都市交通の混雑料金に関する一考察

丸　茂　　新

I　はじめに

交通混雑の問題は一種の外部効果に関する問題であり、厚生経済学の理論分野では A. C. Pigou（1920）および F. H. Knight（1924）が資源の最適配分の視点に立つて、始めて本格的な検討を加えたことはよく知られている。その後、この種の問題は外部効果の内部化を図る「ピグーの混雑税」として多くの経済学者により研究されてきた。われわれは本稿において、これまでの多くの研究者と同様、経済理論の枠内に留まりながら、しかしより一層現実の適用に近い視点で道路料金決定（road pricing）に関する二つの問題を考察することにする。すなわち一つは、異なった車種の自動車は異なった道路混雑を引き起こす事実を考慮して、従来の標準的な一車種を前提とする説明から複数の車種に拡大した場合、その限界混雑コスト（marginal congestion cost）はどのように確定しうるかという問題であり、他の一つは従来、一般的に取り扱われる単一の道路を対象とした最適の道路混雑料金の問題は、代替可能な（無料）ルートあるいは代替交通機関の存在を考慮する場合に、どのような修正を受けるかを問う問題である。

II　車種別の限界混雑コスト

A. C. ピグーあるいは F. H. ナイトの厚生経済学の理論上の展開は別として、混雑道路に対して混雑料金ないし混雑税の現実の適用を本格的に検討した

のは1964年、イギリス運輸省の委託を受けて綿密な道路料金制度の研究を行ったDr. R. J. Smeed（Road Research Laboratory）を中心とするイギリスの研究グループであったといえよう。この研究グループが提出したいわゆる「スミード報告」[1)]における限界混雑コストの内容は以下のごとくである。

いま特定の道路の特定区間、X～Y、を標準的な自動車が標準的な走法にて走行するものとする。より具体的には一時間あたりn台の車が平均速度vで、t分かけてX～Y間を通行しているものとする。この場合、（資本コストを別とすれば）社会的には総じて（1）のコストが発生している。

$$STC = nf(t) + r(n) + s(n) \qquad (1)$$

ただしf(t)は各自動車の利用者が現実に支払う「一般化された」走行費であり、時間tの関数として表わされるものとする。またr(n)は道路の維持費、そしてs(n)は環境汚染に関係して地域全体にあたえる環境コストである。いま走行台数がn台からn+1台に増え、それによりX～Y間の走行に要する時間はt^1に増加し、道路維持費および環境コストもそれぞれr(n+1)およびs(n+1)に増加したとする。そうすれば通行台数がnからn+1に増加することにより社会的には（2）式の社会的限界費用が発生したことになる。

$$\Delta STC = (n+1)f(t^1) - nf(t) + r(n+1) - r(n) + s(n+1) - s(n) \qquad (2)$$

スミード報告では、nが極めて大きい場合に追加的な一台の車両が道路維持費および環境コストに及ぼす影響は微々たるものとしてこれら二項についての増加分を無視し、専ら右辺の最初の二項のみを問題にする。かくしてnの一単位の増加に対応する実質的な社会的総費用（STC）の増加分は

$$\Delta STC_{real} = (n+1)f(t^1) - nf(t) = n\{f(t^1) - f(t)\} + f(t^1) \qquad (3)$$

である。[2)] このコストは問題の追加的な一台の自動車の走行がなければ社会的

1) Ministry of Transport, *Road Pricing: The Economic and Technical Possibilities*, London, 1964.

2) See Road Pricing, op. cit., pp. 45ff.

に回避できたココスであり、さらにn＋1台目の自動車は（3）の右辺第二項の$f(t^1)$で表わされる走行費を彼自身負担（支出）するが、第一項の$n\{f(t^1)-f(t)\}$は、特別な制度的対応をとらなければ他の利用者に負担をかけたまま放置されることになる（スピル・オーバー現象）。かくして問題の自動車道X～Yに関して社会的なコストを基準にして限界費用価格形成原理を適用するためには、n＋1台目の自動車は新たな状況の下で発生する自己の走行費$f(t^1)$を負担するだけでなく、他のn人の利用者に対して発生させた追加的な負担（マイナスの外部効果）は自らが引き起こした限界混雑コスト（MCC）としてこの分をも負担（内部化）することが求められる。他方、またそれだけの利用価値を認める利用者に限ってこの道路を利用させることが期待される。[3)]

