

特集論文(社会基盤整備のためのリスク分析)

レビュー研究：社会基盤整備の計画・管理のための
リスク分析的アプローチ

—水利用と道路利用問題を対象として

岡田憲夫*・若林拓史**・多々納裕一***

社会基盤整備においては生活・環境の質の向上を図るために、サービスの安定性と選択の自由度を高めることが計画論的課題となっている。そのために広義のリスク分析的アプローチが不可欠である。本論文はこのような視点から社会基盤整備に関わる既往の研究に着目し、特にリスク分析的視点から研究レビューを行ったものである。その際、対象を水利用と道路網の整備問題に限定し、併せて今後の課題についても言及した。

Key Words: risk analysis, reliability analysis, infrastructure development, water resources planning, highway planning

1. はじめに

本スペシャル・イシューの位置づけ論文(研究展望)において岡田・小林¹⁾が述べているように、これからの社会基盤整備にあたってはリスク分析的視点からの計画情報の作成提示が不可欠である。その主な理由は以下のとおりである。

- i) 生活の豊かさを実感させ、それを真に実現するための社会基盤整備において計画・管理の基本的な目標や考え方を転換する必要がある。
- ii) 「生活環境の質(クオリティオブライフ)の向上」が社会基盤整備の基本的な目標として据えられるべきである。これは窮極的には広義で多義性を有する意味での「信頼性」と選択の自由度の高い社会基盤整備を目指すことに通じると考えられる。そこに至る一つの重要で有効なアプローチは、生活の質としての「不安からの自由」の向上を視野に入れるものであり、それは広義で多義性を持った「信頼性」の向上を基底に据えるものである。
- iii) このようなアプローチは「社会・公共システムのリスクマネジメント」に通底するものであり、そのための社会基盤整備を計画管理するにあたっては「リスク分析的アプローチ」に基づく計画情報の作成提示が不可欠である。

2. 社会基盤整備のためのリスクマネジメント

それでは、社会基盤整備に関する計画・管理を想定した場合に、あえて「リスクマネジメントと呼ぶべきパースペクティブ」とその方法論としての「リスク分析」を導入することは具体的にどのような意義があるのであ

うか。また、それはこれまでのアプローチと比べてどのような特徴を具備するべきであろうか。以下この点について簡単に説明しておこう。

- i) 社会基盤整備の質の評価は、多義性を持った「信頼性」(社会基盤が提供するサービスの質の変動幅やブレに対して、ユーザがあてにできる程度)の視点から行うことが不可欠であろう。それは防災などの「安全性」に関わる場合であっても、都市景観の「アメニティ」に関する場合であっても同様のことである。これは、社会基盤整備の計画・管理に、多義性をもたせた「信頼性のマネジメント」とその方法論としての「信頼性分析」の導入が不可欠であることを意味している。後述の社会基盤整備の各論で具体的に触れるように、これまでも「信頼性のマネジメント」が計画・管理の主要なテーマとなってきた部門(たとえば、漏水対策等の利水計画)もある。一方、あくまで副次的な関心事としてしか取り上げられてこなかった部門(たとえば、道路網整備計画)もある。このことにまず、留意しておきたい。
- ii) これからは、「量から質への転換段階」からさらにもう一步進んで、社会基盤整備の「質の向上」が求められる時代になってくる。このとき、すでに社会的慣行となっていたり、制度化・法制化している「信頼性」規範自体が見直しを余儀なくされることが多くなってくるであろう。すなわち、〈信頼性規範の変更〉の可能性やその評価も含めたマネジメントが求められることになる。これは、社会基盤整備の計画・管理の慣行的領域(バウンダリー)の変更の是非についてのマネジメントである。
- iii) 上記ii)のような場合になると、慣行的・制度的に必ずしも完全には担保されていない「信頼性」を計画・管理の対象とせざるを得なくなる。また、これまで以上に多くの「不確実性」を対象領域に持ち込むことになる。また、社会基盤のユーザの行動規範やライフスタイルをどのように勘案するかが問われるようになってくる。そ

*正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 水資源研究センター (〒611 宇治市五ヶ庄)

**正会員 工博 大阪府立工業高等専門学校助教授 建設工学科

***正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部 社会開発システム工学科

の場合に、誰（どんな主体）がどこまで「信頼性」を認識し、評価し、選択するかという問題が重要になってくる。これは、そのような選択の結果に対するマネジメントの良否を便益や損害として想定するとともに、不確実な結果の生起の可能性やプレ・変動の存在の総体を「リスク」として認識し、受容することを意味している。そこで、このような状況下における社会基盤整備のマネジメントを（社会基盤整備のための）リスクマネジメントと称することにする。

iv) 社会基盤のリスクマネジメントが要請される状況下では、そのマネジメントに能動的あるいは受動的に関与（コミット）する複数の主体が存在することが普通である。例えば、岡田²⁾はリスク関連諸概念の関係を図式化するとともに、リスクマネジメントにコミットする行動主体と被害客体の存在を特徴として挙げている。

v) 主体の概念を明示してリスクを評価する場合には、当該主体の行動規範が明確に提示される必要がある。

なお、リスクマネジメントが想定している「信頼性規範の変更」が、現行の社会・経済・技術等の構造の微修正にとどまるものであり、比較的短期間にその変更が可能な場合がある。これが岡田³⁾のいう「構造補整リスク」のマネジメントである。一方、それが構造の根本的な変更を伴い、長期にわたってのマネジメントが求められる場合が「構造変換リスク」のマネジメントである。

以上、要するに社会基盤整備のリスクマネジメントを科学的に支援するための計画・管理論的方法論として「リスク分析」の開発・構築が急務の課題となってきた。以下、この点について、利水計画における渇水対策問題と、交通計画における道路網整備問題を取り上げて、そのような課題がどこまで達成され、さらにどのような新規課題に挑戦すべきであるかについて研究レビューを行う。

