Ⅳ-152　高速道路における車線の評価に関する研究

東京工業大学　正　員　中村英夫
正　員　内山久雄
学生員　○井口雅夫

1．研究目的

高速道路の車線数増加は、1車線当り交通量の減少をもたらし、かつ車線変更の機会を増加させることによって、道路のサービス水準を向上させる。また、事故、工事等による車線閉塞のためのサービス水準の低下は、車線数が多いほど少ない。すなわち、車線数の増加は道路の非常時に対するフレキシビリティを増す。現行の車線数決定手順によると、サービス水準を先に規定し、それに対応する1車線当りの交通量を定め、この値で計画交通量を割ることによって車線数が決定されている。ここにおいては、先に述べた車線数の増加によるサービス水準の向上が考慮されていない。車線数は容量の点からみると処理可能な交通量に関連づけられるものである。しかし、容量の点からは余分と思われる車線も、それによるサービス水準の向上を考慮すれば、有効性をもつものかもしれない。非常時に対するフレキシビリティも考えればその有効性はさらに大きなものであるはずである。

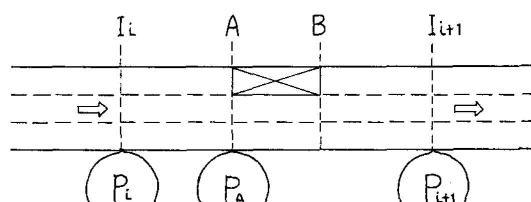
本研究は、高速道路における車線数増加の効果を道路のサービス水準の向上として把えることによって、車線の評価を試みるものである。

2．車線の評価基準、および評価方法についての考え方

道路のサービス水準を評価する因子としては種々のものが考えられるが、本研究においては、数量的に評価でき、しかも他の因子をも部分的に還元しうる因子として、走行所要時間をとることにする。このような因子を評価基準としてとり、以下に述べる方法で車線を評価する。道路のサービス水準はそこを流れる交通量に応じて変化するものであるから、種々の交通量に対して、車線数増加によるサービス水準向上の効果を算定する。また、事故、工事等による車線閉塞時におけるサービス水準向上の効果も算定する。最終的には、交通量の変動と車線閉塞確率を勘案してサービス水準向上の期待値を求め、車線数増加の効果を期待効用として把える。

3．区間通過所要時間の算定

高速道路をインターチェンジごとに区間分けし、各区間を独立に扱うものとする。このために、高速道路およびそこでの車の走行現象を図のようにモデル化する。



高速道路モデル

インターチェンジのある地点（I_i, $i=1,2,\cdots$）ごとに、容量無限大のパーキングエリア（P_i, $i=1,2,\cdots$）を仮想する。ここで、地点I_iへの車の到着密度が大きくて区間I_i-I_{i+1}に入いれない車の待ちが発生する場合、その待ちは仮想パーキングエリアP_iにたまるものとする。これによって、区間I_i-I_{i+1}の走行状態は、後方の区間$I_{i-1}-I_i$の状態に影響せず、また、仮想パーキングエリアP_{i+1}によって前方の区間$I_{i+1}-I_{i+2}$に影響されない。すなわち、各区間を独立に扱うことができる。

対象区間に車線閉塞（区間A－B）がある場合は、地点Aに同様のパーキングエリアP_Aを仮想し、区間をI_i－A、A－B、B－I_{i+1}の3区間に分けて考える。このとき、地点A，Bにおける車の到着密度は、それぞれ、地点I_i,Aにおける出発密度に等しい。

以上のようなモデルにおいて、区間通過所要時間は、区間の走行所要時間と各仮想パーキングエリアでの待ち時間との和として表わされる。

例えば、区間$I_i - I_{i+1}$がl車線で、区間A－Bがm車線閉塞されているとき、地点I_iへの到着密度がμの場合の、区間$I_i - I_{i+1}$の平均通過所要時間Cは次の式で表わされる。

$$C = \frac{d_{I_i,A}}{v(l,\mu)} + \frac{d_{A,B}}{v\{l-m, \rho(l,\mu)\}} + \frac{d_{B,I_{i+1}}}{v[l, \rho\{l-1, \rho(l,\mu)\}]} + q(l,\mu) + q\{l-1, \rho(l,\mu)\} \qquad (3.1)$$