さらにS. A. Morrison（1986）は、道路料金論に関する彼のサーベイ論文においてより一般的に以下のような形で社会的最適条件およびその際に内部化すべき限界混雑コストを説明する。[4)]

いま混雑状態にある特定道路を利用するnグループの人達がおり、彼等はそれぞれt時に問題の道路を利用するものとする。さらにi番目のグループによるt時のこの道路の需要価格P_{it}は需要量Q_{it}の関数として次式により表わされるものとする。

$$P_{it}(Q_{it}),\quad ただし\ i=1,\ \cdots,\ n;\ t=1,\ \cdots,\ T. \tag{4}$$

他方、このグループの人達が実際に支払う「一般化された」コストは需要量Q_{it}および輸送容量kの関数として

$$D_t=D_t(Q_{1t},\ Q_{2t},\ \cdots,\ Q_{nt},\ k) \tag{5}$$

で表されるものとすれば、問題の道路利用に関する社会的純便益SNBは次式により表される。

3）われわれはすでに他の機会に、連続関数を用いた他の方法でこの限界混雑コストの負担を説明している。丸茂新、“シンガポールの都市交通政策”、運輸と経済、1999年6月号、p. 56.

4）Cf. S. A. Morrison, “A Survey of Road Pricing,” *Transportation Research*-A. vol. 20A, No. 2, 1986, pp. 87ff.

$$SNB=\sum_{t}^{T}\sum_{i}^{n}\left[\int_{0}^{Q_{it}} P_{it}(Q'_{it})dQ'_{it}-Q_{it}*V_{it}*D_{t}(Q_{1t},\cdots,Q_{nt},k)\right]-R(k) \qquad (6)$$

ただし V_{it} は i 番目のグループの道路利用者による t 時の道路利用について期待される時間価値であり、また R(k) は輸送容量 k の投資コストである。これより Q_{it} の利用に関して求められる最適な道路料金の条件は（7）により示される。（7）の右辺第1項は i グループの t 時の利用者みずからが負担する一般化されたコストであり、そして第2項が問題のマイナスの外部効果として追加的な利用者が私的コストに加えて負担すべき限界混雑コストMCCである。[5)]

$$P_{it}=V_{it}*D(Q_{1t},\ \cdots,\ Q_{nt},\ k)+\sum_{i}^{n} Q_{it}\,\partial D_{t}/\partial Q_{it} \qquad (7)$$

さていま、われわれはスミード報告やモリソンの総括的な論文が仮定したように、なおも特定の一本の道路を取り上げるとしても、標準化された特定種の自動車とか単なる i 番目の利用者グループという抽象的なレベルでの利用者（車種）の区別に代えて、もう少し現実の交通事情を考慮して車種別の限界混雑コストを考察してみよう。

われわれはこの際、Link-Dodgson et al. (1999) にしたがって問題の特定道路を利用する代表的な車種は次の5種類に分類できるものとしよう。[6)] すなわち

1）自家用(乗用)車…(car) F_1
2）軽量貨物自動車…(light goods vehicle) F_2
3）一般重量貨物自動車…(rigid heavy goods vehicle) F_3
4）トレーラ式重量貨物自動車…(articulated goods vehicle) F_4

5) なお、この道路の最適輸送容量（投資）は、道路容量の限界費用が全利用者による全期間の限界混雑コストの節約分に均等するまで拡大することが求められる。すなわち

$$\partial R(k)/\partial k=-\sum_{t}^{T}\sum_{i}^{n} V_{it}*Q_{it}\,\partial D_{t}/\partial k \qquad (8)$$

6) 以下の基本的な内容は次の文献による。H. Link, J. S. Dodgson, M. Maibach, M. Henry, *The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe*, Physica-Verlag, 1999, pp. 61ff.

