

旅行時間変動リスクを考慮した交通運用策に関する考察*

Traffic Management Policy Considering the Risk of Travel Time Variation:
A Discussion Paper

内田 敬**, 飯田 恭 敬***

By Takashi UCHIDA and Yasunori IIDA

This paper introduces the concept of *Risk Assignment*, which approaches traffic management under the risk of travel time variation, and summarizes the issues which should be considered for extending the paradigm of risk management. Firstly, the basic models of *Risk Assignment* are described; optimization model of traffic manager, and the *Effective Travel Time Model* which describes drivers' behavior. Then, numeric examples are shown; they examine the performance of the *Effective Travel Time Model*, which considered as risk evaluation model, and the sensitivity of *Risk Assignment* against the change of traffic management policy, where the *Risk System Optimum Assignment* and the *Risk User Optimized Assignment* are compared. Lastly, Research issues concerning the *quality of information* in transportation planning are pointed out in order to assist understanding and extending the *Risk Assignment Approach*.

keywords: risk analysis, information, travel behavior

1. はじめに

著者らは、「生活の質」を向上する道路交通管理指針として、旅行時間を単に短縮するのみではなく、旅行時間変動をコントロールすることを提起し、リスク分析アプローチによって経路交通量の管理運用問題—適正分担交通量（リスク配分）—について検討を進めてきた¹⁾²⁾³⁾。これらの論文では、リスク配分決定モデルを概括的に定式化することと、数値実験によるモデルパフォーマンスの確認を主たる課題としてきたが、「社会・公共システムの信頼性・リスク分析」分科会の活動において、モデル化の前

提に関していくつかの疑問、異見が提起された⁴⁾⁵⁾。

問題提起は、リスク配分アプローチを、“交通計画・管理の主体とドライバーがどのような質の情報をどの程度、認知・観測・解釈しうるかという「情報の質」のマネジメントと暗に関係している”⁶⁾と位置づけて、

- 1)管理者、ドライバーはどのような情報を知り得て、知り得ないのか、
- 2)ドライバーの学習による知覚の形成—行動仮説、
- 3)ドライバーの行動の管理者による制御（予測）可能性、

に関してなされた。

現時点では、著者にはこれらの問題へ回答する用意はないが、運輸交通計画分野におけるリスクマネジメント研究発展のための「建設的な論争を引き出す手がかり」⁶⁾とするべく、リスク配分の基本的な定式化・モデル化の前提を最整理し、問題点の明確化を試みる。

* キーワード：リスク分析、情報、交通行動

** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室（〒606-01 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（〒606-01 京都市左京区吉田本町）

2. リスク分析アプローチによる交通管理

(1) モチベーション

リスク配分の基本的な目標は、道路交通の運用計画における質的評価規範の提示にある。

「生活の質」⁶⁾を反映する評価規準を設定すること、交通現象が本質的に有する不確実性に対処すること、情報提供などの非強制的な交通管理策の評価に用いることが可能なこと、をモデル構築の方針とした。

「生活の質」を反映する評価規準については、道路交通は派生的需要でコストとしての側面が強く、時間制約の下で他の活動と対立・調整されるものであるという観点から、旅行時間を取り上げた。評価規準としての旅行時間のモデル化にあたっては、ドライバーがどのように感じるかを反映することに主眼をおき、ドライバーが感じる旅行時間の不確実性、そのトリップを必要とする活動の重要性、ドライバーの時間価値、を反映するものとして、実効旅行時間を採用した。(実効旅行時間を用いるきっかけは加藤等⁷⁾に負うところが大きい。)

交通現象－旅行時間－の不確実性については、確率分布を用いて表現するが、旅行時間は渋滞時と非渋滞時で大きく異なり、渋滞の生起はかなりの部分ランダムであるという見地から、渋滞を危険事象と解釈したリスク分析アプローチによることとした。

リスク配分は、形式上は経路交通量を操作変数とする最適化問題であるが、いわゆる“配分問題”であり交通量操作を明示的には取り扱わない。しかし情報提供などの非強制的な交通管理策に反応するモデルを目指している。ここでは、非強制的な管理によってドライバーが行動を変化させる原因を、ドライバーの知覚旅行時間の変化に求める。ある政策と知覚旅行時間の変化の関係は当面措いて、知覚旅行時間分布をパラメータとしたときに、その値の変化に反応するモデルとする。

