

◆ 道路特集 ◆

シミュレータを用いた AHS による交通流改善効果の分析

横田敏幸*

1. はじめに

AHS (Advanced cruises-assist Highway System)¹⁾ は ITS(Intelligent Transport Systems) を構成する重要な柱の一つであり前方や後側方の危険警告、車線からの逸脱防止、衝突防止などの安全走行を支援するための事故防止からはじまり最終的には安全でかつ快適な道路交通を実現しようとするものである。

この AHS は渋滞解消、環境の向上、安全性・快適性の向上など高いパフォーマンスを期待されている。しかしながら、サービス内容を決定する上ではサービスレベル (情報提供レベル、運転補助レベル、自動運転レベル)、機能 (縦方向制御機能、横方向制御機能、交差点制御機能)、AHS 車両の普及率など多くの意思決定要素が存在し、社会にとって望ましい形態を決定していくことがきわめて難しいシステムである。このような意志決定要素の多いシステムを導入するためには、技術的な研究開発はもちろんのこと、ニーズ調査や交通工学に立脚した効果分析がきわめて重要である。

本研究では交通工学の観点における効果分析として、運転補助レベルの縦方向制御すなわち、アダプティブクルーズコントロールのような車間間隔の制御 (一部日本の自動車メーカーからすでに市販されている) についてサグや交差点のようなボトルネック箇所における AHS の渋滞解消効果について交通流シミュレータを用い分析を行う²⁾。

2. AHS の縦方向制御機能の設定

運転補助レベルの縦方向制御の分析を行うためにはまず道路交通容量にかかわる車両走行時の車頭距離と走行速度の関係を明確に定義する必要がある。

ここでは AHS の効率性の評価を目的としており、分析を行う上では車両の道路占有すなわち車頭距離もしくは車頭時間を基準に検討を行う。な

お、AHS の縦方向制御のセッティングは車頭時間を一定と仮定する。AHS 車両の目標車頭時間の設定を 1.6, 0.9, 0.5s/台とし停止状態での最小車頭距離 m を考慮した S-V (車頭距離-速度) 図を図-1 に示す。

なお、サグ部の AHS の渋滞解消効果を分析するうえでサグ部の非 AHS 車両 (一般車両) における S と V の関係は越モデル (尾崎バージョン) を用いて表現することとする。

3. 交通流シミュレータによる AHS 車両の追従式

AHS の目標車頭時間を表現するために交通流シミュレータ³⁾ による AHS 車両の追従走行は図-2 に示す A, B, C, D の 4 つのモードで制御されている。ここでは車頭時間が一定になるような AHS 車両の制御を行うこととし S-V 関係の領域によりそれぞれの追従式を用いている。その内容を以下に示す。

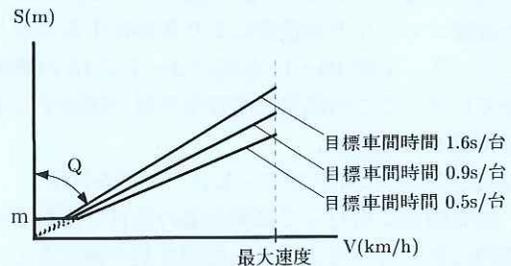


図-1 最小車頭距離 d を考慮した S-V 図

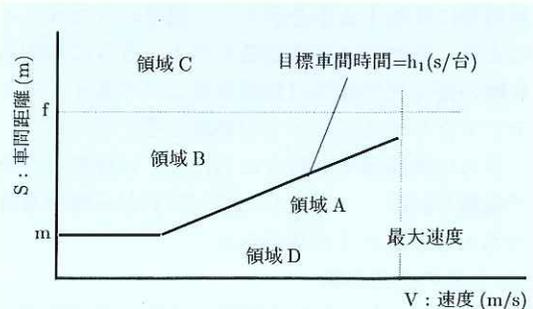


図-2 4 つの領域と S-V 図

Evaluation of AHS on the improvement of traffic flow rate with Microscopic Traffic Simulator

