

## 特別論文

# 高速道路のサービス水準評価に関する新しい考え方

(社) システム科学研究所会長、京都大学名誉教授

飯田 恭敬

### 要 旨

これからの高速道路サービスは、交通現象変動に対する所要時間安定性を重視すべきである。従来は交通サービス水準を所要時間や混雑度などの平均値あるいは確定値で評価してきたが、交通現象変動を考慮した余裕所要時間や遅延リスクを明示的に取り扱うには、確率値や統計値を用いるのが適している。交通ネットワーク信頼性理論はネットワーク挙動の安定性能を分析するための確率論的方法である。この考え方を適用することにより、高速道路における整備・運用のサービス水準が、多様な利用者ニーズに対応して評価できるようになる。

### 1. 交通現象の変動

近年における経済活動の高度化や生活水準の向上にともない時間価値が増大しており、交通移動途中における予期しなかった時間遅延や行動中止は、利用者に対して機会損失や信用低下などの大きな損失を与えることにつながる。それゆえに、時間遅延や行動中止を極力回避できる走行移動安定性を重視した交通サービスの実現に努めることがこれからの管理運営者の責務といえる。交通サービスの遅延や中止はある程度避けられないものであるが、その理由は交通現象の性質と関係している。

道路が新規に建設されたとき、あるいはボトルネック地点の改良がなされたとき、実地調査データあるいは予測調査データによる所要時間短縮や混雑度減少などの指標で効果評価がなされるのが、これまでの一般的な方法である。また、道路の将来計画の検討においても、交通量配分を用いて現況と将来の道路交通量を比較し、時間短縮や混雑度の改善効果が推計され、分配結果が経路や道路区間の交通容量に達していなければ、交通管理における大きな問題は生じないと見なされる。このように現在の方法は、所要時間や混雑度などの平均値あるいは確定値で交通サービス水準を記述するものであるため、交通現象変動に対応して見込まれる余裕所要時間や遅延時間を明示的に取り扱うことが困難である。したがって、現在のような確定値や代表値で表す交通サービス水準は、交通現象変動に対する所要時間変動の大きさ、すなわち所要時間の安定性を的確に評価することができず、多様な交通性能を有する道路サービスの実態を表す指標としては不十分といえる。

交通現象の本質は変動である。交通需要は時間、曜日、季節、天候などによって常に変化する性質を有している。一方、道路施設も補修工事、路側駐車、事故、災害などの影響により単位時間あたりの交通処理量である施設容量が変化している。すなわち、交通現象においては需要と供給の両面で変動しており、このことによって渋滞が発生し、交通移動における遅延をもたらしているのである。道路交通現象において留意しておくべきことは、交通量の平均値と変動幅が同じ

でも、道路の構造や種類によって所要時間変動は大きく異なることである。たとえば、交通量変動に対して幅員が狭い道路では渋滞が発生しやすいが、幅員が広い道路ではそれほど発生しない。また、交差点のある平面道路では渋滞が生じやすいのに比べて、交差点のない高架道路では起こりにくい。また、高速道路の所要時間安定性は平面道路に比べて優れており、このことが高速道路を利用する主な理由の一つになっている。

同程度の交通現象変動に対しても、道路種別によって所要時間変動の大きさが著しく異なるので、こうした交通挙動の違いを的確に記述するには、確率値あるいは統計値を用いるのが適している。過去データの蓄積があれば、所要時間の確率分布が得られるので、これより平均所要時間や所要時間変動幅を知ることができる。このように、確率値や統計値を用いると、交通現象変動に対する道路ネットワークの挙動、すなわち交通移動の安定性が的確に記述できるのである。道路交通の利用者は、いまや目的地まで短時間で到着できることのみならず、遅延を極力回避できることを強く望んでいるのである。こうした利用者の道路サービスに対する新しいニーズに応えるには、従来の所要時間や混雑などの平均値あるいは代表値による単純な交通サービス指標から、今後は交通現象変動に対する道路ネットワーク挙動を記述できる確率値や統計値による交通サービス指標を考えるべきであろう。交通移動の安定性あるいは所要時間の安定性は、交通ネットワーク信頼性ともいわれており、この概念を今後における交通サービスの向上策に適用していくことは、きわめて意義が大きいのである。

