

リスク対応行動を考慮した道路網経路配分の評価

Risk-minimized Car Route Assignment Strategy and Its Evaluation
Considering Drivers' Responses to Travel Time Variation

内田 敬*, 飯田 恭敬**, 中尾 光宏***

By Takashi UCHIDA, Yasunori IIDA and Mitsuhiro NAKAO

Risk Management, or reducing losses resulting from uncertainties, has been becoming great concern in infrastructure planning. This paper addresses the risk that drivers suffer in connection with travel time variation. Two agencies, a road traffic manager and drivers, are considered to severally react against the risk, and a model, say Risk Assignment, which determines traffic manager's action to minimize total drivers' risk is proposed.

This paper firstly depicts the general framework of risk management in infrastructure planning and then locates the Risk Assignment problem. Numerical examples are presented in order both to refine the formulation of Risk Assignment problem and to evaluate the Risk Assignment from the viewpoint of network flow.

1. はじめに

社会的な価値観や目標の変化とともに、社会基盤施設の整備・運営に対する社会的な要求も大きく変容しつつある。例えば亀田¹⁾は都市地震防災の目的について、「安全性」から「信頼性」への変化を指摘しているが、これは社会基盤施設全般の機能面に関する整備目標にもあてはまるであろう。ただしここでの「安全性」とは人命・財産への危害からの解放を、「信頼性」は施設の本来の機能が支障なく遂行されることを意味する。このような広義の信頼性で想定している施設の機能には、安全性の確保を第一義とし、さらに安定性や快適性なども含むことが

できよう。すなわち、社会基盤施設への要求はより複合的に、高度になっている。信頼性は、「支障なく」という言葉に表されるように確実性の重視という側面も有している。時間の次元を考慮にいれて、いつでも、あるいはいつまでに所期の機能を果たすことができる、ということが求められている。

道路交通に関しても、2地点間の連絡や安全性の確保から、任意の時刻における2地点間の移動の保証である連結信頼性^{2), 3)}や所定の時間内に目的地に到達できる確率である時間信頼性⁴⁾へと、道路がOD間の連絡機能を果たす上での不確実性を考慮に入れたものへと評価のウェイトが変化してきている。

本研究においては、主として渋滞現象の発生に原因する旅行時間の不確実性(変動)に注目する。不確実性の影響を、旅行時間の変動によって道路利用者が被る費用として評価する。そして、不確実性への事前の対応策として、渋滞の発生を抑制し、あるいは渋滞が発生したとしてもその損害を小さく抑え

* 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 西松建設株式会社東北支店 (〒980 仙台市青葉区大町2-8-33)

るような経路交通量配分を考えることとする。

近年、情報提供によるドライバーの経路誘導⁸⁾や時差出勤制⁹⁾といったソフトな渋滞対策が注目されるようになってきた。これらの対策は、交通需要を空間的・時間的に分散させてピークをならすことによって、交通需要の総量を減ずることなく渋滞を予防・軽減しようとするものである。本研究でとりあげる経路交通量配分は、空間的分散に限定したときに、これら誘導策で目標とすべき望ましい交通流状態のひとつとして位置づけられる。

施設がその機能を果たさないということを何らかの損害として計量することが可能であるならば、不確実な状況下での意思決定、例えば上で示した広義の「信頼性」を確保するための方策の評価・決定はリスク分析の枠組みで取り扱うことが可能である。

そこで本稿では、まず2.でリスク分析の枠組みを示し、3.で経路交通量配分問題の位置づけを明らかにする。4.では、既に提案済みの経路交通量配分モデルの改良を数値計算を通じて検討するとともに、経路交通量の制御を実施した場合の影響をネットワークフローの観点から評価する。5.ではリスク対応行動の評価に関して若干の考察を加える。

2. リスク分析の枠組み

市川等⁷⁾の言葉を借りると、リスク分析は「単に被害の発生確率あるいは期待値を算出するための手法ではない... 価値観や利害の異なる複数のグループの存在する状況下で、不確実性を持つ事象を取り扱う際にどのように調整していくか... 合意形成のための一つの判断材料の提供を意図している。」

したがって、リスク分析には確定的な手法があるわけではなく、問題を整理するための概念的なフレームワークが提供される。ここでは枠組みを明確にするための議論に供するべく筆者のリスク分析に関する見解を示す。