領域 A :

$$dV_F(t+T)/dt = K_1 \Delta V(t) + K_2(g(t) - a(t))/g(t) \quad (1)$$

領域 B1($\Delta V(\tau) \geq 0$) :

$$dV_f(t+T)/dt = K_1 \Delta V(t) + K_3(g(t) - a(t))/a(t) \quad (2)$$

領域 B2($\Delta V(t) < 0$) :

$$dV_F(t+T)/dt = K_3(g(t) - (\Delta V(t))^2/(g(t) - a(t))) \quad (3)$$

領域 C :

$$dV_F(t+T)/dt = K_4 \quad (4)$$

領域 D :

$$dV_F(t+T)/dt = K_5 \quad (5)$$

ここで、 $\Delta V(t)$: 先行車と追従車の速度差、 T : 反応遅れ時間、 $g(t)$: 車頭距離、 $s(t)$: 時刻 t における目標車頭距離 (速度の関数)、 $a(t) = s(t)^2/g(t)$ 、 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 : パラメータ、 m : 最小車頭距離、 f : 追従限界距離

4. 高速道路サグ渋滞の再現式：越モデル (尾崎バージョン)

高速道路サグ (縦断勾配が下り勾配から上り勾配に変化する地点) では、知らず知らずの速度低下が場合によって渋滞要因となっている。このようなドライバーの運転挙動が原因で発生する渋滞現象のメカニズムはほぼ解明されており、その定性的な渋滞原因は各々のドライバーのごく普通の追従挙動の集積によって交通流の内部で形成されるといわれている。越、尾崎らはこのようなサグの渋滞現象を再現するドライバの加減速モデル⁴⁾を考案し渋滞現象の良好な再現結果を得ている。そのモデルを以下に示す。

追従走行モデル

$$dV_F/dt = dV_{F1}/dt + dV_{F2}/dt + dV_{F3}/dt + dV_{sag}/dt \quad (6)$$

相対速度への反応項

1) 加速時

$$dV_{F1}(t+T_1^+)/dt = \alpha^+ \cdot \frac{[V_F(t)]^{m^+}}{[S(t)]^{1^+}} \cdot [V_L(t) - V_F(t)] \quad (7)$$

2) 減速時

$$dV_{F1}(t+T_1^-)/dt = \alpha^- \cdot \frac{[V_F(t)]^{m^-}}{[S(t)]^{1^-}} \cdot [V_L(t) - V_F(t)] \quad (8)$$

$$T_1^+ = \tau^+ + p^+ \cdot dV_L(t)/dt$$

$$T_1^- = \tau^- + p^- \cdot dV_L(t)/dt$$

目標車頭時間からの偏差への反応項

$$dV_{F2}(t+T_2)/dt = \beta \cdot (1/[S(t)]^n) \cdot [S(t) - f(V_F(t))] \quad (9)$$

$$f(V_F) = a_3 V_F^3 + a_2 V_F^2 + a_1 V_F + a_0$$

先行者の行動にあわせる補正項

$$dV_{F3}(t+T_3)/dt = \delta \cdot (1/[S(t)]^b) \cdot dV_L(t)/dt \quad (10)$$

縦断勾配の影響項

$$dV_{sag}/dt = g[\sin \theta(t) - \sin \theta(t - T_g)] \quad (11)$$

ここで、 $V_F(t)$: 時刻 t における追従車の速度、 $V_L(t)$: 時刻 t における先行車の速度、 T_1^+ : 加速時の相対速度への加速反応遅れ時間、 $S(t)$: 時刻 t における先行車と追従車の車間距離、 T_1^- : 減速時の相対速度への減速反応遅れ時間、 T_2 : 目標車頭時間からの偏差への加減速反応遅れ、 $f(V_F)$: 追従車の速度が V_F の場合の希望車間距離の関数、 T_3 : 先行車の加速度に対する加減速反応遅れ、 g : 重力加速度、 T_g : 縦断勾配の補償対応に対する反応遅れ、 $\theta(t)$: 時刻 t における走行地点の縦断勾配、 $\alpha^+, m^+, l^+, \tau^+, p^+, \alpha^-, m^-, l^-, \tau^-, p^-, \beta, n, a_3, a_2, a_1, a_0, \delta, h$: パラメータ

