

現実的な交通容量からみたAHSの適用性に関する検討

中村英樹
NAKAMURA, Hideki

外国論文研究会 名古屋大学大学院工学研究科助教授

1——はじめに

自動車の自動運転・運転支援システムは、道路交通安全性、円滑性、快適性の飛躍的な向上のための切り札として期待され、ITSの基幹技術として位置付けられてきた。円滑性について言えば、当初は例えば、「車頭時間0.4秒の隊列走行の自動運転を行うことにより、3,600/0.4=9,000[台/時]の交通量をさばくことができ、これまでの高速道路1車線の交通容量を2,000[台/時]とすると4.5倍の輸送力がある」といった単純計算にばかり目を奪われがちであったが、システムの具体的検討が進むにつれて、高速道路AHS(Automated Highway Systems)車線へのオンランプ合流、オフランプ分流、そして車線変更などの必要な車両挙動の影響、システムのフィジビリティなどに関する現実的な指摘がなされるようになった。今回紹介する文献は、特に交通容量の観点からAHSの現実的適用性に関する検討を行った数少ない文献の1つで、J.M.del Castilloら(1997)によるものである。この論文は、分合流の車両挙動を含んだ実質的な交通容量や、混雑による影響、一般道との接続部分などに関するAHSの特性について分析し、その現実的な性能を発揮するに相応しい適用地域の示唆を導いている。

なお、最近わが国では、近い将来に実現可能、あるいはすでに実現している各種運転支援システムなど、各実現段階に応じたより広い範囲のシステムを総称する“Advanced Cruise-Assist Highway Systems”の略語としてAHSを用いるようになったが、以下で用いるAHSは従前のいわゆる自動運転システムを指すものである。

2——課題設定

本論文で検討されている課題は以下の通りであり、これらに対する本論文の結論を3.以降に示す。

従来の高速道路の交通容量は、ランプでの分合流や車線変更などの現象による影響を含んだ結果として示される値であり、AHSの性能を論ずる場合にはこれと同じ土俵で比較評価を行うことが必要である。このとき期待できるAHS本線交通容量はどの程度となるのか？

次に、本線交通容量の交通量が端末に到着した際に、端末でこれを捌くことができるか？ 端末(ターミナル)において処理不能であれば、たとえ本線上において容量の向上があったとしても、実質的なシステムの容量増大にはつながらない。

端末容量の不足などの何らかの理由によりAHSが滞った場合に、どのような現象が生じるのか？

都市内に端末終点を有する路線にAHSを適用した場合には、大量の交通需要が到着することから端末容量の不足は避けられない。このため、都市内に端末を持たない郊外部の環状道路への適用が考えられるが、このときオフランプや一般道路における容量制約を満足できるのは、どのようなシナリオの場合か？

の条件を満足するAHSの建設費は、これと等価な交通容量を持つ従来の高速道路の建設費に比較して、果たして経済的か？

3——AHS性能の技術的検討

ランプにおける分合流挙動による容量低下

a)分流部

すべてのAHS車両が最小車頭時間間隔 h で走行しているとすると、その区間の交通容量 Q は $1/h$ で与えられる。しかしながら、オフランプ部において分流する車両は、安全に流出するために先行車両との車間距離を空ける、すなわち車頭時間を長く取って車群を分割する必要があると考えられる。分流部におけるシステムの設計によりこの車頭時間の増分 e の大きさは異なってくるものの、流出比 μ が増加すればそれに応じて交通容量 $Q=1/(h+\mu e)$ が低下することとなる。

本論文では、この考え方に基づき、1つの車群が N 台の車両から構成される場合の隊列走行のケースについて、流出比 μ に応じたAHS車線1車線の交通容量算定式を導出している。これより、流出比が0.1～0.4程度において交通容量の低下が著しいことを示している。現実的と考えられるシナリオとして、車群間距離を50m、車群内の各車両の車間距離を1m、車長を5mとし、30m/s(108km/h)の速度で走行

する場合を想定すると、分流のない場合、すなわち流出比 $\mu=0$ の場合には $N=5$ 台で $Q=7,000$ 台/時、 $N=15$ 台で $Q=12,000$ 台/時となるが、これらは $\mu=0.3$ でそれぞれ $4,500$ 台/時、 $9,000$ 台/時に低下する。

b) 合流部

合流部においては、合流挙動時の安全上の余裕を見る必要があること、合流前に合流車の速度を本線車と同じレベルまでにするほど十分な加速車線長が取りにくいと考えられることなどから、合流する本線車両間の車間を最小車頭間隔よりも大きくする必要があると指摘している。この合流するギャップに必要な車間距離を 20m とし、流入比が上流のオフランプにおける流出比 μ に等しいと仮定すると、交通容量は a) の結果からさらに $2 \sim 3$ 割の低下をもたらすと試算している。このようにランプ部の下流ではかなりの容量低下が見込まれるものの、 $N=10$ 台、 $\mu=0.2$ の場合で、AHS車線の交通容量は依然として1車線あたり $6,000$ 台/時という従来の高速道路2車線分の交通容量よりも大きな値となることを示している。