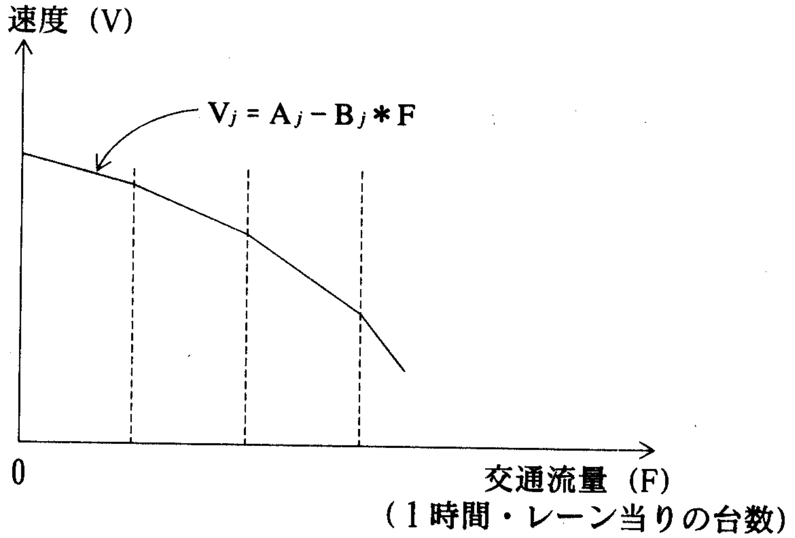
5）バス…(bus)　F_5

経験的にこれらのグループは他の走行車両に対しそれぞれ異なった遅延効果（走行速度の低下）を持ち、またその遅延効果は全体の交通流量（flow）がどのレベルにあるかによっても異なる。いま一つの典型的なケースについて速度・流量関数は

$$v = A - B * F \tag{9}$$

により与えられ、またそれを図示すれば第1図のごとくである。

第1図



出所：Link-Dodgson et al., p. 63.

さて問題の特定区間X～Yを走行するために必要な走行時間tは走行速度vと逆数の関係にあり、v＝1/tである。またこの際、実際の走行に際して各利用者が負担する自己の一般化された走行費は（10）により与えられるものとしよう。ただしa, b, cはそれぞれの自動車の車種により異なるパラメータである。

$$g = a + b/v + cv^2 \tag{10}$$

今もし標準的な特定の車種に限定されたgを仮定するならば、（9）および（10）により、特定区間の交通流量Fに関して問題の限界混雑コスト（MCC）は（11）のごとくとなる。

$$(\partial g/\partial F)F=[b^*B(A-B^*F)^{-2}-2cB(A-B^*F)]F \tag{11}$$

さて次にわれわれは車種別の限界混雑コストを求めてみよう。[7] いま問題の自動車道において上記の5種類の自動車が利用されており、それぞれの自動車は一時間・一レーンあたり F_i の交通流量を持ち、そしてすべての車両についての総交通流量は F であるとする。すなわち、

$$F=F_1+F_2+\cdots+F_5. \tag{12}$$

さらにこの道路を走行する自動車の平均走行速度 v は

$$v=v(F_1,\ F_2,\ \cdots,\ F_5),\qquad \partial v/\partial F_i<0 \tag{13}$$

であるとし、また各車種別の一台あたりの一般化された走行費は

$$g_i=g_i(v),\qquad \partial g_i/\partial v<0,\qquad i=1,\ \cdots,\ 5, \tag{14}$$

であるとする。そうすればこの道路に関する社会的な総交通費 STC は

$$STC=\sum_i^5 F_i^*g_i(v) \tag{15}$$

で表わされる。(15) について各車種別の限界的な追加車両に対応する社会的な限界費用を求めると以下のごとくである。

$$\begin{aligned}\partial STC/\partial F_1&=g_1(v)+\partial v/\partial F_1\left(\sum_i^5 F_i^*\partial g_i/\partial v\right)\\ \partial STC/\partial F_2&=g_2(v)+\partial v/\partial F_2\left(\sum_i^5 F_i^*\partial g_i/\partial v\right)\\ &\cdots\\ \partial STC/\partial F_5&=g_5(v)+\partial v/\partial F_5\left(\sum_i^5 F_i^*\partial g_i/\partial v\right).\end{aligned} \tag{16}$$

ところで (16) により示される各車種別の流量の追加分が与える社会的限界費用のうち、$g_i(v)$ 分については自己の走行費としてそれぞれが負担するが、(16)の各式の右辺第二項は、何らの制度的な対応がなければスピル・オーバー

7) われわれは Link-Dodgson et al. と同一の結果に導くが、恐らくそのプロセスはいささか異なるものと思われる。Cf. Link-Dodgson et al., op. cit., p. 65. とりわけ PCU_j の定義およびその取り扱いに関してはわれわれの方法で説明することにする。

として放置されることになる。かくして社会的な厚生の極大化を求める道路料金制度の下では、この第二項は車種別の限界混雑コスト（MCC_i）として内部化されることになる。