5. AHS によるサグ渋滞解消効果に関する分析

越モデル (尾崎バージョン) は東名高速道路秦野サグの上り線の交通現象を解析し開発されたモデルである。そのためここでも秦野サグを用いてサグ渋滞再現の確認を行う。サグ部の道路構造は縦断勾配差 2.3%、縦断曲線長 500m (47.236kp から 46.736kp)、 $R=21,700m$ である。なお、車線数は 1 車線の道路モデルとする。

5.1 サグ渋滞再現の確認

入力する交通流は、車群を形成させ上流より周期

的かつ断続的に発生させる。このとき車群中の交通流率を 2,500/h/レーン (目標車頭時間=3,600/2,500=1.44s/台)、車群の台数を 80 台とし 1 時間に等間隔で 25 の車群を発生させることにより交通量を 2,000/h/レーンとする。このとき発生させる車両は乗用車のみとする。

図-3 の V-D 図 (速度-距離図) に渋滞が発生したあとの車両の走行状態を示す。横軸はサグの始点をゼロとし、上流側の地点をマイナスで表記し、下流をプラスで表記している。サグ部を先頭に渋滞が形成され、渋滞中の走行速度が 0~約 30km/h の範囲で変動し、尺とり現象を再現している。次に 1 台の車両がサグの上流から下流まで走行する際の自由走行 → 渋滞走行 → 自由走行についての S-V 図を図-4 に示す。この S-V 図から渋滞前後の走行状況はそれぞれ約 2,500、1,400/h/レーンの交通流率 (それぞれは渋滞に流入する交通量と渋滞先頭から捌ける交通量を示し、渋滞によって捌ける交通量が約 6 割程度になっていることがわかる) となりかつ渋滞中の尺取りの交通現象が 0~約 30km/h で発生していることがわかる。図-5 には D-T 図 (時間-距離図) を示す。この図において、車群がサグの上流から自由流の状態で流入しサグ部を通過する際に渋滞を形成しその渋滞が上流へ伝搬しているショックウェーブの様子や、自由流から渋滞流へ巻き込まれサグ渋滞を通過し再び自由走行へと移行している状況がわかる。

5.2 高速道路綾瀬サグ渋滞における AHS の導入効果

ケーススタディとして東名高速道路のボトルネック渋滞における AHS の導入効果の分析を行った。

道路モデルを図-6 に示す。道路モデルは東名高速道路の上り方向での秦野中井 IC(50.1kp) から厚木 IC(35.0kp) を含む横浜 IC(19.7kp) までの

