

ノンストップ自動料金収受システムの最適ブース配置に関する研究

名古屋工業大学 学生員 ○小島 高裕
名古屋工業大学 フェロー 松井 寛

1. はじめに

現在の高速道路の渋滞状況は右表のように、料金所部での渋滞発生率が最も高いことが分かる。その対策の1つとして高速道路をはじめとする有料道路の料金所ではノンストップ自動料金収受システム（以降ETCと略記して進める）が導入されようとしている。これは、車が料金所で料金収受のために一旦停止を要請されることなく通過できるシステムであり、有料道路における料金所渋滞の解消などを目的に考えられている。ETCの普及段階では、従来車とETC対応車が混在するため料金所は従来車専用、ETC対応車専用、混在の各ブースが組み合わせられて運用されることが予想される。そこで本研究では従来車とETC対応車の処理能力について、待ち合せ理論を用いて考察することにより、ETC普及率 α ($0 \leq \alpha \leq 1$) における料金所ブースの最適な組み合わせを検討する。

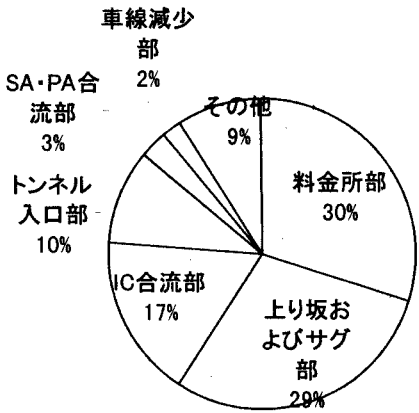


図1 高速道路の渋滞発生状況
(平成9年 日本道路公団調べ)

2. 待ち合せ理論を用いた理論的考察

待ち合せ理論において、車の到着はポアソン到着で平均到着率（単位時間に車が到着する台数）＝ λ 、サービス時間は先行車のサービス終了後、後続車がブースに到着するまでの移動時間と料金収受時間とを足し合せたものと定義し、指数型サービス時間で平均サービス率（単位時間にサービスが終了する台数）＝ μ と仮定する。その他、先着順サービス、到着数及び行列長は無制限と仮定する。また、サービス利用率 $\rho = \lambda / \mu$ とし、 $0 < \rho < 1$ の範囲で考える。以上の待ち合せは基本型の待ち合せである。平均待ち時間の式は次のように与えられる。

$$W = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = \frac{\lambda}{\mu(1-\lambda/\mu)} \tag{1}$$

上の式は、料金所の利用者が、従来車のみの場合やETC対応車のみの場合は使えるが、ETC対応車と従来車のように異なる2つのサービス率を持つ車が利用する場合は、以下に述べる2つのシステムを組み合わせる考えなければならない。1つ目は、 n 車線全てが混在ブース（1つのブースで従来車とETC対応車の両方を処理でき、到着した車は n 個あるブースのどれを選んでも同じ待ち時間と仮定する）の平均待ち時間 W の式であり、ETC普及率を α ($0 \leq \alpha \leq 1$) で表す。また μ_1 は従来車のサービス率、 μ_2 はETC対応車のサービス率で、本研究では $\mu_1=1/8$ [台/秒]、 $\mu_2=1/3$ [台/秒]とする。

$$W = \frac{(1-\alpha)^3 \lambda / n}{\mu_1^2 [1 - (1-\alpha) \lambda / n \mu_1]} + \frac{\alpha^2 (1-\alpha) \lambda / n}{\mu_1^2 (1 - \alpha \lambda / n \mu_1)} + \frac{\alpha (1-\alpha)^2 \lambda / n}{\mu_2^2 [1 - (1-\alpha) \lambda / n \mu_2]} + \frac{\alpha \lambda / n}{\mu_2^2 (1 - \alpha \lambda / n \mu_2)} \tag{2}$$

2つ目は、 $n (= i + j)$ 車線・専用ブース（従来車を処理できるブースが i 個、ETC対応車を処理できるブースが j 個）の平均待ち時間 W で次の式である。

$$W = \frac{(1-\alpha)^2 \lambda / i}{\mu_1^2 [1 - (1-\alpha) \lambda / i \mu_1]} + \frac{\alpha^2 \lambda j}{\mu_2^2 (1 - \alpha \lambda / j \mu_2)} \tag{3}$$