いま自家用乗用車（car）を基準として自家用乗用車が引き起こす交通の流れに対する遅延効果を

$$\partial v/\partial F_1 \equiv PCU_1 \equiv 1 \tag{17}$$

と定義し、同時に PCU_1 との対比において

$$\begin{aligned} &\partial v/\partial F_2//\partial v/\partial F_1 = PCU_2, \\ &\partial v/\partial F_3//\partial v/\partial F_1 = PCU_3 \\ &\qquad\cdots \\ &\partial v/\partial F_5//\partial v/\partial F_1 = PCU_5 \end{aligned} \tag{18}$$

と定義すれば、（17）および（18）を用いて（16）は、結局、

$$\begin{aligned} &MCC_1 = \Sigma(F_i{}^* \partial g_i/\partial v)PCU_1, \\ &MCC_2 = \Sigma(F_i{}^* \partial g_i/\partial v)PCU_2, \\ &\qquad\cdots \\ &MCC_5 = \Sigma(F_i{}^* \partial g_i/\partial v)PCU_5 \end{aligned} \tag{19}$$

となる。

なお、われわれは（17）により自家用乗用車の遅延効果を基準値（$PCU_1 \equiv 1$）として定義しているので（19）は、一度び自家用乗用車の限界混雑コスト MCC_1 が確認されれば、それ以外の車種の限界混雑コストを求めるにはこの MCC_1 に各自動車の遅延効果に関する（対自家用乗用車）換算比率 PCU_j を乗ずれば良いことになる。

Ⅲ　代替ルートとセカンド・ベストの問題

われわれが以上において取り上げたスミード報告、それに続くモリソンの道路料金論の総括的説明さらには複数の車種を問題とした Link-Dodgson et al. の限界混雑コストのいずれにおいても単一のルートが問題とされ、代替ルートないし代替交通機関の存在をエクスップリシットに仮定していない。問題の一

つのルートについてその利用者の便益とコストの関係に基づいて社会的な純便益の極大化を求めるという意味で、まさにプライム・ベストの問題である。しかしいま政治的理由、社会的理由、歴史的理由あるいはその他の何らかの理由により有効かつ無料の代替ルートが存在する場合には、この無料ルートの効率的な利用をも考慮に入れて、社会的に最大の純便益をもたらす有料道路の料金設定が問われなければならない。この無料道路の効率性を保証するとの条件の下で有料道路を通して社会全体の純便益の極大化を求めるという意味で、後者の問題はセカンド・ベストの問題として把握される。

ところでこのような無料の一般道路の存在を前提として社会全体の見地から、それと代替関係にある有料道路の料金決定の問題を現実の適用をも考慮して検討した最初の研究者はフランスの **H. Lévy-Lambert**（1968）であるといわれる。[8)] **L - ランベール**は ***Econometrica***, vol. 36, 1968において **“Tarification des services à qualité variable—application aux péage de circulation,”** を公表した。彼はこの論文においてまず外部効果を含む一般均衡論の理論的展開を試みるとともに、合わせて彼の理論の実際的な適用を検討する部分（**Implications Pratique**）において「一般（無料）道路に並行する自動車道のケース」を取り上げた。彼の外部効果を含む一般均衡論としての道路料金論の基本的な内容は以下のごとくである。

いま **n** 人の消費者が **m** 個の“通常の財（サービス）**—les biens normaux**”を消費し、またそれらを生産する企業（生産者）が **p** 社存在するとする。しかしこれらの消費者および企業（生産者）はともに、国、地方自治体あるいは第３セクター（**les Sociétés d'Économie mixte**）が提供する道路を利用してそれぞれの消費活動および生産活動に従事する。そしてこの道路サービス（財０）

8) See E. Verhoef, P. Nijkamp, and P. Rietveld, “Second-Best Congestion Prcing: The Case of an Untolled Alternative,” *Journal of Urban Economics*, vol. 40, 1996, p. 280.
　なお、L-Lambert　とともに M. Marchand, “A Note on optimal tolls in an imperfect environment,” *Econometrica*, vol. 36, 1968, pp. 575ff もまた最初にこの種のセカンド・ベスト問題を取り扱った研究者として引用されるが、彼の論文の内容は L-Lambert に準拠するものであり、Lambert と同列に置くのは困難であろう。