3. 渇水対策問題に関するリスク分析的アプローチ

(1) 利水計画とクオリティオブライフ

近年のライフスタイルや産業構造の変化により社会の水に対する依存度は極めて高くなってきている。水資源システムの整備が進められてきた結果、現在では上水道普及率は90数%と極めて高い水準に達している。このような状況下で、水に対するニーズも変わりつつある。現在では、水利用の高度化に伴い、水利用の利便性、安定性、信頼性等のパフォーマンスが、地域住民の生活の質を支える基礎的な要件として認識されつつある。さらに、これまでに行われてきた水資源開発によって大都市圏を中心として河川の利用率が高度化している。河川の利用率が高まると同一規模の渇水流況が発生してもその影響は河川の利用率が低い段階に比べて深刻となる⁴⁾。

従って、このような状況下では以前にも増して、安定的な用水の供給体制を確立することが要請され、水利用の安定性・信頼性を確保・向上するための施設整備や管理の方法論が注目されるようになってきた。

水資源計画の分野は、社会基盤整備計画の中でも早くから、計画に不確実性の数理的表現としての「確率」の概念を導入してきた分野である。この分野において「確率」は、計画上対応する規模の外力と、対応を前提としない外力とを区別する計画基準として計画に反映されている。すなわち、「確率」の概念を用いて計画基準を設定し、この計画基準に従って計画が立案されている。計画基準を満たす確率を「信頼性」といいかえるならば、現行の制度は信頼性分析を基礎とした計画の立案手法が用いられているとみなすことができよう。利水計画を例に挙げれば、現行の計画・管理は「10年に1位相当」の渇水を基準として基準渇水流況を設定し、この流況下で水需要が充足されるように貯水池容量を定めるという方法を採用している⁵⁾。すなわち、計画基準を「10年に1位相当の渇水流況に対応できること」とし、10年に1度未満の頻度で生じるような比較的小規模な渇水流況が発生しても渇水による被害が生じないように計画が立案されている。

しかし、これまでの慣習的なアプローチの主流では計画基準を満たすことが目的とされているために、計画規模を超える渇水に対しては計画制度上は対応が想定されない。ところが、その一方で、上述したように、水利用の利便性、安定性、信頼性等のパフォーマンスが、地域住民の生活の質を支える基礎的な要件となってきた。従って、今後、計画基準を満たす範囲で最も効率よく新規水量を開発することを目的とする「水資源開発」から、水利用の安定性や信頼性の高い水使用環境を提供することで地域住民の生活の質の確保・向上に資することを目的とする「渇水対策」に計画・管理の重点を移していく必要がある。そのための方法論の構築が要請されてきている。つまり、水資源計画の方法論を、現行の「信頼性分析」を基礎におく方法論から、地域住民の生活の質に根ざした方法論へシフトさせることが求められている。すなわち、2. で言及した意味での社会基盤整備のためのリスクマネジメントとその方法論としてのリスク分析が重要になってきていると解釈できる。具体的にいえば、「渇水対策」による地域住民の生活の質の変化は、水利用の安定化や信頼性の向上として実現される渇水被害の確率分布（「渇水のリスク」）の変化に規定されるだろう。このような観点から、ここでは「渇水対策」に関連する研究レビューを行うとともに、今後のこの分野における研究上の課題を展望する。以下では、まず、「渇水対策」の必要性を実管理と計画のかい離という観点からとらえた研究を紹介し、この意味からも「渇水対策」を考慮した水資源計画の必要性が指摘されていることを示す。次

いで、具体的に「渇水対策」に関する既往の研究のレビューを行うこととする。最後に、これらのレビュー結果をとりまとめ、今後の研究上の課題を明らかにする。

(2) 利水計画の課題提示的研究

従来の利水計画・管理の方法論⁵⁾では、計画上是、「10年に1位相当」の渇水流況よりも厳しい渇水(水行政ではこれを「異常渇水」と称する。)は考慮されおらず、異常渇水は管理の場面での対応に任されていた。このために、異常渇水のリスクや人為的に渇水を引き起こしてしまうリスク等、計画で考慮していない全てのリスクは実管理に委ねられている。Nogamiら⁶⁾は、ダム統合管理事務所の業務を解析し、水資源システムの管理は極めて多くのリスクを負わされる状況となっており、計画と実管理のかい離から生じる潜在的リスクの吸収機能を後者が過度に担っていることを指摘している。すなわち、水利用システムの信頼性を保証するぎりぎりの所で実操作が果たしている役割を再評価するとともに、今後、計画制度の側にそのリスクを低減させるための構造補正が必要であることを明らかにしている。また、今村ら⁷⁾は、計画で考慮していないリスクに対しても実管理では対応が必要となるため、計画操作と実操作にかい離が生じ、現実の渇水の頻度が計画上想定している水準よりも高くなる要因となっていると報告している。水利用の高度化にともない、渇水の社会経済的影響は増大しており、利水計画・管理における信頼性、安定性の確保・向上が要請されている。さらに、Nogamiらは管理の場面に集中しているリスクを計画段階からできるだけフィードフォワード的に吸収し、計画及び管理場面でのリスクを適切に処置していけるようなマネジメントの方法の構築の必要性について言及している。

(3) 渇水対策に関する既往の研究

a) 水源レベルでの渇水対策に関する既往の研究

水源レベルでの渇水対策の評価に関連する研究としては、水資源システムの信頼性評価に関する研究^{8) 例えは9)}や貯水池操作の最適化に関する研究⁹⁾がなされてきている。水資源システムの信頼性評価に関する研究は、貯水池からの放流が水需要を満たす場合を正常状態とし、水需要を満たさない場合を渇水状態として、渇水に対する信頼度や渇水からの回復度、渇水の深刻度等、貯水池の規模や操作、需要等を与件として貯水池の渇水に対する信頼性を解析する方法を研究している⁹⁾。貯水池操作に関する研究のうち、信頼性評価に関する研究では与件とされていた貯水池の操作を操作変数として、いかなる操作が望ましいかが検討されている。この際、操作の検討にあたっては、シミュレーションモデルによる試行錯誤的な分析や、DP、LPといった最適化手法が適用される⁹⁾。ただし、通常、期待被害額の最小化が図られるが、被害関数の設定に関しては十分な議論がなされていない。