(2) 基本モデル

システム最適配分としてのリスク配分の基本的なモデルについて概述する。

a) 道路交通管理者の行動

道路管理者は、ドライバー全体(システム)の費用を最小化するように経路交通量を操作するものと

仮定する。1つのODペアを取り上げ、OD間の交通需要ならびに出発時刻分布は不変として、分担交通量 α を決定変数とする最適化問題として定式化する。

$$EC(\alpha) = \sum_{i=1}^m EC_i(\alpha_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

ここに $EC_i(\alpha_i)$ は、

$$EC_i(\alpha_i) = \alpha_i V \sum_x \sum_t t \cdot P(t, x_i | \alpha_i) \quad (2)$$

のように、経路 i の利用者の総時間費用 t を経路交通状態 x_i に関して期待値をとって定義される。時間費用 t にドライバーの知覚旅行時間分布・意識を反映させることで、政策に反応するモデルとする。

b) ドライバーの行動

ドライバーは、主観的な旅行時間分布を有しており、目的地へ遅刻せずに到着することと、出発時刻を遅くすることを両立させようとするものと仮定する。このようなドライバーの出発時刻選択行動は、

$$L = (t_d - t_0) + \gamma(1 - F(t_d | t_0)) \rightarrow \min \quad (3)$$

ここに γ : 遅刻に対するペナルティ(分)

t_d : 目的地に到着すべき時刻

t_0 : 出発時刻

$F(t_d | t_0)$: 出発時刻が t_0 のときに時刻 t_d までに到着する主観確率

で記述できる。ドライバーの(主観的な)知覚旅行時間分布が正規分布 $N[\mu_T, \sigma_T]$ に従うと仮定して式(3)を解いて得られる t_0 から、トリップのために実質的に消費が予定される時間－実効旅行時間－ $t_e = t_d - t_0$ が次式のように与えられる:

$$t_e(\alpha) = \mu_T(\alpha) + \sigma_T(\alpha) \phi^{-1}(\sigma_T(\alpha)/\gamma) \quad (4)$$

ただし、 $\sigma_T/\gamma \leq \phi(0) (=0.399)$

ϕ : 標準正規確率密度関数

この実効旅行時間 t_e を、式(2)の時間費用として用いる。実効旅行時間は、平均旅行時間、旅行時間分散とともに、トリップの重要性を表す遅刻ペナルティ γ にも依存する。ここで用いる旅行時間分布はドライバーの知覚旅行時間分布であり、実効旅行時間はドライバーの旅行時間変動に対する評価を表すモデルと解釈できる。

(3) モデルのパフォーマンス

a) 実効旅行時間の特性

式(4) に与えられる実効旅行時間は、平均旅行時間と旅行時間の変動に対処するために確保される余裕時間（セーフティマージン）から成る。セーフティマージンは、遅刻リスクの評価の指標と解釈できる。式(4) からは、同様な指標として許容遅刻確率も導くことができる。

$$[\text{safety margin}] = t e^{-\mu_T} = \sigma_T \phi^{-1}(\sigma_T / \gamma) \quad (5)$$

$$= \sigma_T X$$

$$[\text{許容遅刻確率}] = 1 - \Phi\left(\frac{t e^{-\mu_T}}{\sigma_T}\right)$$

$$= 1 - \Phi(\phi^{-1}(\sigma_T / \gamma)) = 1 - \Phi(X) \quad (6)$$

ここに、 $X = \phi^{-1}(\sigma_T / \gamma)$

表1の計算例に示すように、セーフティマージンは、トリップの重要性を表している遅刻ペナルティ γ と旅行時間分散が調和されている。評価指標として、意味付けが困難になりがちな確率を、生活上馴染み深い時間に変換することができる。