(1) リスクの同定

リスクの本質は、不確実性と損害である。これらを同定するには、

- ・誰がリスクを被るのか【被害客体】
- ・誰がリスクをコントロールするのか【行動主体】
- ・何がリスクか【リスクの種類】

を明らかにしなければならない。リスクの種類につ

表1 リスクの種類^{8), 9)}

【損害の内容】 (何が失われるか)	【リスクの構造】 (どこで起きるか)
- 人的リスク - 物的リスク - 時間的リスク - 責任リスク	- 自然系リスク - 人工系リスク - 人間系リスク - 決定系リスク

表2 許容リスクレベルの決定法 (黒田による⁹⁾)

- 経済学的方法 - 心理学的方法 - 工学的方法	×	- 統計的分析 - モデル分析 - 価値基準
---	---	--

表3 リスクの認識に影響する因子 (甲斐¹⁰⁾による)

①曝露の随意性	(自発性/制御性)
②曝露による便益(便益の大きさ/公平さ)	
③馴染み	(人為性/新規性)
④確率分布	(空間的な分布/頻度と結果)
⑤障害の形	(重篤度/発現の時間分布 /子孫への影響)

いては、損害の内容およびリスク構造によって表1のように分類が可能である。

何をリスクと見るか、すなわちあるリスクが許容できるか否かは、表2のような方法で決定されるが、ここで重要なのは、他の社会経済的な環境、被害客体の意識(知覚)、行動主体(評価主体)の立場に依存して許容リスクレベルは変化するという点である。例えば、損害の内容を人命(死亡のリスク)としたとき、ある現象がリスク環境として認識される程度(リスクの大きさ)は、表3に示す因子に影響される¹⁰⁾。このうち①が特に重要である。リスクを犯すことが被害を受ける本人の意思に基づいているか(自発性)、あるいは、何らかの行為によってリスクを低減することが可能か(制御性)ということが大きく作用する。なお⑤は、土木計画の分脈では、⑤被害の形態(損害の大きさ、損害発生の時間分布、他のシステムへの波及の程度)と読み換える必要がある。

このような因子分類を用いれば、「安全性」と結びついた伝統的なリスクの概念、例えば水害のリス

クは、制御が困難で、一旦発生すれば大きな被害を非自発的に受けるという性質を持っていると解釈できよう。

一方道路交通における渋滞のリスクは、道路の利用はドライバーが自身の便益を求めて自発的に行うものであることと、ドライバーの被る損害が生命や身体に影響するものではないという点で大きくはないことから、伝統的なリスクにはあてはまらない。しかし交通量の増加に伴う渋滞発生頻度の上昇に加えて、時間価値の増大という社会的価値観の変化があいまって、渋滞による予期せぬ時間損失が経済的・心理的費用として重視されるようになってきた。そのために従来は個人的に対処すべきとされていた渋滞のような潜在的（日常的）なリスクであっても、社会的に管理すべきリスクと考えられるようになり、道路サービスの信頼性を高めるような効率的な交通運用方策が求められている。

(2) リスクの評価、リスク対応行動の決定

上で述べたような、対処すべきリスクとしてあるリスク環境が認識される要因の違いによって、

- リスク評価の基準・方法
- 検討すべき対応行動
- 対応行動の評価方法

が異なってくる。

リスクへの対応行動は表4のように分類することができるが、リスクの本質が、不確実性と不確実な事象によってもたらされる損害、にあることを考えると、リスク対応行動の決定問題は次式のように一般的な定式化が可能である。

$$\min R = R(C(H, A | \theta), P(H | A, \theta)) \quad (1)$$

ここに、 R : リスク

H : 危険事象

A : リスク対応行動

θ : 環境条件

$C(H, \cdot)$: H による損害額 (A, θ の関数)

$P(H, \cdot)$: H の生起確率 (A, θ の関数)

ここで注意が必要なのは、リスク関数 $R(\cdot)$ は必ずしもある種の期待値をもたらしものには限定されないことと、損害 C は、損害の直接原因となる危険事象 H のみならず、リスクに対応してとられた行動 A （何もしないという行動も含まれる）の関数となる点である。ここにおいて、リスクの評価にあたっ