渇水対策ダムについての調査研究は、これらの分析の適用事例として行われている。例えば、渇水対策ダムを想定したシミュレーション分析を実施し渇水対策ダムの位置特性と必要容量の関連を分析した中安ら¹⁰⁾の研究、渇水対策ダムと通常ダムの操作方法に関して広範なシミュレーション分析を実施した建設省河川局・土木研究所の研究¹¹⁾、渇水に対する信頼性指標⁹⁾が渇水対策ダムの容量の違いによっていかなる影響を受けるかをシミュレーション分析により検討した宝¹²⁾の研究等がある。

渇水対策を目的とする貯水池整備の方法論に関しては、費用便益分析により渇水対策容量を求めてくるアプローチ¹³⁾と他の災害のリスクと比較することによって、渇水対策のための整備目標水準を設定しようとするアプローチ¹⁴⁾がある。しかしながら、費用便益分析を用いるアプローチでは、便益を被害軽減額で評価しているが、被害の計量化法としては以下で述べる直接被害額を用いており、渇水時の不快感や不満感の心理的被害を含んでいないため、便益が過小推計されるという問題点が指摘されている。また、この方法では被害の発生機構を内生化したおらず、渇水時の水道事業者レベルでの対応の違いや水使用の状況の変化による影響を評価することができていない。また、後者のリスク分析的アプローチは、まだ分析・評価の技法や方法論が未整備であり、今後の具体的な整備目標水準の設定を行う上で方法論上の論理的精密性を高める必要がある。

渇水対策を目的とする貯水池整備は、地域住民が直面する水使用環境の確率分布を変化させる。従って、「渇水対策」を目的とする水資源システムの計画・管理の方法論を構築するためには、i) いかに「渇水対策」によってもたらされる水利用システムの安定性や信頼性といったパフォーマンスを評価し、ii) 地域住民の生活の質の向上を計量化するための経済的評価尺度を構成するかといった課題を克服すること、iii) これらの評価を反映した整備計画の方法論の構築が必要である。これらの課題のうち、iii) の経済的評価尺度の構成法に関しては、本特集多々納¹⁵⁾を参照されたい。

b) 水道事業者レベルでの渇水対策に関する既往の研究

水道事業者レベルでの渇水対策に関する研究事例のほとんどは、大規模渇水時の対応事例の解析に関するもの^{例えは16)}であり、これらは実際の対策の有効性に関して重要な知見を与えている。しかし、水道事業者レベルでの対策の効果分析については体系だった議論は比較的小さなようである。

建設省河川局河川計画課・建設省土木研究所¹¹⁾は、配水池容量の大きさと水需要特性(時間給水量の構成比率)の違いが、取水制限と給水制限との関係にいかなる影響を与えるかに関して分析を行っている。その結果、配水池

の規模が大きいかほど、また、水の需要特性が時間的に均質であるほど同一の取水削減率に対して給水削減率が小さくなることを示している。異常渇水時を念頭においた配水・給水設備の整備や管理の方法論に関する分析は、配水設備の最適運用に関する研究^{例として17)}を除けば、現在のところ余り見られないが、中川らは住民の意識調査をもとに給水管理手法の評価を試みている¹⁸⁾。この研究では、住民の意識レベルでの被害感覚を「受認度」として表し、これをもとに各種給水管理手法の評価を行っている。

c) 渇水の被害計測に関する既往の研究

渇水時に行われる種々の渇水対策の効果を分析するためには、それぞれの渇水対策と被害の関連関係を表現することが必要である。渇水時には、家計をとりまく水使用環境が平常時の環境から渇水時の環境へ変化する。この水使用環境の変化に対して水消費行動が変化し、その結果、家計の厚生が損失が生じる。渇水時の水使用環境は、水源レベル、給水レベルの対応によって変化する。従って、これらの渇水対策の影響を評価し、渇水対策を立案していくためには、水使用環境の変化と水消費行動の関連関係の分析は不可欠となると考えられる。

渇水による被害の計測方法としては、確実性下の状況を想定した分析として、直接被害額（臨時出費＋家事労働単価×家事労働時間増加）を用いる方法¹⁹⁾、直接聞き取り調査による W. T. P. 値（willingness to pay, 支払意思額）の推定²⁰⁾、渇水時の水消費行動をもとに家計の厚生を減少を推定する方法²¹⁾などがある。不確実性下の状況を想定した分析法としては森杉ら²²⁾の研究がある。

直接被害額を用いる方法と直接聞き取り法による支払い意思額の推定による方法はいずれも既往の渇水における事後的なアンケート調査の結果から直接的に被害を推計し、これと実際の取水制限率との関係を求めている。このため、水道事業者レベルでの対応や水使用環境が異なれば、求めた取水制限率と被害の関係を直接適用することはできないという問題を持っている。また、多々納ら²¹⁾は、減圧給水下の家計の水消費行動をミクロ経済学的にモデル化し、給水圧の削減が家計の水消費行動に与える影響を分析し、家計の厚生変化を推計する方法を示した。しかしながら、この研究は、減圧給水という極めて限られた状況しか想定し得ていないし、理論的な研究に留まり実証研究には至っていない。また、森杉ら²²⁾は貯水池の整備等による渇水頻度の低下による便益の計測を試みている。等価変分（equivalent variation）の概念を不確実性下の便益測定に応用している。この研究は事前的評価として option price とほぼ同様な指標を導出しているが、本方法はアンケート調査を通じて支払意思額を直接計量化しようとするもので、被験者が、自己に有利な申告を行うというインセンティブを持つため、実際の適用に際しては慎重な配慮が必要である。