3. 専用ブース・混用ブースの分析

図2は、合計2車線の料金所で $\lambda = 0.15$ における従来車専用ブース、混在ブースとETC専用ブースをそれぞれ組み合わせた場合の平均待ち時間 W を表したものであり、ETCの普及率 α が0から1に上がっていくときの平均待ち時間の変化の様子が分かる。なお、各車線の行列長が同じとなるように利用者が混在車線と従来車・ETC対応車専用車線を選択するものと仮定する。図2から読み取れる結果は、 α が0から1になった時、つまり、現在料金所を利用している車がすべてETC対応車に変わることにより、混用ブースでは待ち時間がおよそ10分の1に短縮された。2車線の場合、図2に示すようにシステムの種類は4種類あり、「専1：従1」とはETC専用ブースが1車線、従来車専用ブースが1車線であることを示している。まず、システム毎に曲線を見てみると、ほとんどの車線では混在ブースの場合と同様に減少していく曲線となった。しかし、ETC対応車が利用できるブースが1つの場合は $\alpha = 0.8$ あたりから再び平均待ち時間が増加し始める。この原因は、 α が大きくなりETC対応車が増加するとETC対応ブースが1車線では処理できなくなっていくためである。反対に従来車が利用できるブースが1つの場合は $\alpha = 0.4$ 以下では従来車の平均待ち時間は非常に大きくなる。この結果より、普及率 α の増加に合わせてブースのシステムを変えていかなければどちらかのブースで渋滞が発生する可能性がある。以上の点を考慮して、 α の変化によりどの料金所システムが最適であるかを考える。 $\alpha = 0 \sim 0.2$ または 0.3 程度までは「混2」または「混1：従1」の双方が考えられる。これは全体の平均待ち時間を短縮したい場合は「混2」を、ETC対応車の平均待ち時間を短縮したい場合は「混1：従1」となる。その後は $\alpha = 0.8$ までは「混2」、 $\alpha = 0.8 \sim 1$ までは「専1：混1」となることが図から読み取れる。

4. まとめ

車線を増やした場合についても上と同様な考察を行ったが、車線数が異なっても2車線の場合と同じような結果が出た。つまり、 α が小さい場合は、全てが混用車線または一部に従来車専用車線を含む混在車線としたいに従来車専用車線が減っていき、 α が増加していくと全てが混在車線の場合からETC対応車専用車線がしだいに増えて、 α が1となったときには全ての車線がETC対応車専用車線となった。

参考文献 宮脇一男・長岡崇雄・毛利悦造：待ち合せ理論とその応用、日刊工業新聞社

長瀬正紀：縦列収受方式を導入した料金所の処理能力に関する研究、土木計画学研究・論文集 No15 ,pp813-820 1998

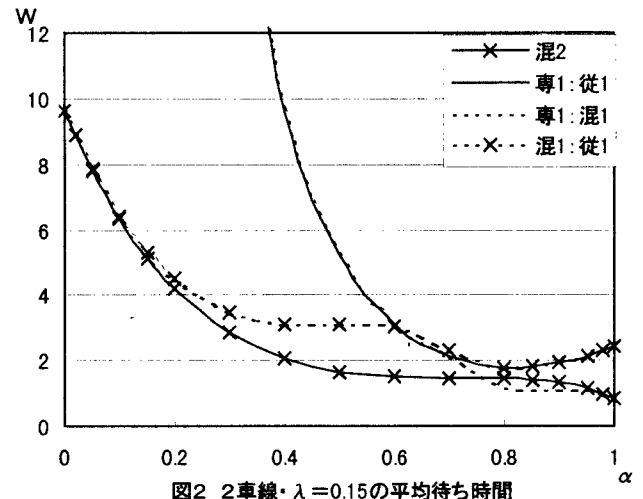


図2 2車線・ $\lambda = 0.15$ の平均待ち時間

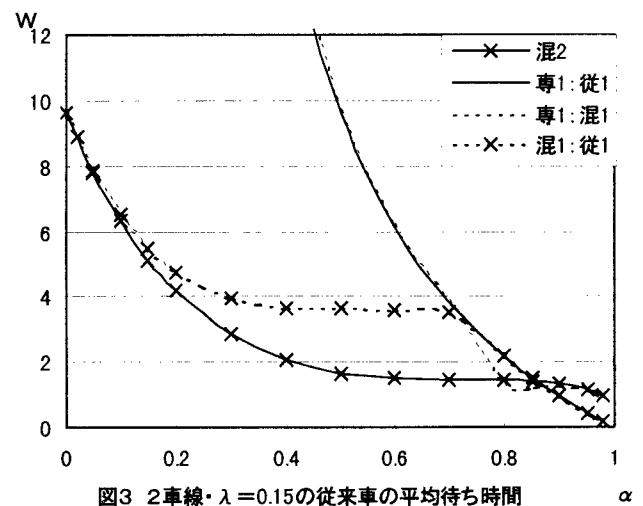


図3 2車線・ $\lambda = 0.15$ の従来車の平均待ち時間

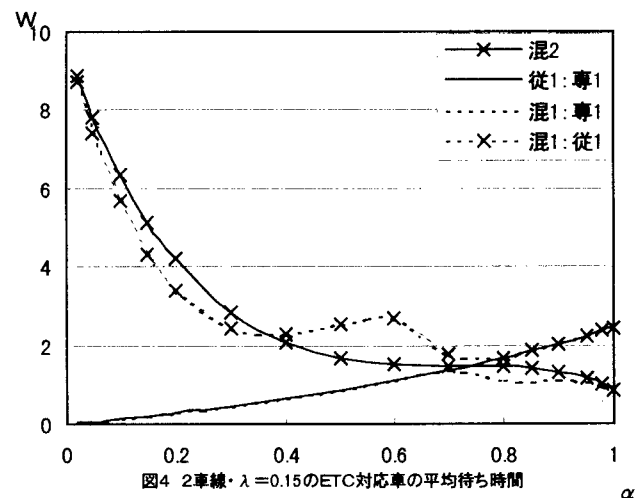


図4 2車線・ $\lambda = 0.15$ のETC対応車の平均待ち時間