表4 リスク対応行動の分類 (黒田⁹⁾による)

回避(aversion)戦略	— リスク環境からの回避
除去(elimination)戦略	— 不確実性の除去
軽減(reduction)戦略	— 不確実性の軽減
	and/or 損害の軽減

ては「何が損害をもたらすか」という視点からリスクの不確実性を、

- 損害（機能不全）をもたらす現象の不確実性
 - 主として $P(H, \cdot)$ によって表される
- 対応行動（施設）のパフォーマンスの不確実性
 - 主として $C(H, \cdot)$ によって表される

にわけて考えることの必要性を指摘できる。表4に示したリスク対応行動の分類と対応させると、回避戦略・除去戦略は P の操作を、軽減戦略は C 両者の操作を狙っていると解釈できる。

リスクの評価・対応行動の決定方法、すなわちリスク関数 R のタイプは、大略、

- ある種の期待値を与えるもの
- 危険事象発生時の実損害額を与えるもの

に分類することができる。後者の場合には、式(1)において $P(H, \cdot)$ が明示的には考慮されなくなる。

表3のような因子の分類は、リスク対応行動を考える際にも有効である。発生頻度が高いほど軽減戦略が損害の期待値に基づいた評価で選択され、逆に頻度および曝露の自発性が低ければ危険事象が生じた際の損害の値そのもので判断されよう。そして期待値的な判断と軽減戦略、実損害額に基づく判断と回避戦略が結びつき易い傾向を指摘できよう。

一例として、交通事故と水害を考えると、自発性、頻度の大きさのために、交通事故では期待値的なリスク評価を受けるのに対して、水害については発生時の損害の大きさに基づいて判断され易い傾向が見られる。

(3) ゲーム論的な取扱い

リスク環境が表1でいうところの人間系リスクである場合、あるいは行動主体と被害客体が異なる場合には、行動主体（主体1）は環境条件として他者（主体2）の行動を認識（予測）することとなる。一方、主体2も自ら何らかのリスク対応行動をとるであろうが、主体1の行動が環境条件となっている

ので、式(1)は次式のような相互決定関係を有する系となる(もちろん主体の定義次第ではこのような場合でも式(1)で対応が可能な場合もあろう)。

$$\begin{cases} \min_{A_1} R_1 = R_1(C_1(H, A_1 | A_2, \theta'), P(H | A_1, A_2, \theta')) \\ \min_{A_2} R_2 = R_2(C_2(H, A_2 | \bar{A}_1, \theta'), P(H | A_2, \bar{A}_1, \theta')) \\ \dots (2) \end{cases}$$

ここに、 A_i : 主体 i の行動

$\bar{A}_i$: j ($j \neq i$) が認識する i の行動

このように考えると、決定問題(2)はゲーム論的に解釈することが自然である。主体1として計画者を、主体2として被害客(例えばドライバー)を考えると、法的拘束力を期待し得るごく限られた例を除けば主体(プレーヤー)間で戦略に関して事前に拘束的協定¹¹⁾(必ず履行することを強制されている協定)を結ぶことができない。したがって、非協力2人ゲームとなる。そして完備情報下の同時手番ゲームとしてモデル化すればナッシュ均衡が達成されることとなる。(自然系のリスクにおいても“自然”を主体2と考えれば同様に自然を相手とするゲームという解釈が可能である。)

しかし交通管理を始めとする多くの場合には、同時手番を仮定するよりも、計画者を先手、被害客(ドライバー)を後手とする、非対称情報下のシュタッケルベルグ問題としての取り扱いがより適切であろう。この場合の均衡解は下に示すようなシュタッケルベルグ均衡となる。

【シュタッケルベルグ均衡】¹¹⁾

先手プレーヤー(計画者)は、後手プレーヤー(被害客)が自分の戦略を見たのちにこの戦略に最適な反応を示してくることを知っている。したがって先手プレーヤーは自分のとり得る戦略 s_1 のそれぞれに対する後手プレーヤーの最適反応戦略 $s_2(s_1)$ を前提とし、自分の利得を最大にするように最適戦略 s_1^* を選択する。後手プレーヤーは s_1^* を与件として戦略 $s_2(s_1^*)$ を選択する。こうして得られる戦略の組 $(s_1^*, s_2^*) = (s_1^*, s_2(s_1^*))$ をシュタッケルベルグ均衡点という。