(4) 今後の課題と展望

以上、ここでは、渇水対策に関する既存の研究・報告事例をレビューしてきた。その結果を踏まえ、研究上の課題を整理すれば以下のようである。

水利用の高度化によって、渇水が生じた場合の社会経済的影響は増大しており、水利用システムの安定性や信頼性に対する要請が高まってきている。

現行の水資源計画では、異常渇水のリスクを計画時点で考慮していないため管理場面にリスクが集中し、計画と実操作の間にかい離を生じている。そして、これが計画時に想定した渇水の頻度を実際には上回るような弊害を生じる一因となっている。このため、異常渇水のリスクを考慮した水資源計画が必要とされるようになってきた。

渇水のリスクを考慮した水資源計画・管理の方法論の構築のためには、水資源計画・管理のそれぞれの場面で決定される政策に対して、生活の質の向上を計量化するための経済的評価尺度の構成法や、渇水による被害を渇水時に行われる各種の政策に対応させて求める方法に関する研究やトータルシステムとしての渇水時の水利用システムの信頼性を推計するための研究が望まれる。

利水のみならず、治水・親水といった機能を含む広義の水資源計画に考察の対象を拡大しよう。この場合にも、信頼性や安定性、快適性といった地域住民の生活をとりまく水環境の質が問われているという点で、以上で取り扱った利水（渇水対策）の場合と本質的には同等な問題構造を有している。例えば、超過外力への対応やスーパー堤防の整備等、より信頼性の高い整備への要請が高まってきているし、親水護岸や洪水敷きの多目的利用等河川空間をより快適に使用することに対する要請、さらにはきれいな川や水への要請等は、河川整備が創出する水環境自体の質の向上に関する要請である。このような状況下では、まず、河川の流量や水質が基準を満たすかどうかといった議論よりも、むしろ、その確率分布自体の望ましさを評価することが求められる。この意味では利水安全度として社会がどのような確率（分布）を選択するのかといった問題も、リスク分析的視点からの極めて基本的な研究課題となろう。ただし、この種の根元的な問題に関しては、一元的な評価のみではなく、他の機能に関する影響を含めた総合的な評価も必要となろう。

4. 道路網整備計画問題に関するリスク分析的アプローチ

(1) 道路網整備計画・運用計画とクオリティオブライフ

道路網計画は、従来は量の供給を主要な視点において策定されてきたが、国民生活が豊かになるにつれて、道路利用者の道路に期待する機能に多様性が見られるようになってきた。岡田²³⁾は『変わりゆく社会のニーズ』と

して、道路に対する要請を段階的に i) 連結性, ii) 延伸性, iii) 到達性, iv) 迅速性, v) 安全性, vi) 快適性, vii) 信頼性, viii) 交通以外の目的, に分類している。社会資本としての道路がきわめて欠乏している場合には量的な要請であったものが、社会が豊かになるに従って次第に質的な要請に変化していくことが概念的に説明されている。道路の整備水準を表す道路網整備水準指標にも変遷がみられる。例えば、昭和 30 年代の初期の道路整備五箇年計画の頃は、1号、2号という最も幹線的な国道でさえ市街地の中心部を除けばすれ違ひが困難という状況であり、当時 24 000 km の国道のうちすれ違ひ可能な延長は 8 400 km で全体の 35%、舗装率においては 17% にすぎなかった。従って、当時の道路整備は主要な都市と都市を結ぶ国道をまずすれ違ひるようにすることが中心であり²⁴⁾、改良率、舗装率が道路網整備水準を表す重要な指標であった。しかし、その後交通量が増加し、改良済、舗装済の区間であっても交通需要に対応しきれない区間が発生してきた。このため、昭和 53 年度から始まる第 8 次道路整備五箇年計画から、整備率(改良済のうち混雑度が 1.0 未満の道路延長の比率)という指標が導入されている。現在でも、1 次改築事業においては、改良率、舗装率が論じられ、2 次改築事業では混雑度、整備率、走行速度、事故率等が事業採択の目安とされるなど、これらの整備水準指標は依然として重要な役割を演じている。しかしながら、これらの指標は道路ストックを量的に、あるいは道路機能を物理的・平均的に捉えることに重点があり、ユーザーの道路に対する質的水準の向上に対する要請には応えられなくなってきている。これに対し、経済活動の高度化に伴って道路網に対して質の高いクオリティ、サービスの安定性への要請が最近高まってきている。すなわち、需要の変動やプレに対して耐久力のあるシステムの構築である。例えば、交通量が多少変動しても、到達時間が保障される道路システムである。また、供給側の機能の変化に対しても同じことがいえる。自然災害や交通事故等でネットワークの一部が通行不能となっても、代替経路によってネットワーク全体としては機能する道路網づくりである。このように信頼性の高い道路システムへの要請は、無在庫管理を目指すジャストインタイム輸送²⁵⁾や災害に強い道路網づくりへの要請からもきている。従って今後は、道路網の質的水準を明示的に定義・記述して新たな整備水準指標とする必要があると考えられる。いいかえれば、交通需要と交通施設パフォーマンスとの相互作用でもたらされるサービスの水準およびその安定性の評価方法や、道路網をネットワーク論的に捉えた評価方法を、今後積極的に考える必要があると考えられる。

(2) 道路網信頼性の定義とリスク分析との関係

道路網信頼性は大きく分けて 2 つの方法で定義でき

る。1 つは連結信頼性であり、所与の期間中、道路網の任意のノード間において、あるサービスレベル以上の走行移動が保証される確率的指標と定義される。この信頼性は代替性の指標であり、ある経路が通行不能となっても、代替経路が確保されて円滑に目的地へ到達できる程度を表している。時間信頼性とは、所与の時間で目的地へ到達できる確率あるいは、ある確率で到達可能な走行所要時間の上限値(最大許容所要時間)である。この信頼性は、所要時間の安定性を示す指標であり、道路利用者に対し所要時間の正確性と迅速性の情報を提供する。