表1 セーフティマージンの計算例

γ (分)	σ_T (分)	σ_T / γ	X	許容遅刻確率	セーフティマージン $\sigma_T X$ (分)
500	5	0.01	2.715	0.003	13.58
500	10	0.02	2.447	0.007	24.47
50	5	0.10	1.664	0.05	8.32
50	10	0.20	1.175	0.12	11.75

b) モデルの感度

1 OD 2 リンク（高速道路と一般道路からなる）の道路網に対して適用計算を行い、政策への感度を見る。(2) ではシステム最適配分を示したが、ドライバーの行動を表現するものとして実効旅行時間を用いた利用者均衡配分も計算する。また時間価値を用いれば料金の効果も取り入れることができるので、時間費用として実効旅行時間と通行料の時間換算値の和を用いる。リスク配分では表2に示す値を定める必要があるが、表3のように知覚旅行時間分散と料金を変えて3ケースの計算を行った。

結果は（図1～図3；OD交通量は両リンクの容量の和で正規化している）、知覚旅行時間分散に対してシステム最適配分よりも利用者均衡配分の方が感度が高いこと、利用者均衡をシステム最適に接近させるには料金の効果が大きいことが示されている。

表2 リスク配分で必要な外生変数、パラメータ

施設の パフォーマンス	渋滞の 発生確率	$p_i(X Q)$
	旅行時間分布 非渋滞時 渋滞時	$N[\mu_T, \sigma_T^2]$ $N[\mu_T, \sigma_T'^2]$
ドライバー の行動	知覚旅行時間分布	$N[\mu_T^*, \sigma_T'^2]$
	遅刻ペナルティ	γ
	高速道路通行料	CH

表3 計算条件

	渋滞生 起確率 p_1, p_2	知覚旅行時間 平均 μ_T^*	分散 $\sigma_T'^2$	高速道路 通行料 CH	遅刻 ペナルティ γ
ケース1	$p_1=0.2\rho$	μ_T	σ_T^2	2.0h	5.0h
ケース2			$(1+p_1)$		
ケース3	$p_2=0.3\rho$		$*\sigma_T^2$	0.5h	

渋滞確率関数¹⁾ $\rho = \exp(-12+14.2\alpha_i)$
 α_i : 経路 i の混雑率

自由走行時間 高速道路: 1.00h
 一般道路: 1.33h

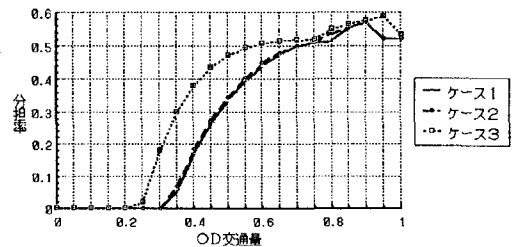


図1 システム最適配分による高速分担率

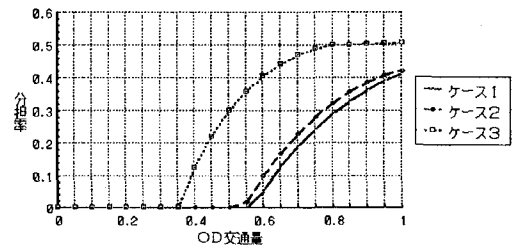


図2 利用者均衡における高速分担率

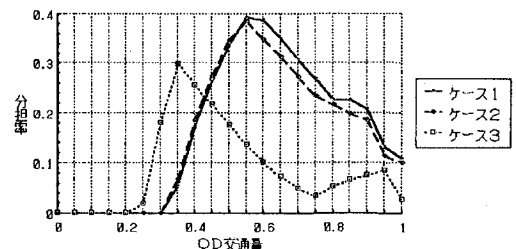


図3 システム最適と利用者均衡の高速分担率の差

3. 交通管理と情報・不確実性—検討すべき課題

(1) 何がリスクか

リスク配分では、リスクとして旅行時間の変動に着目している。

計画者・管理者にとって実旅行時間は、交通流を観測することによって知ることのできるものである。しかし、ドライバーの行動（出発時刻分布、経路選択）と経路の交通状態（旅行時間）の関係に関する認識の限界、特に、渋滞の生起が局所的なドライバーの行動に影響されることを考えるならば、旅行時間を確定的に予測することはできず、最善でも確率分布として記述することとなろう。交通を転換させて、旅行時間変動によるドライバーの損害（の総和）を制御することが管理目標となる。