の供給は、消費者および生産者両者に対するマイナスの外部効果としてqという環境の質的変化を与えるものとする。すなわちこのqは“質の変数q”として以下のように消費者の効用関数および生産者の変換関数に組み込まれる。すなわちk番目の消費者の効用関数は

$$S^k = S^k(q,\ x_0^k,\ x_1^k,\ \cdots,\ x_m^k),\qquad k=1,2,\cdots,n \tag{20}$$

を仮定し、そして「通常の財」の生産者hの変換関数は

$$f^h(q,\ y_0^h,\ y_1^h,\ \cdots,\ y_m^h)=0,\qquad h=1,2,\cdots,p \tag{21}$$

である。そして道路サービス（財0）の生産に関する変換関数はとりわけ

$$f^0(y_0^0,\ y_1^0,\ \cdots,\ y_m^0)=0, \tag{22}$$

として与えられる。さらに資源の需要と供給および残存量rの間には

$$\sum_{k=1}^{n} x_i^k - \sum_{h=0}^{p} y_i^h = r_i,\qquad i=0,1,\cdots,m \tag{23}$$

の関係を仮定する。

なお、環境の質的変化qは道路サービスの生産量の関数として

$$q=q(y_0^0) \tag{24}$$

とおく。L-ランベールはさらにその際、社会的厚生関数として

$$U=U(S_1,\ S_2,\ \cdots,\ S_n) \tag{25}$$

を仮定し、以上の制約条件の下で次のようにラグランジュ形式Lを設定する。すなわち

$$\begin{aligned} L(\cdots,\ x_i^k,\ \cdots,\ y_i^h,\ \cdots) &= U(\cdots,\ S^k(q(y_0^0),\ \cdots,\ x_i^k,\ \cdots),\ \cdots) \\ &\quad -\sum_{h=1}^{p} \mu^h f^h(q(y_0^0),\ \cdots,\ y_i^h,\ \cdots) - \mu^0 f^0(\cdots,\ y_i^0,\ \cdots) \\ &\quad -\sum_{i=0}^{m} p_i\left[\sum_{k=1}^{n} x_i^k - \sum_{h=0}^{p} y_i^h - r_i\right]. \end{aligned} \tag{26}$$

ただしμ^h, $(h=0,1,\cdots,p)$およびp_i, $(i=0,1,\cdots,m)$はラグランジュ

の未定乗数であり、とりわけ p_i はシャドウ・プライスとしての意味を持つ。

(26) より極大の必要条件を求めると、消費者の x_i^k の変化に関しては

$$\partial L/\partial x_i^k = \partial U/\partial S^k * \partial S^k/\partial x_i^k - p_i = 0,$$
$$(i = 0, 1, \cdots, m; k = 1, 2, \cdots, n), \quad (27)$$

通常の財の生産者については

$$\partial L/\partial y_i^h = -\mu^h f_i^h + p_i = 0, \quad (h = 0, 1, \cdots, p; i + h \neq 0), \quad (28)$$

また財０（道路サービス）の供給に関しては

$$\partial L/\partial y_0^0 = \sum_{k=1}^n \partial U/\partial S^k * \partial S^k/\partial q * \partial q/\partial y_0^0$$
$$-\sum_{h=1}^p \partial f^h/\partial q * \partial q/\partial y_0^0 - \mu^0 \partial f^0/\partial y_0^0 + p_0 = 0, \quad (29)$$

の条件が満たされねばならない。[9]（29）は次式のように置きかえることができる。

$$P_0 = \mu^0 \partial f^0/\partial y_0^0 + \sum_{h=1}^p \mu^h \partial f^h/\partial q * \partial q/\partial y_0^0$$
$$-\sum_{k=1}^n \partial U/\partial S^k * \partial S^k/\partial q * \partial q/\partial y_0^0 \quad (30)$$

さて問題の有料道路の料金設定に関して（30）は何を意味するのか。

L‐ランベールは、（22）に基づき y_i^0（$i \neq 0$）をわずかずつ変化させてわずかな y_0^0を生産する際に、その生産者（政府、地方自治体等）にとっての生産コストは次式により与えられれるとする。

$$c_0 * dy_0^0 = -\sum_{i=1}^m p_i * dy_i^0 \quad (31)$$

ただし c_0は財０の限界費用である。しかし（22）と（28）を考慮すれば、この y_0^0の限界費用は、結局

9) L-Lambert はこれらの式の展開において簡略記号を用いているが、われわれは後の説明のためにこの際、式の展開を具体的に表現しておく。Cf. L-Lambert, op. cit., p. 567.

$$c_0 = \mu^0 \partial f^0 / \partial y_0^0 \tag{32}$$

となる。

それ故、(30) の右辺第一項は問題の財0の生産者にとっての私的な限界費用であることを知る。他方、第二項および第三項は詳細な式の展開を見るまでもなく、第二項は財0の生産が通常の財の生産者におよぼす限界的な外部効果の社会的な総和であり、さらに第三項は同じく財0の生産者が消費者におよぼす限界的な外部効果の総和を表わす。