朝倉¹²⁾は多くの交通管理計画がシュタッケルベルグ問題として解釈可能であり、それらは2レベル最適化問題として定式化できることを示している。本稿においても経路交通量配分問題を2レベル最適化問題として定式化する。

3. リスク分析アプローチによる経路交通量配分

筆者らはリスク分析的アプローチから、渋滞による期待損失を最小にするような経路交通量配分(リスク配分と呼ぶ)について検討を進めてきた¹³⁾。これはあるOD間の複数の経路間での配分交通の制御を考えるものである。まず、リスク配分問題の枠組みを示す。

【リスク環境の構成要素】

- ・主体1(計画者) — 交通管理者
- ・主体2(被害客) — ドライバー
- ・施設のパフォーマンス — リンクの交通状態

【リスク】

- ・損害の内容 — 旅行時間遅れによる時間損失
- ・不確実な事象 — ①【危険事象】渋滞の生起
②リンク所要時間の変動

【リスク対応行動：軽減戦略】

- ・主体1 — 経路間の交通配分の操作
- ・主体2 — 出発時刻の変更

【リスク対応行動の決定規準】

- ・主体1 — ドライバーの総時間費用の期待値の最小化
- ・主体2 — 走行に要する時間費用と遅刻ペナルティの期待値の利己的な最小化

危険事象として渋滞をとりあげたのは、旅行時間の変動にともなうリスクを最小化することが本問題の目的であるが、旅行時間の分布は渋滞時と非渋滞時で大きく異なるために、それぞれをわけて分布を取り扱う方がモデル化が容易であるためである。本研究では、各経路の実旅行時間は、渋滞時、非渋滞時それぞれにおいて正規分布すると仮定する。

問題の定式化にあたっては以下を前提とする。

【前提条件】

- ① ある長さの時間帯(例えば1時間)を考えマクロにかつ静的に評価する。
- ② OD交通量、ODパターンは一定かつ所与。
- ③ 管理者のとり行動をみてドライバーは最適反応行動をとる。
- ④ そのこと(③)を管理者は知っている。

上の問題設定の下でリスク配分は、交通管理者の期待費用最小化問題を上位問題とし、ドライバーの出発時刻選択行動を記述する最小化問題を下位問題

として持つ2レベル最適化問題として定式化される。

【上位問題：管理者の行動】

$$\min_Q EC(Q) = \sum_i \sum_x \sum_t q_i \cdot t_i \cdot P(t_i | x, Q) P(x | Q) \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_i q_i = \text{const.}$$

ここに、 EC : 期待費用

t_i : 経路 i の時間費用

Q : 経路交通量 q_i のベクトル

x : 経路の状態 x_i のベクトル

$P(t_i | x, Q)$: Q , x の下での t_i の確率

$P(x | Q)$: Q の下での x の確率

(状態 x_i は経路 i における渋滞の生起, 非生起を表す。)

【下位問題：ドライバーの行動】

$$\min_{t_0} L = \beta(t_a - t_0) + \gamma(1 - P(t_a | t_0)) \quad (4)$$

ここに、 β : 時間価値(円/分)

γ : 遅刻に対するペナルティ(円)

t_a : 目的地に到着すべき時刻

t_0 : 出発時刻

$P(t_a | t_0)$: 出発時刻が t_0 のときに時刻 t_a までに到着する確率の知覚値(非遅刻確率)

下位問題ではドライバーの行動を、旅行時間変動に起因する遅刻リスクへ適応するための出発時刻選択行動^{14), 15)} という側面から捉えている。この場合に、到着すべき時刻とドライバーが選択した出発時刻との差($t_e = t_a - t_0$)は、ドライバーが出発前にあらかじめ見積もる旅行時間であり実効旅行時間と呼ばれる。実効旅行時間は経路・出発時刻選択行動に与える影響が実証的に確認されている¹⁶⁾ が、時間タムで計測したリスク評価(あるいは信頼性の指標¹⁷⁾)と見ることができる。したがって下位問題はドライバーのリスク評価モデルと解釈することができる。