次に信頼性解析とリスク分析との関連性を考える意義を概観しておく。交通システム(特に、ネットワーク)の信頼性は、上述のように比較的自明な形で外生的に想定できる場合もあるが、むしろそうでない場合の方が多い。例えば、ネットワーク交通に関与する人間行動と交通システムとの相互連関が当該交通システムのマネジメントの良否を間接的に規定する。また、そのシステムを計画・管理する主体が行政であり、関係主体がマネジメントの良否をどのように認識し、選択し、受容するかという観点が不可欠になってくる。従って、交通ネットワークの信頼性解析を展開する上でも、リスク分析のアプローチをできるだけ取り込むことが今後必要であり、この点にリスク分析を考える意義がある。現在の信頼性工学が保全性やシステム安全性へと外縁を拡大し、それらの概念を新たな信頼性工学に包含するように展開しているように、道路網の信頼性解析も、より広義のリスクを包含する形でリスク分析へと発展する必要がある。

以上の議論を念頭におき、道路網の信頼性解析の研究レビューを行う。ここでは、いくつかの論文をレビューすることによって道路網信頼性解析の今までの歩みと今後の課題を述べる。その上で、リスク分析への新しい展望の可能性に触れ、今後の課題を述べる。ライフラインネットワークを含めたより多くの文献レビューは若林²⁶⁾に詳しい。

(3) 既往の研究：災害時における信頼性解析

道路網における初期の信頼性解析は、災害時を対象としたものが多い。これは、土木工学分野での信頼性研究が、当初は防災の観点から行われた経緯に依っている。すなわち、パイプライン、電力網、ガス・水道網等のライフラインネットワークに始まり、道路網もその一環として研究されたことに起因している。Fenves・Law²⁷⁾は、ネットワークの構成物の損害とサービス能力を地震強度の関数として予測している。そして、ネットワークのフローの期待値の最大値、最小値を求めている。この研究では単一 OD を対象に議論を展開しており、多 OD への適用性を課題としている。小林²⁸⁾は、グラフ理論に基づいた信頼性解析法を提案している。まず、各アークが導通確率をもつとし、2 点間サービスとしての連結信

信頼度を Inclusion-Exclusion principle で、また、全点サービスとしての連結信頼度を可到達性行列を累乗する方法で求めている。さらに、重要区間の抽出を導通確率に対する感度分析で行っており、またアーク数一定のもとで信頼度を最大とするネットワーク形成問題を列挙法で解析している。小林²⁹⁾とともに、道路網信頼性に関して種々の概念を提案し、示唆の多い先駆的研究である。川上³⁰⁾は、耐震性の立場から伊豆半島を対象に道路網の連結性をモンテカルロ法と可到達性行列を累乗する方法によって評価している。ここでは、交通容量と断面交通量を用いて、地震前後で変化する道路区間の機能分類を混雑度と犠牲度という2つの指標で評価している。しかしながら、これらの研究は、グラフ理論に基づく連結性評価に重点があり、その過程では、後に述べる交通の諸特性、特に交通量や利用者の選択経路を明示的に考慮することは必ずしも十分ではなかったといえる。また、道路網の連結性は、サービス水準を考慮せずに単に連結していればよいという立場でなされたものも散見される。榊谷³¹⁾は、ネットワークの信頼性を連結性能と機能性能に分けた上、地震が発生した場合の交通容量の減少程度をモンテカルロシミュレーションで求め、交通量を明示的に考慮するためカット行列、OD カット行列を用いて、道路網の機能性能を定量化している。評価指標は道路網容量と発生可能交通量である。

道路網の信頼性解析における別の問題点は、道路網規模の拡大に伴って計算機の計算時間や記憶容量が指数関数的に増大するという問題である。従来提案されてきた種々の解析手法に必要な計算量は、 2^l 、 2^p 、 2^k 、 N^l (l , p , k はそれぞれリンク数、パス数、カット数、 N はアルゴリズム³²⁾中の反復回数) のいずれかに比例することが明らかになっており³³⁾、近似解析手法においても同じ課題を抱えている。従って、これまでレビューしてきた論文では、小さなネットワークしか対象としていなかった。

高山・大野ら³⁴⁾、³⁵⁾は、災害時における道路網の連結性を対象として、計算を簡略化するためにトポロジー変換によりノードを集約し、ネットワークをいくつかの直列のサブネットワークに変換してノード間信頼度を近似計算する方法とツリー形成問題を簡略化するために部分グラフ集約法を導入し、全点間信頼度を近似計算する解法を提案し、実規模の道路網に適用している。木俣・石橋³⁶⁾は、災害時の緊急路網確保の観点から、緊急車両の基地と需要地点との間の連結信頼度を有向グラフにおける SAT 信頼性 (Source to All Terminal Reliability) で解析している。ツリー列挙における「漠大な数の問題」を解決するため、この論文では、Biconnected (2-連結) という概念でネットワーク分割して計算量を削減する方法を提案している。

(4) 既往の研究：平常時における信頼性解析

平常時における信頼性解析に重点をおいた研究としては、以下のものが挙げられる。

松本³⁷⁾は、旅行時間の変動を規則変動と不規則変動とに分類し、それぞれの変動が到着時刻の指定された交通に及ぼす影響を定式化し、Hall³⁸⁾が提案した遅刻確率と有効旅行時間のトレードオフの関係を利用して、道路交通の信頼性の評価を行うことを提案している。さらに経路選択や手段選択への影響を分析している。加藤・門田・浜田³⁹⁾は、2点間の信頼度を、所要時間の変動と安全余裕時間から求められる定時性を表す確率と走行速度の満足度の積で定義し信頼性算出の簡便法としている。さらに、論文では代替経路が複数個ある場合の信頼度算出法も提案している。論文では、簡便手法としてこれらの指標を統合しているが、これらを個別に議論した方が両者の比較という点でも望ましいと思われる。これらの研究ではトリップメーカーが、所要時間の変動に依存して出発時刻あるいは余裕時間を決定する過程を内包しており、人間行動を内包して利用者の立場から道路網の評価を行おうとしている点に特色がある。これは、著者が意味するところのリスク分析的アプローチの範疇に既に踏み込んだ研究であるということもできよう。