かくして (30) に関するL-ランベールの重要な結論は、他の生産者および消費者の選択に質的変化（外部効果）を与える財（サービス）を供給する場合には、そのような財の価格は「社会全体に対して発生させる限界費用（le coût marginal pour la collectivité）に均等すべきであり、その（社会的な）限界費用とは問題の（質的変化を与える財の）生産者にとっての（私的な）限界費用のみならず、（通常の財を生産する）他の生産者および消費者の各個人に及ぼす限界費用を含む。問題の生産者がこの一般化された限界費用(le coût marginal généralisé）に等しい価格で財0を提供するならば、個人（消費者）および（通常の財の）生産者による財0の利用量は最適であろう。なおこの際注意すべきことは、問題の外部不経済は一般的に言って除去されるものではなく、最適の水準に設定されるだろうと言うことである。もし問題の財0の生産者が自己の部門で発生する限界費用（son coût marginal propre）のみを償う水準の価格で提供するならば、混雑や過剰な汚染にみられるような資源の浪費を引き起こすであろう。(p. 569)」

以上が、質の変数qを用いたL-ランベールのマイナスの外部効果に関する厚生経済学的な理論展開の主たる内容である。このユニークな理論展開はそれ自身非常に興味をそそるものであるが、今回のわれわれの考察においてより一層興味をそそるのは彼のこの結論の現実面への適用である。

L-ランベールは彼の一般的な理論的結論を道路交通の問題に適用するに当たって二つのケースを区別する。一つは独立した1本の自動車道（autoroute isolée)のケースであり、他の一つは並行する2本の自動車道のケースであり、とりわけそのうちの1本が無料の一般道路（autoroute parallèle à une route libre）の場合である。

前者の「1本の自動車道」に関しては、彼の一般理論の展開においては一般均衡論の展開を試みたにもかかわらず、この現実への適用においては、他の生産部門が最適な行動をとるとのお決まりの前提の下で1本の自動車道についての部分均衡の問題に落ち着くのである。彼はまずフランスの自動車交通の実態に基づいて走行速度（V）、燃料費（g）および事故率（a）の三つの変数を、1時間当たりの走行台数（J）の関数として求め、問題の自動車道を利用する自動車交通の総交通費を

$$C=J*(Tt+Gg+Aa) \tag{33}$$

で表す。[10] ただしTは問題の期間に実現する社会全体の総走行時間、Gは総燃料消費量、そしてAは総事故発生件数である。（33）より一台当たりの走行に要する平均的な走行費（d）は

$$d=C/J=Tt+Gg+Aa \tag{34}$$

であり、また自動車の走行が与える社会的な限界走行費（m）は

$$m=\partial C/\partial J=(Tt+Gg+Aa)+J(T\partial t/\partial J+G\partial g/\partial J+A\partial a/\partial J) \tag{35}$$

である。かくしてこれまでの説明からも明らかなようにこのケースにおける最適道路料金（le péage optimal）は限界混雑コストに等しく、従って

$$p=m-d=J(T\partial t/\partial J+G\partial g/\partial J+A\partial a/\partial J) \tag{36}$$

となる。

ところでわれわれにとり最も興味ある問題は二本の平行道路のケースである。一般的に見てこの種の代替ルートが存在し、かつそれらの間の選択が均衡

10）L-Lambertの用いる具体的な自動車交通の費用関数は以下の三式である。See L-Lambert, op. cit., p. 570.

$V=90-0.1*10^{-3}J-0.01*10^{-6}J^2$,

$g=14.6-0.29V+2.4*10^{-3}V^2$,

$a=20+3*10^{-3}J$

状態にある時には常に現実に支払う「一般化された」コストが両ルートにおいて均等しなければならず、またその私的なコストは私的に享受する限界的な便益と均等しなければならない。前者のコストの均等化は時には“Wordrop's first principle”と称されている。[11] また後者の限界的な均等関係が成立してはじめて現実の経済的な選択が有効になる。L - ランベールもまたこの均衡条件から彼の分析をスタートする。