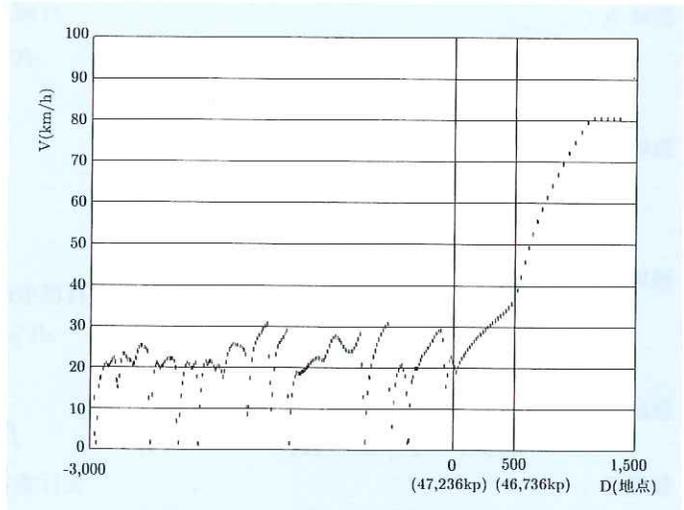


図-3 V-D 図

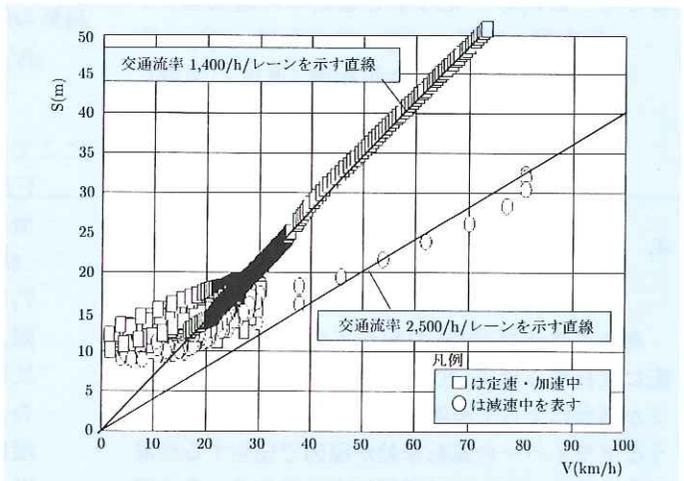


図-4 1 台の車両に着目した S-V 図

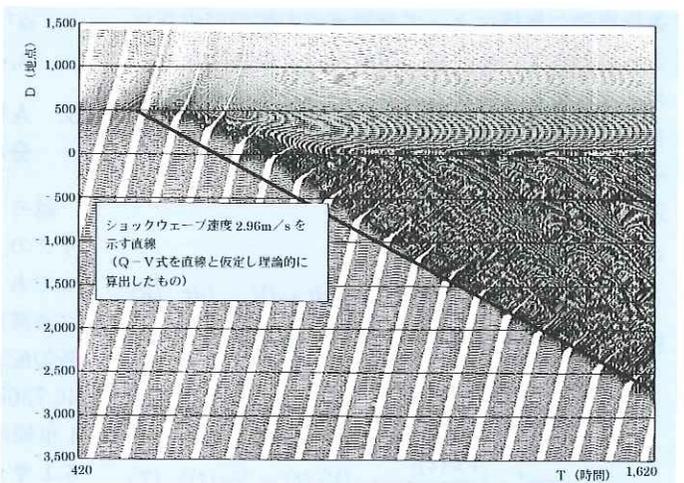


図-5 D-T 図

30.4km、3車線で休日の午後には10km以上に及ぶ渋滞を頻発する(100回/年程度)綾瀬サグ(29.0kp)を含んでいる。なお、この道路モデルは秦野サグ部を含んでいるがすでに道路拡幅に伴う3車線化によってサグ渋滞が発生していないため、AHSの導入による渋滞解消効果は綾瀬サグ部で分析する。

分析は平成9年7月13日(日)13:00~20:00の交通状況を再現しAHSを導入したことによる渋滞状況や旅行速度の変化について行った。AHSの設定について目標車頭時間を1.6、0.9s/台の2ケース、普及率を0、20、40、100%の4ケースとしAHSの導入効果の評価を実施した。入力する交通需要は秦野中井IC及び厚木ICの直近下流のトラフィックカウンターのデータを基に5分刻みで与えている。

普及率0、20、40、100%でAHSを導入したこの分析からその効果について次のような結果を得た。

図-7に目標車頭時間1.6s/台の場合の秦野中井ICから横浜ICまでの時間帯別の平均旅行時間を示す。AHSの普及率が0%の場合、旅行時間は最大50分程度(渋滞によって30分の旅行時間の増加)となっている。普及率が20%になると旅行時間は最大30分弱程度で渋滞による損失時間は10分程度と普及率が0%の場合に比べ約1/3になっている。普及率が40%の場合、旅行時間は18分から25分強程度、普及率が100%の場合、旅行時間は18分から20分強で渋滞による遅延はほとんどなくなった。