黒田・瀬賀・山下⁴⁰⁾は、都市高速道路の信頼性を信頼性理論でいうところのアヴェイラビリティを用いて評価している。ここでは、単位区間における交通事故発生に着目し、事故発生による機能停止確率と停止機能の回復確率の分布からアヴェイラビリティを算定する方法を提案している。リンクのアヴェイラビリティを交通量その他の交通指標から推計可能とした点に特徴がある。この研究では交通事故をとりあげているが、今後リンク信頼度と自然渋滞を関係づけることの重要性を論じ、そのため別モデルの開発が必要であると述べている。Ferrari⁴¹⁾は、信頼性を速度維持のための指標として考え、交通制御を行って停止発進を繰り返すことなく円滑な走行を維持することを考えている。この目的のために、一定時間内に速度の低下がある基準を越えない確率として信頼度 ϕ を定義し、 ϕ を交通量と密度の関数で表している。この研究は単路部を対象とした研究であるが、ネットワーク論的な信頼性解析へ発展させる点に課題があるように思われる。

(5) 道路網整備計画のための平常時信頼性解析の特徴

平常時の道路網信頼性解析の特徴は以下のようによまることができる。

まず第1に、交通では経路選択問題があり、ライフラインネットワークと異なって、ある経路が不通になっても、経路長が考慮されて迂回経路も限定されることである。したがって、経路選択行動を信頼性解析の過程で考慮する必要がある。

第2に、交通フロー変化によってネットワークパフォーマンスが変化することである。そのため、経路交通量が変化すればネットワーク信頼度も変化することをモデルに織り込む必要がある。さらに、利用者はユーザ均衡という個別最適原理で行動するため、システム最適を実現することが困難という問題もある。

第3に、シングルコモディティフローのシステムでは、供給点と需要点での流量の連続条件が保証されれば、どの供給点からのフローがどの需要点へ行ってもよい代替性のあるフローであるのに対し、道路網ではマルチコモディティフロー⁴²⁾の性質によりODフローが存在し、多数のODペアの信頼性を個別の選択経路を配慮しながら取り扱う必要がある点である。

平常時の信頼性解析に関しては、若林・飯田ら^{43), 44)}は、少数のミニマルパス・カットを用いる信頼性解析法が、実際道路網を対象とした場合に解精度と効率性の上で適切であると論じている。また、これらのパス・カットがネットワーク上の交通の経路やスクリーンラインに対応することから、実際における交通対策と結び付けて信頼性解析の結果が評価できることを述べている。そして、少数のミニマルパス・カットを選択し、プール演算によって信頼度の上・下限値を効率的に求めるプール演算法⁴⁵⁾、さらに計算効率を高めた交点法^{46), 47)}を提案している。さらにネットワークが大規模になった場合の計算方法^{33), 48), 49)}を提案している。また、交通量変動を支配的要因としたリンク信頼度推定法を開発し⁵⁰⁾、上記のプール演算法や交点法と結合することで経路フロー変化を考慮した信頼性解析法を構築している。この方法は、交通量が確率的に変動するという条件のもとで、平均交通量と交通容量から交通量の変動係数の推計を介在させてリンク信頼度を推計する方法であり、データ制約の多い予測や代替案比較に十分耐えられる信頼性解析法である。交通制御や交通規制による信頼性向上効果の予測等に利用可能である⁵¹⁾。最近では、これらの信頼性解析法を都市地震によって実際に損害を受けた道路網に適用し、地震前後の比較的長期の交通への影響を分析することで地震後にとり得る対策の評価を行おうとしている⁵²⁾。これらのアプローチは信頼性グラフ解析手法に基づくものであるが、交通量配分シミュレーションを用いた現象論的解析法等^{53), 54)}も提案されている。また、朝倉・柏谷・熊本^{55), 56)}は、四国道路網を対象としてリンク交通量の日変動を分析し、交通量配分シミュレーションを利用して連結信頼性と時間信頼性を同時に計算する方法を提案している。この研究では、交通量変動を道路網信頼性の支配的要因とする点では上記⁵⁰⁾と同じであるが、交通量変動の特性値を道路属性から数量化理論I類によって推定する点に特色がある。

(6) 信頼性解析からリスク分析へのステップアップ

にむけて

以上述べてきたように、道路網信頼性の研究は災害時と平常時という分類を行うと、前者を対象としたものが多くなっている。災害時の信頼性解析と平常時の信頼性解析とでは交通行動原理が相当異なっていることから数学的フォーミュレーション上の相違は起こり得ると考えられる。すなわち、OD交通の考慮や交通の経路選択等の行動特性のモデル化などにその相違点が現れてくるのではないかと考えられる。旧来の(システム工学的な意味での)信頼性解析のモデル化は、対象システムがwell-structuredで機械システムの性格を揃えていることを前提に行われてきた傾向がある。そして外生的に規定がしやすいシステムの「信頼性解析」のための理論展開が中心であった。これに対して、必ずしも従来の自明でない信頼性をリスクの視点から評価・選択・受容する主体の行動のモデル化は、交通現象や社会経済的行動規範についての新たな洞察や知見と異なるモデリングアプローチを要請するであろう。なお、旧来の信頼性解析のアプローチの延長線上で、今後検討していくべき課題に限っても、例えば、

- i) 道路網の形状評価と整備計画、
- ii) 交通規制や交通管理運用策への適用、
- iii) 所要時間信頼性問題への展開、
- iv) 道路網全体でみた信頼性設計問題