いま利用者にとって道路サービスの利用便益と料金水準の間に特定の需要関数を期待することが出来、その需要関数の逆関数として b(J) を求めうるならば、上記の説明に基づき初期の選択参入条件は

$$b(J)=b(J_a+J_r)=d_r(J_r)=d_a(J_a)+p \tag{37}$$

である。ただし a および r はそれぞれ自動車道および一般(無料)道路を示し、p は自動車道の道路料金である。(37) はまた、p の変化が J_a および J_r の変化と関係することを暗に含んでいる。(i.e.　$J_a=f_a(p)$, $J_r=f_r(p)$)

いま問題の道路サービスについて社会全体の効用を U とし、J_a の利用に関する私的な限界費用を m_a、そして J_r の利用に関する私的な限界費用を m_r とすれば、U が極大であるための必要条件は、利用者がいずれのルートを選択しても社会的な限界純便益はもはや増加し得ないという条件に他ならない。かくして

$$dU=(b-m_a)dJ_a+(b-m_r)dJ_r=0. \tag{38}$$

他方、(37) より二つのルートの利用において

$$b(J)=d_a+p,\ b(J)=d_r$$

の関係が成立しているので、この二式を (38) に代入し、両辺を dp で割れば次式を得る。

$$(p+d_a-m_a)J_a'+(d_r-m_r)J_r'=0 \tag{39}$$

11) See Verhoef, Nijkamp et al., op. cit., p. 281.

ただし$J'_k = \partial d_k / \partial p$,（k＝a, r）である。ところで、われわれはすでに(36)により独立した自動車道における理論上の最適道路料金は$p_k = MCC_k = m_k - d_k$であることを知っている。そこでこのp_kを用いて上式を書き換えれば、(39)より

$$p = p_a + p_r (J_r'/J_a') \tag{40}$$

を導く。かくして(40)より、問題の平行ルートのケースにおける有料の自動車道に期待されるべき最適料金(p)は、もはや独立した一本の自動車道のケースについて期待される最適料金（p_a）ではなく、一般道路の理論上の最適料金および両ルートの料金に対する利用量の反応をも考慮すべき内容が含まれることを知るのである。[12)]

以上が代替ルートを有するセカンド・ベスト問題の、時には古典的貢献として評価されるL‐ランベールの研究の基本的な内容である。その後多くの研究者がこの問題と取り組んでいる。われわれは最後に、比較的最近の研究で明解な理論的展開を行っている **Erick Verhoef, Peter Nijkamp** および **Piet Rietveld** の研究によりL‐ランベールの古典的な説明を補足しておくことにする。[13)]

Verhoef et al. はL‐ランベールと同様、完全に代替可能な二本の自動車道を考え、そのうち一本は有料道路（ルートT）であり、他の一本が無料の一般道路（ルートU）である。完全な代替性を考慮して問題の二本の自動車道に対する需要関数としてD(N)を仮定し、また一定の道路料金の下に実現する利用者総数Nについては$N = N_T + N_U$である。ところでL‐ランベールは直接、問題の二本のルートに関する社会的効用Uを仮定したが、**Verhoef et al.** はデュピュイ流の説明を用いて需要関数の下の面積により社会的総効用を表わす。また均衡状態における前述の **Wordrop** の第一の原則と二ルートにおける

12) なおL-Lambert, op. cit.,（p. 573）では$e = -dJ/db$とおいて$p = pa - pr/(1 + edr')$の関係を導いている。

13) E. Verhoef et al., op. cit., pp. 279ff.

利用者の限界純便益の均等条件を制約として社会的純便益（NU）の極大を求める。すなわち

$$\max \int_0^N D(n)dn - N_T{}^* c_T(N_T) - N_U{}^* c_U(N_U),$$
$$\text{s.t.}\quad D(N) = c_T(N_T) + f,$$
$$D(N) = c_U(N_U) \qquad (41)$$

ただし c_T および c_U はルートTおよびルートUの利用に関する一台あたりの私的走行コストであり、f はルートTにおける道路料金である。かくして（41）よりラグランジュ形式は

$$L = \int_0^N [\, D(n)dn - N_T{}^* c_T(N_T) - N_U{}^* c_U(N_U)\,]$$
$$+ \lambda_T \{D(N) - c_T(N_T) - f\}$$
$$+ \lambda_U \{D(N) - c_U(N_U)\} \qquad (42)$$

