

高速道路の IC 間隔計画問題の素朴な定式化 ～地方部の広域生活圏のモビリティ向上に向けた補助的メモ～ A Simple Formulation of IC-Interval Problem

家田 仁
By IEDA Hitoshi

1. はじめに

高速道路のパフォーマンスを決定する要素としては極めて多くの事項が考えられるが、インターチェンジ（以下 IC と略す）の間隔は、高速道路へのアクセス性の良し悪しに強く影響し、高速道路の路線位置、ネットワーク密度、設計速度、車線数、そして（無料も含めて）料金水準と並んで、高速道路の利便性、その社会的意味、利用交通量、あるいは採算性にも強く影響する要素である。とりわけ、短距離利用の交通需要にとっては影響が大きい。一方、わが国の高速道路の IC 間隔は、沖縄自動車道などの少数の例外を除くと、どの路線でも平均 IC 間隔は 10km～13km という似たような値となっており、また高速道路網の整備がわが国に比べワンランク進んでいるドイツやアメリカ合衆国などの、原則として有料制を採用していない諸国と比較すると、わが国の IC 間隔は明らかに長い。これはわが国の高速道路が、有料制を採用していることとも相まって、長距離輸送をその主たる任務としていることに強く影響されているものと考えられ、地方部の高速道路においても、東名・名神といった国土の基幹をなす幹線路線と同様の計画思想が適用されてきたことによるものと想像される。しかしながら、高速道路各路線の日平均断面交通量には、閑散路線から幹線までざっと 20 倍程度の差があり、地方部の高速道路は交通容量に対して相当量の余裕を持つ状況にある¹⁾。これに対して、ドイツやアメリカ合衆国における地方部の高速道路は、長距離交通需要のみならず

明らかに中短距離の交通需要を担うように設計されているように見える。

筆者は、地方部の広域生活圏のモビリティを向上することによって、地方部での定住化と活性化を促進すべきであると考えているが、そのためには地方部の幹線道路とりわけ高速道路が重要な役割を担うことが可能であり、またその必要があると思われる。こうした視点に立って、地方部の幹線道路を中短距離の地域需要に対しても十分に活用するためには、高速道路の利用料金のあり方の見直しと並んで、ETC などの技術を用いて上述の IC 間隔を短縮することが有効と予想される。

本稿は、以上のような問題意識に立って、本講演集に掲載されている論文、家田・国久・大熊「広域生活圏のモビリティ向上のための地方部における高速道路の機能向上」への補足的なメモランダムとして、IC 間隔の計画問題に本質的に寄与する因子を明らかにし、その寄与の仕方を大局的に理解するため、非常に素朴な定式化を行ったものである。

2. 本論

(1) IC 間隔と高速・一般分担問題

図-1 に示すように、IC 間隔 D の高速道路を考える。今、A-B 間について高速道路と一般道の選択問題を検討する。簡単のため一般道による場合の距離を L 、高速道路による場合の距離を高速部分を $L-D$ 、アクセス部分を kD とする。ここで、 k ($k > 1$) は、高速道路の密度を反映したパラメータとし、道路の整備密度が低いほど k が大きくなるものとする。高速道、一般道の速度をそれぞれ v_H 、 v_G 、距離あたり高速料金を f_H 、利用者の時間価値 w とすると、それぞれを用いた場合の一般化費用は

キーワード：高速道路、地方部、インターチェンジ間隔
正会員、工博、東京大学教授（社会基盤工学）
(113-8656 文京区本郷 7-3-1、TEL03-5841-6119、
FAX03-5841-8506、ieda@trip.t.u-tokyo.ac.jp)

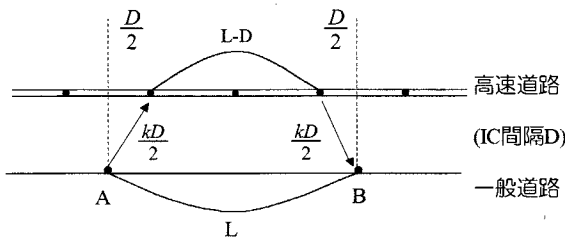


図-1 高速・一般分担問題

$$U_H = w \left(\frac{L-D}{v_H} + \frac{kD}{v_G} \right) + f_H(L-D) \quad (1)$$

$$U_G = w \frac{L}{v_G} \quad (2)$$

となる。ここで、高速道路料金設定の原則（ただし、ここでは走行費用低減の便益は無視している）より、

$$f_H < w \left(\frac{1}{v_G} - \frac{1}{v_H} \right) \quad (3)$$

と仮定する。すると、図-2から明確のように、

$$L \geq k^* D \equiv L^* \quad (4)$$

となる、利用距離の長い利用者のみが高速道路を利用することになる。ここで、

$$k^* \equiv 1 + (k-1) \frac{\frac{w}{v_G}}{w \left(\frac{1}{v_G} - \frac{1}{v_H} \right) - f_H} \quad (5)$$