を挙げることができよう。これらの課題を解決するためには、大別して、i) システムのよりill-structuredな構造をどのようにモデル化し、解決していくべきかというシステム挙動の同定の問題と、ii) 同定されたシステムに対し、交通の管理運用策を通じてシステムの最適化を計る問題とに分けられる。前者はつまるところ、やはりリスク分析的アプローチの導入を要請することにつながるであろう。後者の交通管理運用策に関しては、従来の手法に加え後述の情報提供が目下脚光を浴びているが、今後情報提供を通じて計画者と利用者との新しい関係、すなわち従来ともすればシステム最適に向けて非協力的、対立的な面もあった両者の関係をより協力的なシステムに転換していく可能性を模索していく必要があると思われる。

(7) 運輸交通計画とリスクマネジメント：萌芽的研究の始動

土木計画学研究発表会(1992年)では、運輸交通計画とリスクマネジメントと題するスペシャルセッションが開催され、この課題に関する研究成果と今後の方向性が議論された。このレビューをすることで、広範に展開すると思われる今後の研究の方向性を垣間みることができると思われる。情報提供による交通運用策は上記研究課題ii)のうち目下最も脚光を浴びている課題である。質の高い交通サービスを提供することを目的とする以上は、ドライバーの経路選択は、選択に伴うリスクの評価

の問題として捉えることが有効であろう。一方、当該道路システムを主体的にマネジメントする側である公共主体は、ドライバーのそのようなリスク評価行動をどのように把握し、最も適切とみなしうる計画管理施策をいかに設計し提供すべきであろうか。これもまた、交通システムのリスクマネジメントの重要課題であろう。このような問題意識の下に展開されつつある研究として小林⁵⁷⁾および内田・飯田⁵⁸⁾のアプローチが挙げられよう。

小林の視点は次の点で独創的である。i) ドライバーは経路選択に伴うリスクに対処するにあたって、短期的には公共主体が提供する情報（メッセージの設計のされ方）に影響を受ける、ii) 長期的にはドライバーは学習過程を経て、走行条件としての「合理的期待」を形成し得る、iii) 経路情報の提供によるドライバーの経路誘導策を検討するためには、両者を同時に検討できるような分析枠組みを開発する必要がある、という以上の3点である。その上で簡単な計算事例を用いて、経路誘導情報の受け手（ドライバー）の行動を分析するための基礎モデルを提示しその有効性と今後の発展の可能性について展開している。

内田・飯田は、ドライバーの経路選択に伴うリスクを「旅行時間変動リスク」として捉えるとともに、そのようなリスク評価行動を想定した場合の道路システムのリスクマネジメントの方法について考察を試みている。その場合、平均旅行時間と旅行時間の変動に対処するためのドライバーの余裕時間（セーフティマージン）を考え、許容遅刻確率という意味付けが困難になりがちな確率測度を、生活上馴染み深い時間にともすれば変換している点に特色がある。論文では、公共主体が目安とするリスク最適配分と、ドライバーが自律的に形成する「リスク利用者均衡配分」の2種類の配分概念を提唱するとともに、そのギャップの存在を積極的に認めて後者を前者に誘導する戦略的な交通制御の可能性についての問題提起を行っている。また、飯田・内田⁵⁹⁾は、この研究の一環として本特集号に関連研究を発表している。

若林・飯田⁶⁰⁾は、所要時間信頼性の評価モデルを構築し、交通管理運用策による所要時間信頼性向上効果を定量化し、さらに動的な制御の可能性を考察している。ここでは、Hall³⁸⁾流の所要時間変動ではなく、所要時間変動の主要因をODフローの確率的変動に還元して表現している点に特色がある。旅行時間変動を交通管理者が何らかの形でコントロールしようとする視点は、先の内田・飯田のアプローチに通じるものがあるが、交通管理者からみた評価である点に特色があり、現実の道路網のODペアを対象に最短経路および上位数個の n 番目最短経路を取出して、所要時間信頼性を計算している点に特徴がある。ここでは、ドライバーのリスク選択行動は明示化されていない反面、実際の道路網を対象として一方

通行等を導入した場合の結果を所要時間信頼性規範による情報を用いてリスクマネジメントにつなげようとする意図がある。

喜多⁶¹⁾は、以上の研究とは視点を異にするものの、ドライバーのリスク評価を交通行動のモデルとしてフォーミュレーションする必要性と可能性について考察している点では、共通の視座に立っているものともいえる。その際、ドライバーの評価・選択するリスクとして「事故リスク」を取り上げている点に特徴がある。具体的には、高速道路オンランプ流入部におけるドライバーのギャップアクセプタンスに関するリスク評価・選択行動を取り上げ、基礎的なモデル分析を行っている。さらに、そのようなリスク行動を踏まえた上でのランプ設計上の指針についての2、3の知見を提示している。ここで論じられている交通リスクは、先的小林や内田・飯田が想定しているリスクに比べ、より直観的な意味での「危険概念」に近く、より局所的で個別的な交通リスクに関わるものといえよう。この意味で、それ固有のモデリングが重要になってくるものと判断される。

南・佐藤⁶²⁾は、災害時の道路の途絶の可能性を防災リスクとして取り上げている点に特徴がある。すなわち、異常降雨災害等における公共主体のリスクマネジメントの実態を交通・運輸システムを対象としてシステム論的に概観するとともに、特に道路の代替性の向上が防災リスクの軽減にどのようにつながり得るかについて、簡便な評価指標を提案して基礎的な知見を提案している。

以上述べた新しい展開はまだ萌芽的であり、今後の研究に待たなければならないところが多い。ともあれ、そのようなチャレンジが今後、質の高い交通基盤整備のありようを計画論的に検討していく上で、新しい突破口を築いていくものと期待される。