## 2. ネットワークにおけるリダンダンシー

リダンダンシーとは、日本語では冗長性と訳されており、分かりやすくいえば、道路ネットワークが部分的に利用できなくなっても、代替経路が利用可能な性能、を意味している。つまり、この考え方は一見妥当のように思われるが、リダンダンシーの観点からだけで交通ネットワークの整備を進めることは難しい。なぜなら、リダンダンシーを確保するために、迂回経路を多数有するほど道路ネットワークとしては望ましいことになり、過剰整備になりかねないからである。したがって、リダンダンシーを保障するとしても、社会的な必要性と経済的な合理性の両者を考慮した道路ネットワーク計画の考え方が求められている。

道路ネットワーク信頼性理論を用いると、道路ネットワークの構成要素である各道路区間、すなわち各リンクの通行止め確率、または各リンクの円滑走行確率が与えられると、各OD間に対する目的地までの到達確率、あるいは円滑走行で移動可能な確率が推定される。リダンダンシーのレベルは信頼性理論で推計された確率の値、すなわち信頼度の値と関係を有しているが、正確に言えば両者は異なるものである。リダンダンシーは定性的な指標であり、信頼性は定量的な指標である。また、リダンダンシーレベルが高くても、信頼度の値は必ずしも大きいとはいえないし、その逆も同様である。なぜなら、迂回経路が多数存在しても現実に利用可能な経路が限られているときは、信頼度は大きな値にならない場合があるし、反対に、どの経路も渋滞度が低くければ信頼度の値が大きくなり、そのときのリダンダンシーは小さくても良いからである。このようにリダンダンシーは、道路ネットワークの一部が通行止めになっても、迂回経路を通ることによって、交通移動が可能となる性能を表す定性的な指標であり、道路ネットワークのサービス水準を正確に表しているとはいえない。このことから、代替経路の利用を含めた道路ネットワークの交通サービス水準を定量的に的確に表すにはネットワーク信頼度を用いるのが適切といえよう。この信頼性は正確に言えば、連結信頼性といわれている。連結信頼性は、交通の出発地と目的地の間の移動可能性に関するサービス指標であるが、逆にこのサービス指標に対する道路区間の影

響度を知ることができる。交通計画の観点からは、もっとも影響度の大きい道路区間を改良整備することによって、全体のサービス改善を効率的に実現できることになる。

### 3. 定時性のもつ意味

高速道路が持つ特性として高速性と定時性が挙げられている。高速性は説明するまでもなく自明であるが、定時性はどのように理解されているのであろうか。高速道路においても渋滞はしばしば生起するので、いつも一定の所要時間で目的地まで行けるとは限らない。したがって、よくいわれる高速道路の定時性とは、平面道路との相対比較による所要時間の安定性を意味しているといえる。もう少し正確に言えば、高速道路における所要時間の変動幅は平面道路のそれよりも小さいことを表しているのである。それでは、高速道路の定時性がなぜ重要なのであろうか、また、定時性が高ければ利用者および社会に対してどのような便益をもたらすのであろうか。

ある目的地まで決まった経路で何回かの自動車トリップを行うと、所要時間が毎回異なることを経験する。利用者はこの走行経験を通して、自分なりに所要時間変動幅の大きさを認識する。そして、目的地への到着予定時刻を想定して、出発時刻を決めることになる。変動幅が大きければ、余裕時間を多めに見込んで出発時刻を早くしなければならないし、変動幅が小さければ、余裕時間が少なく済むので遅めに出発しても間に合う。我々はこのような交通行動を日常繰り返しているのである。

最近ではナビゲーションシステムなどの高度技術により、トリップにおける経路と所要時間が記録できるまでに至っている。このようにして交通データが蓄積されるようになれば、多数ユーザの所要時間データを集積することにより、どのような経路に対しても所要時間分布を形成できることになる。所要時間分布の形状が広がっておれば、所要時間変動が大きいことを示し、分布形状が狭まっていれば、所要時間変動が小さいことを表している。

所要時間分布が確定できると、自己経験にもとづくよりも高い精度で出発時刻の選択ができるようになる。所与の所要時間分布を用いると、目的地への到着予定時刻に遅刻する確率が得られるので、遅刻をできるだけ避けたい場合は、早めに出発時刻を選択することになる。具体的に言えば、このときの所要時間分布は、早めの出発時刻の側に移動することになるのである。たとえば、遅刻確率を10%以内にしたときは、目的地への到着時刻確率が90%以上となるように所要時間分布の位置を移動することにより、出発時刻が決定できるのである。大きな渋滞がない通常時であれば、所要時間分布における平均値の所要時間で目的地に到達できるものと思われる。したがって、到着時刻と平均所要時間との差が遅刻を避ける安全余裕時間と見ることができる。遅刻リスクを小さくしたい場合、すなわち遅刻確率を小さくしたい場合は、早めに出発しなければならないので、大きな安全余裕時間を見込むことになる。