なお、 k^* は k の増大に従って大きくなり、(3)式より明らかに $k^* > 1$ (6)となる。

(3)式の右边と左辺の差を以下のように定義すると、

$$\Delta u \equiv w \left(\frac{1}{v_G} - \frac{1}{v_H} \right) - f_H > 0 \quad (7)$$

高速道路利用者の一般化費用差は、(1)式、(2)式より

$$\Delta U = U_G - U_H = \Delta u(L - k^* D) \quad (8)$$

となる。この一般化費用差を便宜的に高速道路の単位利用距離あたりに割り振ると

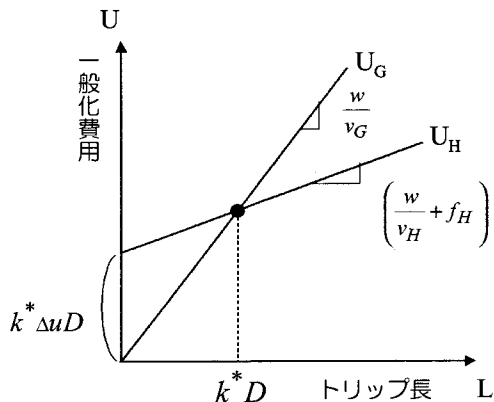


図-2 高速道利用と一般道利用の一般化費用

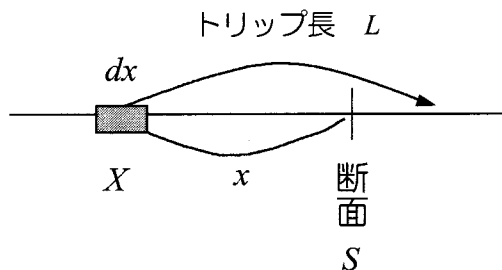


図-3 地点発生交通と断面通過交通

$$\Delta u' = \frac{(L - k^* D)}{L - D} \Delta u \approx \Delta u \quad (9)$$

となる。

(2) 交通需要のトリップ長特性

図-3のように線状の地域を考える。その中にある単位延長の任意の小区間で発生する交通需要を q とする。そのトリップ長が指数分布に従うものとする、この単位延長の小区間から発生するトリップ長 L の交通需要の密度 $\phi_0(L)$ は

$$\phi_0(L) = q\beta e^{-\beta L} \quad (10)$$

となる。これは、言うまでもなく L の減少関数である（図-4）。

この線状地域上に、任意の断面 S を想定し、この断面を通過する交通需要の距離分布を求める。延長 dx の任意の小区間 X が、断面 S から x の距離に位

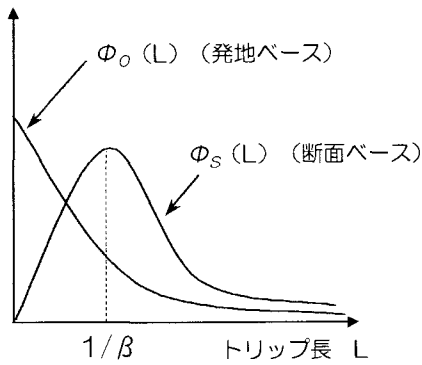


図-4 トリップ長Lの分布特性

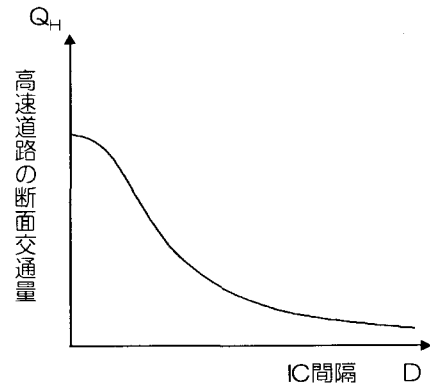


図-5 高速道路のIC間隔と交通量

置するものとする。この小区間から発生するトリップ長Lの交通需要は、もし、 x がLよりも小さければ断面Sを通過することになる。従って、断面Sを通過する交通需要の内、トリップ長がLである需要の密度 $\phi_S(L)$ は、(10)式を0からLの範囲で x について積分し、