上位問題は、ドライバーにとっての旅行時間費用(実効旅行時間を用いて定義する)を用いたある種のシステム最適配分であるが、旅行時間の確率的な変動を考慮して、期待費用の最小化を目的関数としている。軽減戦略の目的は一般に、①危険事象の予防、②危険事象発生時の損害の軽減、にわけられるが、式(3)に示すように経路交通量の操作は両方の効果を持つ。すなわち、経路交通量を操作すること

によって、①状態(渋滞)の生起確率と、②損害の発生確率の両者に影響する。

上位問題と下位問題の間には次のような相互決定関係がある。上位問題で交通管理者は経路交通量を操作するが、その際の目的関数に含まれている時間費用はドライバーのリスク評価値である実効旅行時間を用いたものであり、下位問題に依存している。一方下位問題において、ドライバーのリスク評価は非遅刻確率に依存するが、これは上位問題の決定変数であるところの経路交通量の関数である。

前提条件の③(管理者のとり行動をみてドライバーは最適反応行動をとる)、④(そのことを管理者は知っている)の下では、上記の2レベル最適化問題はシュタッケルベルグ問題と見ることができる。この場合、下位問題においてはネットワークフローを与件とするので、下位問題はある種の仮定(OD旅行時間はリンク旅行時間の和として与えられ、各リンク旅行時間は互いに独立に分布する)の下では解析的に解くことができ、2レベル最適化問題を通常の最適化問題に帰着させることが可能である。すなわち、下位問題について t_a が与件であるならば、 L を最小にする t_0 を実行可能なネットワークフロー V ($V = V(Q)$) のそれぞれについて求め、 $t_a(Q) = t_a - t_0^*(Q)$ を次式のような上位問題の時間費用関数 t に用いれば良い。

$$t_i(x | Q) = \begin{cases} t_{e,i}(Q) & (T_i \leq t_{e,i}) \\ T_i & (T_i > t_{e,i}) \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 i : 経路の番号

T_i : 経路 i の実旅行時間

$t_{e,i}$ は、知覚旅行時間が正規分布 $N[\mu_i^*, \sigma_i^{*2}]$ (必ずしも真の旅行時間分布には一致しない) に従うならば、

$$t_{e,i} = \mu_i^* + \sigma_i^* \phi^{-1}(\sigma_i^* / \gamma) \quad (6)$$

$$\sigma_i^* / \gamma < \phi(0)$$

ここに、 μ_i^* : 知覚旅行時間の平均

σ_i^* : 知覚旅行時間の標準偏差

$\phi^{-1}(\cdot)$: 標準正規確率密度関数の逆関数

γ : 遅刻ペナルティ

となる¹⁸⁾。 $\sigma_i^* / \gamma > \phi(0)$ のときには、遅刻に対するペナルティが相対的に小さいために平均旅行時間のみによって出発時刻が決定される。 μ_i^* , σ_i^* は旅行者が出発時に見積もるものであるから、結果として

実現する経路の状態には依存せず、配分交通量 Q のみの関数である。また、式(6)の右辺第1項は平均旅行時間で、迅速性の指標である。第2項は出発時に旅行者が見積る安全余裕時間である。この大きさは旅行時間の分散の大小に比例するので、旅行時間の定時性の指標となる。また遅刻に対するペナルティといった社会的な評価も反映される。

以上より、表5にあげた関数関係やパラメータを全ての Q に対して定めることができれば式(3)、(5)、(6)より、図1に示すような手順でリスク配分を求めることができる。(簡単のために1OD2リンクでOD交通量は一定、リンク交通量はOD交通量に対する割合一分担率で表すこととする。)まず分担率ごとの(A)渋滞の生起確率と(B)渋滞・非渋滞時の旅行時間分布から(C)実旅行時間分布を求め、同時に実効旅行時間を計算して分担率ごとに時間費用分布を求める。この期待値をとれば(D)期待費用曲線が分担率の関数として得られるので、両経路の期待費用の和を最小とする分担率を解として得る。