道路整備の便益評価において、これまでは所要時間の短縮効果のみが対象とされることが大半であった。しかし実は、安全余裕時間の減少による便益効果はきわめて大きいのである。わかりやすい例として、高速道路の整備効果について説明しよう。高速道路の所要時間変動は比較的安定しているので、その分布形状は広がり小さい。これに対して、平面道路の所要時間変動は大きいので、分布形状は広がり大きい。すなわち、高速道路の所要時間信頼性は高いが、平面道路の所要時間信頼性は低い。ここで、ある目的地まで高速道路と平面道路の2経路を利用してトリップできるとする。遅刻リスクを10%の確率で考えると、高速道路と平面道路のそれぞれに対する所要時間分布にもとづいて、遅刻確率が同じ値となるように出発時刻が決定できる。所要時間分布形状は高速道路では尖っており、平面道路では広がっているため、到着時刻と平均所要時

間と差、すなわち遅刻回避の安全余裕時間は高速道路の方が小さな値となる。ついでながら、高速道路を利用する出発時刻は平面道路を利用する出発時刻よりも、当然のことながら遅くなる。

このように、所要時間の変動分布を考えると、遅刻回避のための損失時間の減少効果、すなわち安全余裕時間の減少効果が評価できるのである。いままでは遅刻リスクを避けるための損失時間が評価されなかったが、所要時間信頼性の考え方にもとづいて、これからは評価をしていくことが求められる。要するに、よく用いられる定時性という用語の意味は、所要時間信頼性と同義であると解釈すべきなのである。

#### 4. リスク回避と時間価値

指定時刻への遅刻による損失に加えて、早着による損失もある。遅刻による損失額は遅刻時間が大きいほど増大する。また、早着による損失額も早着時間が大きいほど増大する。損失費用関数は時間価値によって決まるが、単純に直線になると仮定すると、遅刻損失に対する費用勾配は早着に対する費用勾配よりも一般的には大きくなる。なぜなら、遅刻の時間価値は早着の時間価値よりも通常は大きいからである。ある出発時刻に対する所要時間分布、正確に言えば所要時間確率密度分布を、遅刻および早着の損失費用関数と乗算することにより、遅刻および早着による損失額が算定される。当然のことであるが、これらの損失額は出発時刻によって異なった値となる。したがって、所要時間分布形状と遅刻および早着の損失費用関数が既知であれば、両者の損失総額が最小になるように出発時刻を選択決定することができる。すなわち、遅延と早着の時間価値の大きさに応じて、リスク損失が最小になるように交通行動選択ができることになる。このとき、所要時間信頼性が高くなれば、所要時間分布形状の広がりや狭まるので、遅延と早着によるリスク損失は小さくなる。同時に、遅延・早着に対する安全余裕時間も小さくなり、また出発時間も遅くなる。また、遅刻に対する時間価値、すなわち遅刻ペナルティが大きいときは、遅刻リスクを極力避けるために出発時間が早くなるであろうし、逆に小さいときは、遅刻してもリスクが小さいので出発時刻を遅くすることになる。このように所要時間信頼性を適用することによって、時間価値に対応したリスク回避のための最適な交通行動選択が行えるようになる。

#### 5. 確率所要時間による情報提供

道路における所要時間情報は、特定地点に到達するまでに要する時間をいまのところ確定値、たとえば「所要時間 30 分」、というように確定値で提供しているが、これを確率情報、たとえば「所要時間 30 分の確率 80%」、という形で提供するように変われば、利用者の対応はどのようになるであろうか。結論から先にいえば、確定値による情報提供では、所要時間の短い経路に選択が集中するが、確率値による情報提供では、利用者の行動特性やニーズに合わせた多様な選択行動が可能となり、経路分散が行われるのである。そのため、前者では交通量変動が大きくなり、後者では小さくなるのである。