である。ただし λ_T、λ_U はラグランジュの未定乗数。これよりルートTおよびルートUの利用に関して社会的純便益の極大化を求めると（43）および（44）を得る。

$$\partial L/\partial N_T = D(N) - c_T(N_T) - N_T{}^* c'_T(N_T)$$
$$+ \lambda_T \{D'(N) - c'_T(N_T)\} + \lambda_U D'(N) = 0, \qquad (43)$$
$$\partial L/\partial N_U = D(N) - c_U(N_U) - N_U{}^* c'_U(N_U)$$
$$+ \lambda_T D'(N) + \lambda_U \{D'(N) - c'_U(N_U)\} = 0. \qquad (44)$$

さらに道路料金 f とラグランジュの未定乗数について極大の必要条件を求めると

$$\partial L/\partial f = -\lambda T = 0, \qquad (45)$$
$$\partial L/\partial \lambda_T = D(N) - c_T(N_T) - f = 0, \qquad (46)$$
$$\partial L/\partial \lambda_U = D(N) - c_U(N_U) = 0. \qquad (47)$$

なお（43）、（45）および（46）より

$$f=N_T*c'_T(N_T)-\lambda_U*D'(N) \tag{48}$$

を導く。さらに（44)、(45）および（47）より

$$\lambda_U=N_U*c'_U(N_U)/\{D'(N)-c'(N_U)\} \tag{49}$$

であるから、（48）と（49）より

$$f=N_T*c'_T(N_T)-N_U*c'_U(N_U)[-D'(N)/\{c'_U(N_U)-D'(N)\}] \tag{50}$$

となる。

いまL−ランベールが試みたようにこれら二本のルートを独立して取り扱った場合の最適料金と比較すれば、独立したケースにおいては

$$p_k=MCC_k=N_k*c'(N_K),\quad (k=T,\ U) \tag{51}$$

であるから（50）は結局、次式のごとくに表わせる。

$$f=p_T+p_U[D'(n)/\{c'_U(N_U)-D'(N)\}] \tag{52}$$

Verhoef et al. はあえて

$$f=p_T-p_U[-D'(N)/\{c'(N_U)-D'(N)\}] \tag{53}$$

と書き換えて、$D'(N)=-\infty$、$D'(N)=0$、$c'(N)=\infty$および$c'(N_U)=0$の四つの極限的ケースを取り上げ、その場合のfとp_tの関係を問う。L-ランベールのケースと異なり、需要関数の勾配に加えて、一般道路（ルートU）における私的な費用曲線の勾配が関係している。いずれにせよ$f=p_T$となるのは$D'(N)=0$という特殊なケースに限られる。

Ⅳ　おわりに

以上、われわれは1964年のスミード報告以来、交通経済学の分野でしばしば取り上げられる都市交通の限界混雑コストについて考察し、とりわけ現実の混

雑料金制度の採用において問題となる車種別の限界混雑コストの問題、および有効な代替ルートないし代替交通機関が存在する場合の、いわゆる最適料金の修正問題を検討した。前者の車種別の MCC_j については現在、ヨーロッパにおける現実の適用を前提に検討を重ねている Link-Dodgson et al.の研究に言及し、また後者の代替ルートの問題に関しては古典的な L-Lambert の研究と最近の Verhoef et al. の研究を省みてその問題の所在を理論的に考察した。後者の問題はいろいろの前提や制約条件を変えることによりいくつかの興味ある発展が考えられるが、それはまた別の機会に譲ることにする。

（筆者は関西学院大学商学部教授）

主要参考文献

Braid, R., "Peak-Load Pricing of a Transportation Route with an Unpriced Substitute," *Journal of Urban Economics*, vol. 40, 1996.

Lévy-Lambert, H., "Tarification des services à qualité variable— Application aux péages de circulation," *Econometrica*, vol. 36, 1968.

Link, H., J. S. Dodgson, M. Maibach and M. Henry, *The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe*, 1999.

Marchand, M., "A Note on Optimal Tolls in an Imperfect Environment," *Econometrica*, vol. 36, 1968.

Ministry of Transport, *Road Pricing: The Economics and Technical Possibilities*, 1964.

Morrison, S. A., "A Survey of Road Pricing," *Transportation Research*, vol. 20 A, 1986.

Newbury, D. M., "Pricing and Congestion: Economic Principles relevant to Pricing Roads ," *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 6, 1990.

Verhoef, E., P. Nijkamp and P. Rietveld, "Second Best Congestion Pricing; the case of an Untolled Alternative," *J. of Urban Economics*, vol. 40, 1996.

丸茂　新、"シンガポールの都市交通政策—ALS そして ERP への転換、" 運輸と経済、6月号、7月号、1999.