表5 リスク配分で必要な外生変数、パラメータ

施設の ハイクラス	渋滞の生起確率	$P(X Q)$
	非渋滞時 旅行時間分布	$N[\mu_T, \sigma_T^2]$ $N[\mu'_T, \sigma'^2_T]$
ドライバーの 行動	知覚旅行時間分布	$N[\mu^*_T, \sigma^{*2}_T]$
	遅刻ペナルティ	γ

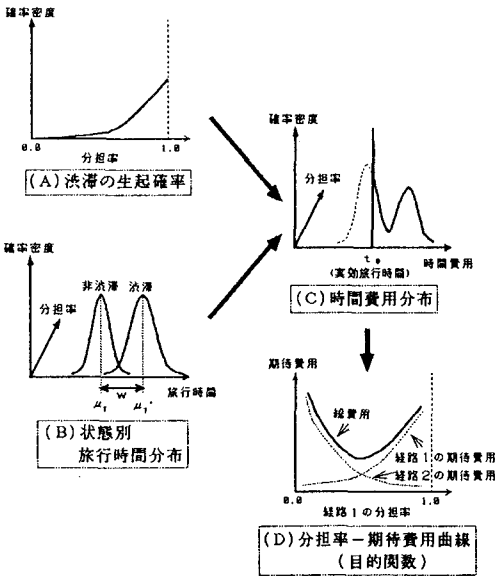


図1 リスク配分の計算手順(1OD2リンクの場合)

4. 数値計算例

表5に示したパラメータや関数は、適用対象に関して統計的な調査を行って決定すべきものである。したがってここでは、これらについては基本的に従来の研究¹³⁾にならうこととして、①知覚旅行時間分布の与え方と、②ネットワーク内の一部のノードペアでリスク配分を実施する場合の影響評価について、数値計算を通じて検討を加える。なお配分対象ネットワークの交通特性も便宜的に与える。

(1) 知覚旅行時間分布の検討

本研究では、実旅行時間は渋滞、非渋滞それぞれの状態の下で正規分布するものとしてモデル化している。そこで、渋滞の生起確率に応じて、旅行時間分布の形状は一般に図1(C)に示すような双峰形となる。しかしドライバーが旅行時間分布を正確に知覚することは通常は困難であり、知覚旅行時間分布の形状も単峰形になるであろう。そこで、旅行者の知覚旅行時間分布として、ここでは次式のように、渋滞時と非渋滞時の重み付き和を検討することとし、重み係数の与え方によって配分結果が影響を受けるか否かを確認する。

$$\mu^*_T = (A \cdot \mu_T + B \cdot \mu'_T) / (A + B) \quad (7)$$

$$\sigma^{*2}_T = (A^2 \cdot \sigma_T^2 + B^2 \cdot \sigma'^2_T) / (A + B)^2 \quad (8)$$

μ_T, μ'_T : 非渋滞、渋滞時の平均旅行時間

σ_T, σ'_T : " の旅行時間の標準偏差

A, B : 重み係数

ネットワークを1OD2リンクに限定し重み(A, B)を、①(1, 0)、②(0.5, 0.5)、③(0, 1)として実効旅行時間を用いた等時間配分を行った結果を図2に示す。図中に示す混雑率とは、OD交通量を両経路の交通容量の和で除した値を意味する。図2より、重みの与え方の分担率への影響が大きいことがわかる。

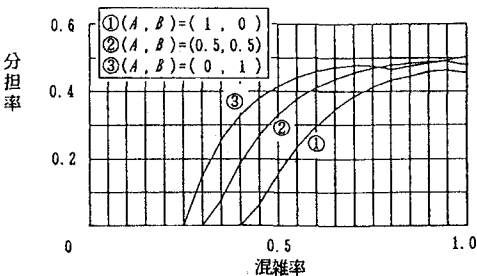


図2 重みを変化させたときの分担率の比較

このような知覚旅行時間分布を用いれば、例えば重み係数を、

$$(A, B) = (P(0), \gamma \cdot P(1)) \quad (9)$$

$P(0)$: 非渋滞である確率

$P(1)$: 渋滞である確率

とすることによってドライバーの知覚旅行時間分布に対する渋滞の発生頻度の影響を考慮できる。

(2) ネットワークにおけるリスク配分の評価

ここではドライバーの行動として経路選択行動も取り扱うこととし、ネットワーク内のある1つのノードペア間でリスク配分を実現するような交通制御を実施した場合に生じるネットワークフローの変化を考慮して評価する。ただしOD交通量は一定とする。