交通行動選択の主な決定要因として、目的地まで短時間で到着できる早着性と、予定時刻までに到着できる確実性がある。両者が同時に実現できるときは問題ないが、それが無理なときは、いずれかを優先して選択しなければならない。これにはリスクが関係してくる。リスクが小さいときは早着性を、リスクが大きいときは確実性を優先することになる。また利用者によってもリスクへの対応行動が異なり、リスク回避型とリスク受容型に大別することができる。リスク回避型は、遅延を極力避ける選択行動をとるタイプ、リスク受容型は、遅延があっても敢えて最短旅行時間を目指して選択行動するタイプである。確定値による所要時間情報は、信用するより他は

なく、リスク対応の交通行動が考慮できないが、確率値による所要時間情報では、到着時刻の確かさを知ることができるので、リスクに対応した多様な選択行動ができることになる。

所要時間情報を確定値と確率値で提供した場合の違いを簡単な例で説明しておこう。目的地に行くのに2つの経路が選択できるとする。経路Aの所要時間は40分、経路Bは30分、というように確定値で所要時間情報が提供されるとき、利用者のほとんどは経路Bを選択するであろう。なぜなら、経路Bを利用するほうが目的地に早く到達できるからである。しかし、多量の利用者が経路Bを選択すると、交通量集中による混雑のため、所要時間が経路Aより長くなってしまう。この状況になれば、今度は経路Aの所要時間が短いという情報が提供される。こうして確定値による所要時間情報提供では、経路間における所要時間の大小関係が頻繁に入れ替わることになり、所要時間信頼性が低いものとなってしまふ。次に、経路Aは「40分、90%」、経路Bは「30分、40%」というように所要時間情報を確率値で提供するとしよう。経路Aの所要時間は少しかかるが、表示時間で移動できる確率はきわめて高い。これに対して、経路Bは短時間で行けるが、表示時間で移動できる確率は2回に1回にも満たない。到着時刻に遅れるとペナルティが課せられるリスク回避型のドライバーは、確実に時間が見込める経路Aを選択するであろう。一方、目的地までの到着を急いでいるリスク受容型のドライバーは、ペナルティが小さければ、遅れる危険を冒してでも経路Aを選択すると思われる。このように旅行時間情報が確率値で提供されると、利用者の交通目的や行動特性に応じた交通行動選択できるようになるのである。その結果、交通量の経路分散が促進され、所要時間の信頼性が高められる。交通移動における安定性に対する利用者のニーズはこれからも一層高まることが予想される。ITSを利用した次世代の交通情報システムも、交通ネットワーク信頼性向上を目指すことが、主な目的の一つになるであろう。

## 6. 便益評価の新指標

経済活動の高度化や生活水準の向上で時間価値が高まっている今日、利用者は交通移動の途中における遅延によるリスクを極力避けるようになっている。またITSの普及により、時々刻々変化する交通状況に対しての最適交通行動への要求が強くなっている。したがって、これまでのような平均値や確定値で表した交通サービス水準では、多様化した利用者ニーズに応えることは困難であり、確率値あるいは統計値を用いた新しい交通サービス水準が求められている。

このような新しい交通サービス指標の記述を可能とするのが交通ネットワーク信頼性理論である。交通ネットワーク信頼性理論は、交通現象変動に対するネットワーク性能を分析する方法論であり、目的地まで混雑なしで走行移動できる確率、目的地まで所定の所要時間で到達できる確率、突発事象による目的地への移動不能の確率などが求められる。交通ネットワーク信頼性理論を適用すると、交通現象変動に対する交通ネットワーク性能の安定性が評価できるので、交通ネットワーク整備効果の費用便益分析の考え方が、これまでとは大きく異なってくる。従来の方法では、交通流自体に関係する主要便益として時間短縮効果が取り上げられているが、交通ネットワーク信頼性分析を用いると、遅延回避の安全余裕時間の減少、渋滞損失時間の減少、遅刻・早着損失額の減少、による便益が新たに追加される。このことからわかるように、従来の費用便益分析法は時間短縮効果しか取り上げておらず、最低限の便益しか評価していないといえるのである。要するに、いまの費用便益分析法では整備効果が過少評価されているといえよう。交通現象の変動を考慮すると、交通ネットワーク整備による実際の便益は、時間短縮効果以外に他の多くの便益が付け加わってくる。このように、交通ネットワーク信頼性の考え方は、交通サービス水準に関する新しい指標を提供するものであり、今後の実用面における研究発展が期待される。