ただし、　$d_{X,Y}$　；　区間X－Yの距離

$v(x, y)$；　車線数x，到着密度yのときの平均速度

$\rho(x, y)$；　車線数x，到着密度yのときの出発密度

$q(x, y)$；　車線数x，到着密度yのときの平均待ち時間

4. トラフィックシミュレーションと待ち行列理論による平均速度と待ち時間の算定

前記の平均速度vは解析的な方法で求めることはできない。一般に、ある時間交通量に対する平均速度は、Q－V曲線として実験的に求められている。しかし、いわゆるQ－V曲線は1つの車線上の議論であって、複数の車線の場合は、そこを走行する車がより大きな自由度をもつことにより、異なった傾向を示すものと考えられる。そこで、本研究においては、高速道路上の車の走行現象を模したシミュレーションモデルを作成し、これにおいて、種々の到着密度でランダムに発生させた車を流すことを試みる。このとき、種々の車線数について車を走行させ、それぞれについて平均速度と出発密度をアウトプットさせる。これにより、車線数および到着密度と、平均速度、出発密度それぞれの関係、すなわち、前記の$v(x, y)$と$\rho(x, y)$を求める。

待ち時間は、次のように待ち行列理論にあてはめることによって求める。すなわち、シミュレーションモデルにおいて、出発地点に車が入いるための必要最小車頭距離間隔eを車が通過する所要時間を待ち行列理論におけるサービス時間と考える。すなわち、車線数x，到着密度yのときのサービス速度$\lambda(x, y)$は、

$$\lambda(x, y) = e / v(x, y)$$

また、車線数は、待ち行列理論における窓口数に対応する。平均速度は、車線数と到着密度に依存するので、結局、車線数と到着密度から平均待ち時間、すなわち、前記の$q(x, y)$が求まる。

例えは、車線数x，到着密度y（$< \lambda(x, y)$）のときの平均待ち時間$q(x, y)$は次の式で表わされる。

$$q(x,y) = \lambda\left(\frac{y}{\lambda}\right)^x \Big/ \left[(x-1)!\,(x\lambda - y)^2 \left\{\sum_{n=0}^{x-1}\left(\frac{1}{n!}\left(\frac{y}{\lambda}\right)^n\right) + \left(\frac{y}{\lambda}\right)^x \Big/ (x-1)!\left(x - \frac{y}{\lambda}\right)\right\}\right]$$

以上のようにして求めた、$v(x, y)$，$\rho(x, y)$，$q(x, y)$を（3.1）式にあてはめて区間通過所要時間を算定する。

5. 車線の評価手順

上に述べたように、高速道路をインターチェンジごとに区間分けし、各区間への車の到着台数を予測する。このとき、1日の到着台数の変動を時間単位で考え、各時間内での交通は定常状態にあると仮定する。各時間到着台数に対して、種々の車線数と車線閉塞状態における、対象道路区間1台当り平均所要時間を前記の方法で求める。これに、過去のデータから求めた車線閉塞確率を勘案し、各車線数に対して、1日の区間通過延所要時間の期待値を算定する。

道路区間を1車線増したときの、その耐用年限内における区間通過延所要時間の短縮を時間的便益として把え、この値を当該車線のシャドープライスと考える。公共施設としての道路の車線数増加の所要時間短縮効果は、社会的便益として把えることができる。したがって、この評価には、高速道路の社会的耐用年数と社会的割引率を考慮する。

本研究においては、以上に述べた評価手順を実際の高速道路に適用して、車線評価を試みた。このケーススタディの結果は、スライドにより示すことにする。