図-8に車頭時間が0.9s/台の場合の結果を示す。普及率が同じであっても車頭時間が1.6s/台の場合に比べ渋滞解消効果が高いことがわかる。

6. 一般道におけるAHSのボトルネック渋滞解消効果に関する分析

つぎにAHSによる一般道における信号交差点のボトルネック渋滞解消効果の可能性について分析を行う。



図-6 東名高速道路の道路ネットワーク

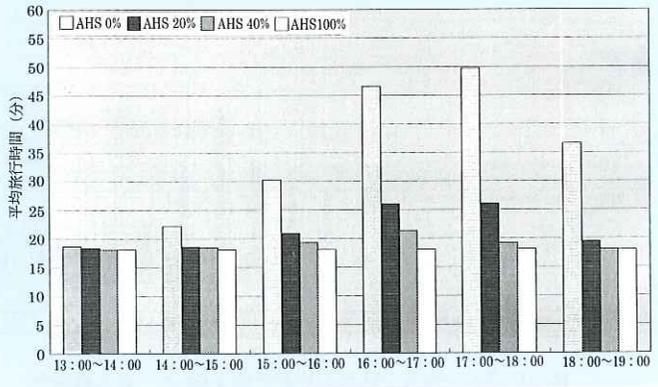


図-7 平均旅行時間 (AHSの中間時間1.6s/台: 秦野中井IC→横浜IC)

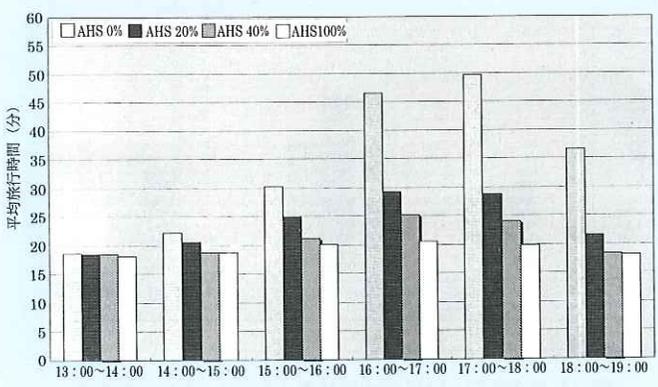


図-8 平均旅行時間 (AHSの中間時間0.9s/台: 秦野中井IC→横浜IC)

一般道である新大橋通りにおける道路モデルを図-9に示す。対象区間は都道東京市川線(新大橋通り)の中央区日本橋浜町3丁目から墨田区菊川2丁目までの約2kmの区間で10の信号交差点を含んでいる。