ドライバーにとっては、旅行時間分布は外生的に存在するものである。他者の行動を予見することは不可能であり、自身の経験を通じて知覚を形成する過程で、正確に旅行時間分布を知ることもしできない。

(2) 「計画の質」と「情報の質」

リスク配分では2つの旅行時間分布を用いる：

- 1) 実旅行時間分布：行動（経路分担率）を評価する際の、状態の生起確率を与える客観的な分布、
- 2) 知覚旅行時間分布：ドライバーの行動決定の基になる主観的な分布；ドライバーが交通状態に関して下すリスク評価を与える。

これら2つの分布は、交通現象ならびに知覚のメカニズムを通じて関係を有する。しかし形式上は、2つの分布に従属関係は必要では無い。

リスク配分の基本モデルでは、簡単のために、

- ① 計画者は実旅行時間分布を正確に知っている、
- ② 知覚旅行時間分布は“非渋滞時”の実旅行時間分布に一致する、
- ③ ドライバーの知覚旅行時間分布を計画者は正確に知っている、

と仮定した。しかし現実には、同じ交通現象に接していても、ドライバーと管理・計画者では現象理解が異なるのが通例と思われる。「ズレやブレが生じるのは回避しがたいとして、事前にそれを予定することが、計画の質を決定する」⁶⁾が、では計画・管理者はいかにしてドライバーの知覚分布を知ることができるであろうか？

(3) ドライバーの知覚形成

学習による知覚形成の行動仮説に関して、小林⁴⁾は、「個人の行動の結果として生じるリスクと個人が期待するリスクの間のリンクを説明する行動仮説として、合理的期待形成仮説は科学性を有する現時点では唯一の仮説」としている。合理的期待形成仮説あるいは他の行動仮説の可能性について検討することが必要であろう。

しかし、リスク配分のアプローチにおいては、知覚の形成過程には立ち入らない。むしろ、知覚と実現象のズレを積極的に認めるというスタンスをとり、行動に表れるたものから知覚旅行時間分布を推定するというアプローチ⁵⁾をとる。

(4) 管理者の指示とドライバーの行動

リスク配分では管理目標としてのリスク最適配分と、ドライバーの行動を表現するリスク利用者均衡配分を考えている。ドライバーにシステム最適な行動を（放任しておいて）取らせることは不可能であるから、非強制的な管理方策を通じてリスク最適配分へ交通（リスク利用者均衡配分で記述される）を誘導するという立場を取る。リスク配分で想定している行動への影響（管理）要因は、通行料および知覚旅行時間分布である。客観的な旅行時間分布と知覚旅行時間分布をズラすことによって、ドライバーの利己的な行動がシステム最適なリスク配分を実現しないだろうか？（図3参照）客観分布と異なる分布をドライバーが知覚することが可能であろうか？

4. おわりに

本稿ではリスク分析的なアプローチによる交通運用策についての議論の材料に供すべく、リスク配分の基本的な考え方と課題を挙げた。読者の忌憚のないご意見を頂戴できれば幸いである。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 内田敬、飯田恭敬、中尾光宏：リスク対応行動を考慮した道路網経路配分の評価、土木計画学研究・講演集、No.14(1), pp.323-330, 1991.
- 3) 飯田恭敬、内田敬：リスク対応行動を考慮した道路網経路配分、土木学会論文集、（投稿中）
- 4) 小林潔司：飯田・内田論文に対する討議メモ、社会・公共システムの信頼性・リスク分析分科会コミュニケーションズ、No.1,3, 1992.
- 5) 飯田恭敬、内田敬：小林の討議メモへの回答、社会・公共システムの信頼性・リスク分析分科会コミュニケーションズ、No.2,4, 1992.
- 6) 岡田憲夫：新しい社会基盤整備時代におけるリスク分析研究の意義と土木計画学のパラダイムシフト、土木学会論文集、（投稿中）
- 7) 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.
- 8) 内田敬、飯田恭敬、松下晃：通勤ドライバーの出発時刻決定行動の実証分析、土木計画学研究・論文集、No.10, 1992.