図3に示すネットワークに対して数値計算を試行した。ここに対象区間とは、ネットワーク中で交通を制御している区間のことである。全ネットワーク(左図)における太線部が対象区間(右図)で、一方のリンクが一般道路、今一方が高速道路である。

計算は図4に示す方法で行う。①全ネットワークに総交通量を利用者均衡配分し、対象区間の交通量を求める。次に、②均衡配分で求められた対象区間交通量を対象区間内の各リンクにリスク配分し、対象区間の旅行時間を求める。③対象区間については②で得られた旅行時間に固定して、再度全ネットワークの均衡配分を行う。以下、②、③を繰り返して均衡配分とリスク配分とで、対象区間の交通量を収束させる。

こうして得られるリスク配分の効果を評価するために、ここでは利用者の総期待時間費用を、リスク配分を行わない場合とで比較する。リスク配分を行わない場合の交通配分は、通常の利用者均衡配分と与える。図5にリスク配分の時と利用者均衡配分の時それぞれの総期待時間費用 ECR 、 ECe の比 ECR/ECe を示す。ただし①は対象区間の時間費用のみを取り上げた場合、②は全ネットワークの時間費用を考えた場合である。①対象区間のみをみると、リスク配分を行うことによって対象区間の総時間費用はどの混雑率(交通量)においても減少しており、リスク配分の目的は達成されている。しかし混雑率が1を超えると、リスク配分により全ネットワークの総時間費用は急増している。たとえ対象区間の費用が減じられても、他区間への悪影響が大きすぎればリス

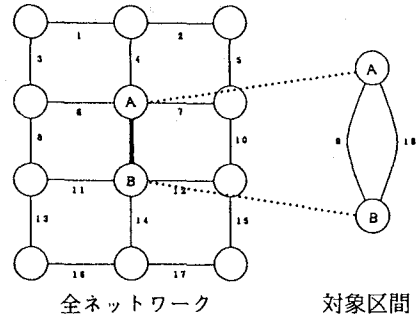


図3 計算に用いるネットワーク

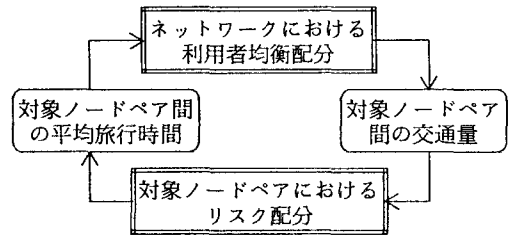


図4 ネットワークにおけるリスク配分のフロー

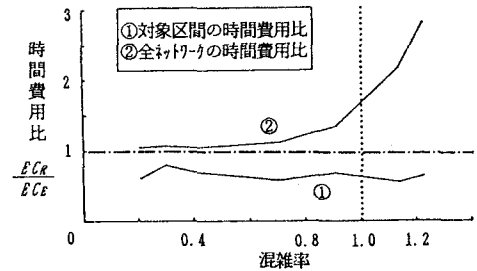


図5 時間費用の比

ク配分が有効であるとはいえないであろう。この例から、リスク対応行動の評価をいくつかの異なる視点から行うことの重要性がわかる。

5. リスク対応行動の評価に関する考察

リスク配分はある種のシステム最適化を考えているので、何ら対策を施さない場合の交通状態に比べてどれだけ費用が減少するかを見ることは、リスク配分の有効性を考える上で基本となる。しかし上の数値計算例でも示したように単一の視点からの評価では不十分なことが多い。

例えば、リスク配分は期待費用に基づいた事前のリスク対応行動であるが、実際に個々のドライバー

が通行するときには交通状態は非渋滞か渋滞のいずれかであるから、個別時間帯ごとに実際に生じた費用をみるとリスク配分は結果として無駄な対策となる場合がある。事前のリスク対応策であるリスク配分がドライバーに受け入れられるか否かを考える際には、このことを考慮してリスク配分の評価基準を定める必要がある。