AHSと一般道路とのインターフェース

本線上においての条件を満足するような車頭間隔での走行を実現し、本線上で車両が滞りなく走行することができたとしても、オフランプで流出する車両を捌くことができるかどうかが問題となる。たとえば、本線交通量 $6,000$ 台/時で流出比を 0.3 とすると、ランプ交通量は $1,800$ 台/時となる。ランプ部では自動運転からドライバーによるマニュアル運転に切り替えられるので、従来のランプ容量を超える交通量进行处理することはできないはずである。 $1,800$ 台/時という値は一般的な従来ランプ容量の $2 \sim 3$ 倍であるため、流出ランプ交通量をさらにいくつかのサブランプに分散してそれぞれ別の一般道路に取り付けることが必要となる。このとき、一般道路の交通容量が制約条件となる。

混雑時の車両貯留能力と衝撃波

本論文では、これまでほとんど触れられることのなかった、AHS車線の渋滞時の影響について指摘している。何らかの理由により下流にボトルネックが生じ、停止に至った場合のAHSの渋滞密度は、一般の高速道路の渋滞密度とほぼ同じ 140 台/km程度になると考えられる。これより、AHSにおける渋滞待ち行列の貯留容量は従来の高速道路とほぼ等しく、一見その影響も変わりないように見えるが、これは誤りである。理由は以下の通りである。

第一に、従来の高速道路のうち1車線をAHS車線に改築する場合には、専用合流車線や長い距離の遷移車線などのためにさらに1車線分のスペースを必要とすると考えられ、結局従来の2車線分を転換することになる。このため実質的に貯留容量は改築前よりも減少する。また、新築の1車線のAHS専用道路と、同様の交通容量を持つ3車線の従来の高

速道路を比較すると、AHSでは単位距離あたりの貯留容量は $1/3$ となり、渋滞時における待ち行列長は非常に膨大なものとなる。

第二に、AHS車線による交通容量の増大は、衝撃波速度の増大を意味する。すなわち、交通容量が3倍になれば、停止衝撃波は3倍の速度で上流に延伸する。これは短時間に上流のオンランプを次々と塞ぐこととなり、そのしわ寄せが広い範囲の一般街路に及ぶこととなる。

4—AHSの適用可能なシナリオとその経済性

適用可能なシナリオ

ここでは、AHSの適用を想定する地域内で、交通特性が均質であるという仮定に基づくマクロな計算により、適用可能なシナリオを絞り込むことを試みている。すなわち、地域の平均トリップ長と、既往の研究により導かれている最小ランプ間隔 (5km) から、1つのAHSランプにおける流出交通量を求め、これがその地域の道路密度から想定される街路容量を上回らないようなケースを検討している。結果として、AHSの適用可能なシナリオは、平均トリップ長が 10km 程度で、かつ道路密度がある程度確保される都市郊外部の環状高速道路に限定され、都市内における混雑緩和策としてはAHSは機能しないとの結論を導いている。

建設費から見たAHSのフィジビリティ

最後に、の条件を満足する片側1車線のAHS専用道路と、これに等価な交通容量を持つ片側3車線の高速道路との間で、建設費の比較を行っている。AHS専用ランプの建設費を固定費用の項と流出交通量に比例する項から成ると仮定し、平均トリップ長とそれに応じて決まるランプ間隔を変化させて比較したところ、平均トリップ長が 8km 以上で両者の建設費は互角、 24km 以上でAHSが従来の高速道路1車線分のコストを節約できるとの試算が示されている。

5—おわりに

本論文は、いくつかの大胆な仮定に基づくラフな試算に過ぎない部分があることも否めないが、少なくとも容量の観点からだけでも多くのチェックポイントがあることを具体的に示し、システムの適用性評価を行っている点が評価できる。その方法論は、各種の運転支援システムの導入を検討する際に参考とすべき点も多い。要素技術としては可能であっても、システムとしての成立性の判断には包括的な検討が必要であることを如実に物語っていると言えよう。

参考文献

J.M. del Castillo, D.J. Lovell, C.F. Daganzo (1997): Technical and Economic Viability of Automated Highway Systems - Preliminary Analysis, Transportation Research Record 1588, Transportation Research Board.