交通状況調査は平成9年9月17日(水)7:00~

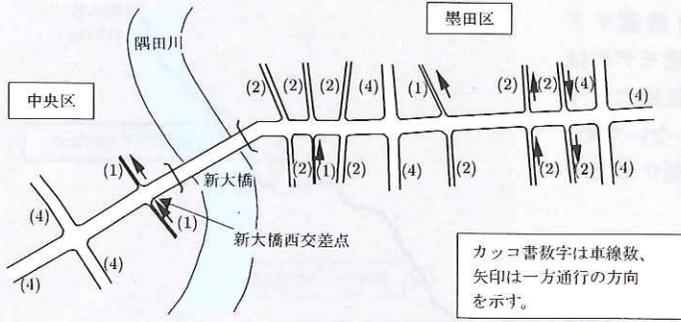


図-9 都道東京市川線(新大橋通り)の道路モデル

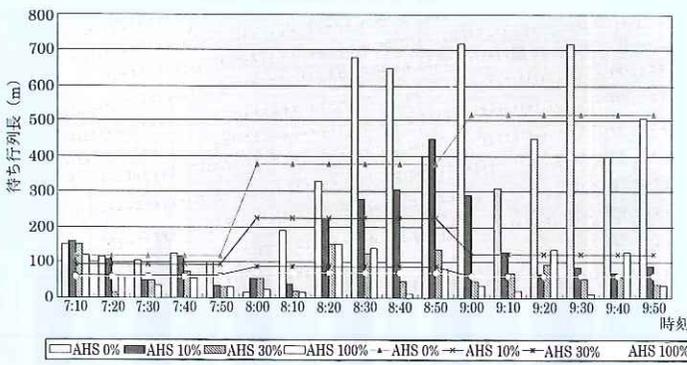


図-10 待ち行列長 (AHS の中間時間 1.6s/台 : 新大橋西交差点を先頭-上り)

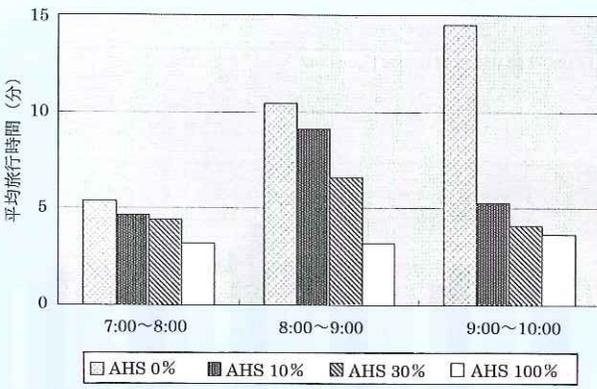


図-11 平均時間 (AHS の中間時間 1.6s/台 : 中の橋交差点 ← 菊川 2 丁目交差点)

10:00 の時間帯に行われた。この区間は平成 6 年度道路交通センサス一般交通量調査でも 12 時間交通量が 16,600 台と交通量も多く、朝のピーク時には上り方向では隅田川をこえる新大橋付近の新大橋西交差点を先頭に渋滞が頻発している。調査当日、7 時台の交通は上り下り方向ともに非渋滞流であったが、8、9 時台は上り方向において新

大橋西交差点を先頭に 500~600m 程度の渋滞が発生した。

AHS 車両の設定は目標車頭時間を 1.6、0.9s/台の 2 ケース、普及率を 0、10、30、100% の 4 段階とし、反応遅れ時間を 0.3s (非 AHS 車両の平均反応遅れ時間 1.0s) とした。図-10 に目標車頭時間 1.6s/台、普及率を 0、10、30、100% の場合の新大橋西交差点を先頭とする上り方向 (墨田区から中央区への方向) の渋滞長の変化を示す。棒グラフは 10 分刻みの変化、折れ線グラフはその 1 時間平均である。ここで、渋滞長とは停止車両最後尾までの長さとして定義する。図-10 より、普及率が低い段階からボトルネック渋滞がかなり解消されていることがわかる (車頭時間 0.9 s/台で普及率が 30% のケースの渋滞解消効果は普及率が 100% のケースとほとんど同じであった)。また、図-11 に車頭時間 1.6s/台のケースにおける新大橋通りの上り方向上流端から下流端まで (墨田区から中央区への方向) の各普及率、各時間帯ごとの平均旅行時間のシミュレーション結果を示す。平均旅行時間の変化と渋滞長の変化がおおむね一致していることがわかる。

図-12、13 に車頭時間が 0.9s/台の場合の結果を示す。東名高速道路を用いた綾瀬サグ渋滞における AHS の導入効果の分析同様に普及率が同じであっても車頭時間が 1.6s/台の場合に比べ渋滞解消効果が高いことがわかる。

このように普及率が低い段階から渋滞改善効果があったことについては次のように考察することが出来る。越、桑原らによると、都市内の平日の交通渋滞は比較的低い割合 (数% から 10 数%) の超過需要によって発生する、と指摘されるが今回の実験の場合、反応遅れ時間が小さく規則的な走行を行う AHS 車両がある程度普及しただけでもボトルネックの交通容量を超える需要分