簡単のために1ODの2経路間のリスク配分を検討する場合を考えよう。交通状態として両経路とも非渋滞、両経路とも渋滞という両極端な状態をとりあげ、それぞれのときの総時間費用をリスク配分、利用者均衡配分それぞれについて表6のように定義する。これらの値は、渋滞時には時間遅れが生じて時間費用が増大することから、 $\gamma_u \leq \gamma_e \leq \gamma_c$, $z_u \leq z_e \leq z_c$ なる関係にある。これらの費用を用いて次のような評価基準を設定することができよう¹³⁾。

表6 種々の状態における総時間費用

交通状態	期待値	両経路 非渋滞	両経路 渋滞
リスク配分	γ_e	γ_u	γ_c
利用者均衡配分	z_e	z_u	z_c

- ・ 基準①: $\gamma_e < z_e$
- ・ 基準②: $\gamma_e < z_u$
- ・ 基準③: $\gamma_c < z_u$

これらの基準は①→③の順でリスク配分にとって厳しいものとなる。基準①はリスク配分の目的関数と同じ視点からのものである。基準②では、リスク配分を行えば、平均して、等時間配分の下でのいかなる状態よりも費用が小さくなることを要請している。基準③ではリスク配分でたとえ渋滞という最悪の状態になろうとも、等時間配分での最良状態のときよりも費用は小さくなることが求められる。

6. おわりに

本稿では、渋滞による時間損失を予防、低減するような経路交通量配分を考え、リスク分析アプローチによる定式化を行った。交通計画においては不確実性への対応、特にリスク分析的なアプローチは始められたばかりであるため、フレームワークの整理の一助となることを願いつつまとめた。整理が

不十分な点が多々あると思うが、議論の材料となれば幸いである。

参考文献

- 1) 亀田弘行：都市地震防災からみたリスク評価と対策技術，日本リスク研究学会誌，Vol. 2, No. 1, pp. 29-34, 1990.
- 2) 若林拓史，飯田恭敬：道路網信頼性解析法の開発とライフラインネットワークへの適用性の検討，土木計画学研究・講演集，No. 13, pp. 915-922, 1990.
- 3) 高山純一：異常気象時における道路網の連結性能評価法，土木計画学研究・講演集，No. 12, pp. 559-565, 1989.
- 4) 朝倉康夫，柏谷増男，熊本仲夫：交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価，土木計画学研究・論文集，No. 7, pp. 235-242, 1989.
- 5) 飯田恭敬：交通管理のハイテク化と都市交通計画，都市問題研究，Vol. 41, No. 12, pp. 3-15, 1989.
- 6) 飯田恭敬，柳沢吉保，内田 敬：通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法，土木計画学研究・論文集，No. 9, 1991.
- 7) 市川 新，水野敏之：治水計画とリスクアセスメント，日本リスク研究学会誌，Vol. 2, No. 1, pp. 78-83, 1990.
- 8) 岡田憲夫：災害のリスク分析の見方，土と防災セミナーテキスト，土木学会，1985.
- 9) 黒田勝彦：工学におけるリスク対応策の分類，土木計画学研究・講演集，No. 13, pp. 895-902, 1990.
- 10) 甲斐倫明：リスクを比較する，日本リスク研究学会誌，Vol. 2, No. 1, pp. 84-85, 1990.
- 11) 細江守紀編著：非協力ゲームの経済分析，勁草書房，1989.
- 12) 朝倉康夫：利用者均衡を制約とする交通ネットワークの最適計画モデル，土木計画学研究・論文集，No. 6, pp. 1-19, 1988.
- 13) 飯田恭敬，内田 敬，泉谷 透：旅行時間変動による損失を考慮した適正経路分担交通量，土木計画学研究・論文集，No. 8, pp. 177-184, 1990.
- 14) Hall, R.W.: Travel outcome and performance the effect of uncertainty on accessibility, Transportation Research, Vol. 17B, pp. 275-290, 1983.
- 15) 松本嘉司，角 知憲，田辺俊郎：一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定，土木学会論文報告集，No. 337, pp. 177-183, 1983.
- 16) 松本昌二，白水義晴：旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響，土木学会論文集，No. 353, pp. 75-82, 1985.
- 17) 加藤文教，門田博知，浜田信二：道路の信頼性評価の簡便法，土木計画学研究・論文集，No. 4, pp. 181-188, 1986.