，(2)(3) で求めた各値より，道路評価に関する指針（案）<sup>3)</sup> に基づいて求めた（表 3）．

表 3 . 1 年あたりに発生する便益額

	(単位: 億円/年)		
	従来型	乗用車専用型	自動運転車専用型
走行時間	1047.6	926.1	925.8
走行費用	52.41	34.81	35.20
交通事故	6.87	5.50	18.98
利用者便益	1106.9	966.4	980.0
地球温暖化改善便益	1.436	1.020	1.023
大気汚染改善便益	0.331	0.203	0.203
環境改善便益	1.768	1.223	1.226
便益の合計	1108.7	967.6	981.2

便益の額の大きさではやはり全ての車両が通行可能な従来型が一番大きくなっている．また便益の額に占

める割合は走行時間の短縮による値が非常に大きい。交通事故減少便益が自動運転車専用型で一番大きい値を取っているのは、自動運転の区間においては交通事故の発生を0と仮定しているためである。

(5) 費用便益分析の結果

(4) で求めた便益とトンネルの工事費を基に求めた費用便益比の値を図5に示す。

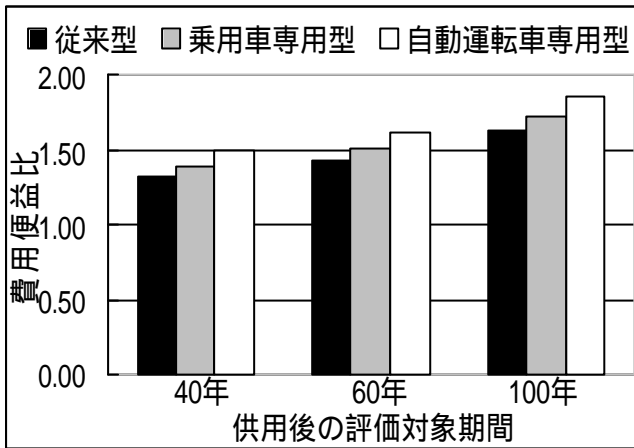


図5. トンネルの種類による費用便益比の比較

この結果、費用便益比の観点からは自動運転車専用型、乗用車専用型、従来型の順でより好ましいことが分かる。

次に、自動運転車の普及率の変化に対する費用便益比の変化を図6に示す。

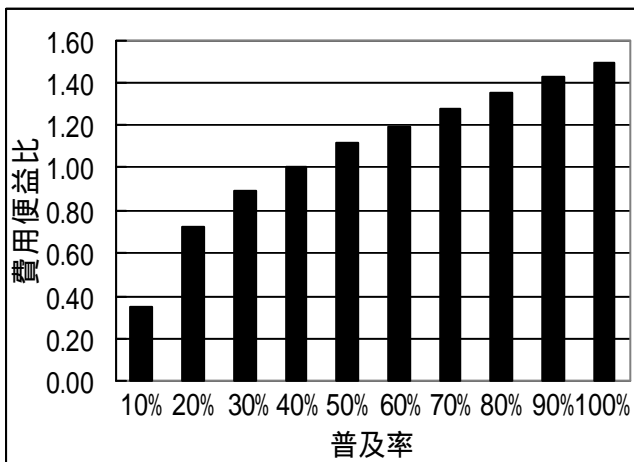


図6. 自動運転車の普及率の変化による費用便益比の比較

費用便益比の値は自動運転車の普及率に対して直線的

に増加せず、徐々に増加率が減少することが分かる。従って、普及率が比較的小さな40%程度で費用便益比の値が1を越している。

5. まとめ

(1) 考察

本研究により得られた知見として、以下のことが挙げられる。

- ・ 既存ネットワーク内に新たにリンクを追加することにより交通渋滞の緩和と環境負荷の改善が期待できる。
- ・ 費用便益比の結果から、従来型に比べ、自動運転車専用型道路の整備によって、より安価で効率的な道路整備を行うことができる。
- ・ 自動運転車専用型の道路整備を行う際、交通渋滞の緩和と費用便益比の評価基準のどちらについてもある程度普及率が低い段階で満足する。

(2) 今後の課題

本研究においては多くの仮定を用いて簡略化していた部分があるため、以下のことが今後の課題として挙げられる。

- ・ 仮定のネットワークではなく、実在するネットワークを用いることにより、本シミュレーションの実証性を示す。
- ・ 新たな道路整備による誘発交通量を考える。
- ・ シミュレーションにおいて、車両の種類による走行特性の違いを表現する。
- ・ トンネルの費用として維持管理費も考える。
- ・ 供用期間中において、自動運転車の普及率を変化させた便益を用いて費用便益比を求める。

参考文献

- 1) 桑原雅夫, 吉井稔夫, 堀口良太: ブロック密度法を用いた交通流の表現方法について, 交通工学 1997, No.4 Vol.32, pp39-43, 1997
- 2) 佐々木鋼, 飯田恭敬: 交通工学, 国民科学社, pp.126, 1992
- 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会: 道路投資の評価に関する指針, 日本総合研究所, pp.39-118, 1998