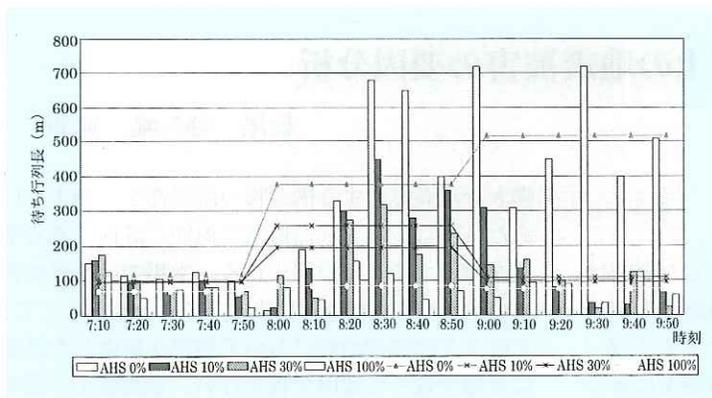


図-12 待ち行列長 (AHS の中間時間 0.9s/台 : 新大橋西交差点を先頭-上り)

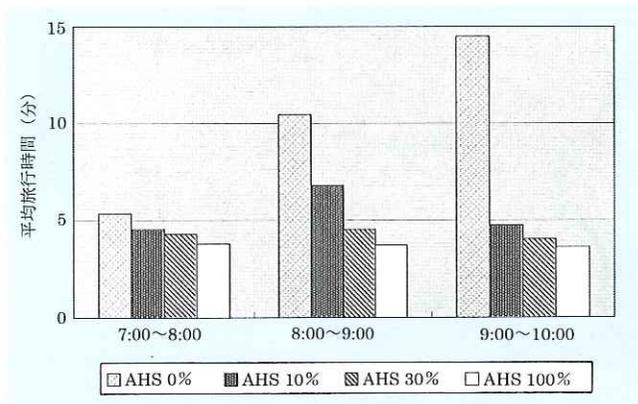


図-13 平均旅行時間 (AHS の車間時間 0.9s/台 : 中の橋交差点 ↔ 菊川 2 丁目交差点)

に対しての相殺効果があり、新大橋西交差点を先頭とする渋滞をかなり解消させることができたと考えられる。

7. 結論と今後の課題

シミュレーションによる分析は今後様々な角度から検討を実施する必要があると思われるが今回のケーススタディからは高速道路のサグ渋滞及び一般道のボトルネック渋滞ともに AHS の普及率の早い段階から渋滞の解消効果が見られることがわかった。そのため、今後「道路ネットワーク」-「交通需要」-「車両挙動」の 3 つの関係から道路交通問題を捉え施策を実施することが可能であることがわかった。

今後の課題は以下のとおり。

シミュレーションにおける AHS の設定は現在のところ乗用車のみを対象としているがこれを大型車両にまで拡大しより実現象に近い交通状況に

おける AHS の導入効果の評価を行う必要がある。

シミュレーションによる AHS の効率化に関する定量的評価を様々な条件下 (ネットワーク、大型車両の混入など) において実施し評価分析結果の蓄積をはかる必要がある。

効率性向上の検討においては縦方向の制御だけでなく横方向や交差部 (特に分合流部) における制御も含めた評価を行う必要がある。

参考文献

- 1) 村田重雄 : AHS (走行支援道路システム) リクワイメント, 土木技術資料, Vol.41.1, p12, 1999.1
- 2) 横田敏幸 : AHS の安全性及び効率性向上に関する評価の研究, 東京大学学位論文, 1998.12
- 3) Gordon Duncan : Paramics Technical Report, Car-Following, Lane-Changing and Junction Modeling
- 4) 尾崎晴男 : 車両の追従挙動とサグの隘路現象, 東京大学学位論文, 1994.4

横田敏幸*



建設省道路局道路環境課
(前 高度道路交通システム
研究室主任研究員)
Toshiyuki YOKOTA