$$\phi_S(L) = \int_0^L \phi_0(L) dx = q\beta L e^{-\beta L} \quad (11)$$

となる。これは、 $L = \frac{1}{\beta}$ に極大値を持つ上に凸の関数である(図-4)。

断面Sに着目した(11)の交通需要の内、(4)を満たす長距離利用者が高速道路を利用する。従って、高速道路の断面交通量 Q_H は、(11)式を(4)式の範囲でLについて積分し、以下となる。

$$\begin{aligned} Q_H &= \int_{L^*}^{\infty} \phi_S(L) dL \\ &= qe^{-\beta L^*} \left(L^* + \frac{1}{\beta} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $L^* \equiv k^* D$

これは、 $D=0$ に極大値をもつDの減少関数である(図-5)。

(3) IC間隔に関する費用と便益

今、ICを1ヶ所設置する費用を c_I とする。すると、IC間隔がDのとき、単位延長あたりの費用Cは、 c_I/D となる。

一方、利用者が、高速道路の単位延長あたり得る

便益は、(9)式と(12)式を乗じることによって得られる。また、高速道路サービスの供給者が得る高速道路料金収入による単位延長あたりの便益は、料金 f_H と(12)を乗じて得られる。これら両者の和を便益Bとし、費用Cを減じて純便益 ΔB を算出すると、

$$\begin{aligned} \Delta B &= B - C \\ &= \left(\frac{1}{v_G} - \frac{1}{v_H} \right) w q e^{-\beta k^* D} \left(k^* D + \frac{1}{\beta} \right) - \frac{c_I}{D} \end{aligned} \quad (13)$$

となる。BとCを図示すると、図-6のようになる。

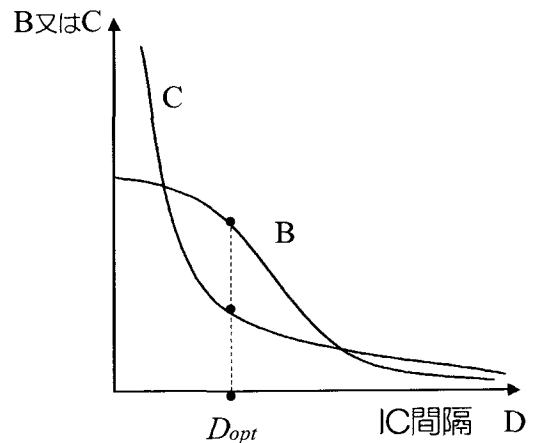


図-6 IC間隔と費用、便益

$\angle B$ をIC間隔 D で微分して、 D の最適地 D_{opt} が満たすべき条件を求めると以下を得る。

$$D_{opt} = \left[\frac{c_I \exp(-\beta k * D_{opt})}{\left(\frac{1}{v_G} - \frac{1}{v_H} \right) w q \beta k^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

この方程式中、右辺中の D_{opt} の寄与は指数関数により希釈され、しかもその $1/3$ 乗で効いていることに注意すると、 D_{opt} に初期値を仮定し右辺に代入することにより算出された D_{opt} を改めて右辺に代入することを繰り返せば、 D_{opt} の値は必ず収束することがわかる。従って、 D_{opt} の値の大局は(14)式右辺の指数関数部以外のパラメータによって決定するといつてよい。

(4) IC 間隔への影響因子

従って、(14)式より、IC 間隔をより短くする誘因。

として以下のような至極リーズナブルな結果が演繹される。

- ①インター設置の単価 c_I が安い
- ②一般道の走行速度 v_G が低い
- ③高速道路の走行速度 v_H が高い
- ④利用者の時間価値 w が高い
- ⑤交通需要の発生密度 q が大きい
- ⑥交通需要の距離減衰特性 β が大きい

ただし、需要密度 q の寄与については注意が必要である。本稿の定式化では、 v_H を一定と仮定したが、需要密度 q が大きい場合には混雑効果が働いて v_H が低下し、③の効果によって、最適な IC 間隔 D_{opt} は q の増大とともにむしろ逆に拡大すべきことになる。

【注】¹ 当然、車線数などに差が付けられてはいるものの、路線平均日交通量でみると、大ざっぱにいうと、少ない路線では約 2500 台/日、多い路線では約 6 万 5000 台/日となっている。