5. むすび

以上、本論文では、「生活の質」（の向上）が希求される時代にあつては、社会基盤整備の計画・管理にリスクマネジメントのパースペクティブが不可欠であることを指摘した。その上で、その計画・管理の方法論としての「リスク分析」の開発・構築が急務の課題であるとの立場から、研究レビューを行った。この結果、概ね次のようなことが示された。i) 対象が水利用計画部門であろうとも、交通計画部門であろうとも、リスク分析のアプローチは部門横断的に有用である。ii) 前者はその性格上、本論でいうところの「信頼性のマネジメント」について長い伝統と積み上げがあるが、「リスクマネジメント」の積極的導入にまで明確に踏み込んだ実績はそれほど長くはない。後者は、その整備の歴史的経緯を反映して、「道路整備の質」としての「信頼性のマネジメント」を取り組んだ計画・管理に本格的に移行しつつある段階だ

と判断される。従って、「信頼性のマネジメント」の段階からさらにもう一步踏み込んだ「リスクマネジメント」については、まだほとんど実績がないといえる。iii) 方法論的研究分野としてのリスク分析(信頼性分析を含む)は、それぞれの部門で基礎的・萌芽的研究が試みられ、それなりの実績を挙げつつある。ただし、むしろ今後に残されている課題が山積みしているといった方が妥当である。iv) 本来、社会基盤整備というコンテキストに縛られることなしに、個別の諸分野の経験的蓄積として知識体系化されつつあるリスク分析(信頼性分析を含む)を、これからは社会基盤整備のコンテキストで再構築していく必要がある。本論はそのための試論であるが、概念構築の厳密性や整合性の点できわめて不十分であることは認めざるを得ない。「社会基盤整備のためのリスクマネジメント」の概念構築は、それを拠り所にする方法論の開発・構築自体を規定するものであるから、恐らくこの点の克服が今後の最大の課題であろう。今後、この分野での活発な議論を期待したい。

参考文献

- 1) 岡田憲夫・小林潔司：研究展望：リスク分析的アプローチの共通性と多様性—リスク分析研究の新たな展開に向けて、土木学会論文集, No. 464/IV-19, pp. 23~32, 1993. 4.
- 2) 岡田憲夫：災害のリスク分析の見方，土木学会土木構造物委員会，「土と防災」講習会テキスト，pp. 61~78, 1985.
- 3) 岡田憲夫：シンポジウムの趣旨と今後の展望：社会基盤とリスクマネジメント，社会基盤整備とリスクマネジメント—情報の質・計画の質・生活の質（シンポジウム・テキスト），土木計画学研究委員会，pp. 1~6, 1992.
- 4) 今村瑞穂・中沢武仁・中村昭：濁水被害の分析と水管理への適用に関する研究，第24回水理学講演会，pp. 59~64, 1980.
- 5) 建設省河川局：河川砂防技術基準（案）計画編，山海堂，1985.
- 6) Nogami, K., Okada, N. and Ishihara, Y. : Real Time Operation as Part of the Integrated Regional Water Management System : A Systems Analysis. Case Study of the Tone River Basin - Experience in Operation of Hydrosystems, Water Resources Publications, pp.129~152, 1982.
- 7) 今村瑞穂・大内忠臣：水管理における利水安全度，第2回水資源シンポジウム講演集，pp. 503~508, 1982.
- 8) Hashimoto, T., Stedinger J.R. and Loucks D.P. : Reliability Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation, Water Resour. Res., Vol.18, No.1, pp.14~20, 1982.
- 9) Yeh, W, W-G : Reservoir Management and Operations Models : A State-of-the-Art Review, Water Resour. Res., Vol.21, No.12, pp.1797~1818, 1985.
- 10) 中安正晃・松下越夫：水資源計画におけるダムの位置特性に関する一考察，土木技術資料26-11, pp. 611~616, 1984.
- 11) 建設省河川局・土木研究所：濁水時における水供給施設の最適運用手法に関する研究，1986.
- 12) 宝馨：水資源システムにおける確率論的モデルと手法の評価に関する研究，京都大学博士論文，1989.
- 13) 今杉村淑人・大内忠臣：利水安全度と異常濁水対策に関する一考察，第42回建設省技術研究報告，1982.
- 14) 今田俊彦：異常濁水対策のための目標設定に関する一考察，NSC研究年報，Vol.16-10, pp.109~119, 1991.
- 15) 多々納裕一：濁水リスクの経済的評価法に関する研究—濁水対策プロジェクトに着目して，土木学会論文集, No. 464/IV-19, pp. 73~82, 1993. 4.
- 16) 平信雄：福岡市における濁水と今後の対策，水道協会雑誌，Vol.538, pp.42~47, 1979.
- 17) 小館英実：上水道送水系の最適運用の一方法とそのシミュレーション水道協会雑誌，Vol.510, pp.2~11, 1977.
- 18) 中川芳一・蔵重俊夫・小棚木修・清水康夫：濁水時給水管理手法の評価モデル，NSC研究年報，Vol.15-7, pp.93~102, 1990.
- 19) 建設省土木研究所：濁水時の水管理に関する計画学的研究，土木研究所資料，No.1509, 1979.
- 20) 建設省土木研究所：濁水被害の計測について，土木研究所資料，No.1502, 1979.
- 21) 多々納裕一・岡田憲夫・小林潔司：給水制限が水消費行動に与える影響に関する研究，京都大学防災研究所水資源研究センター報告，Vol.10, pp.43~59, 1990.
- 22) 森杉寿芳・大島伸弘：濁水頻度低下による世帯享受便益の評価法の提案，土木学会論文集，Vol.359/IV-3, pp.91~98, 1979.
- 23) 岡田憲夫：道路の整備度指標の諸問題と性能評価法の開発，高速道路と自動車，Vol.30, No.3, pp.17~25, 1987.
- 24) 鈴木道雄：道路の質的整備の方向，高速道路と自動車，Vol.22, No.5, pp.11~16, 1979.
- 25) 高橋清・佐藤馨一・五十嵐日出夫：時間信頼性からみた物流システムの評価に関する研究，土木計画学研究・講演集14(2), pp.47~50, 1991.
- 26) 若林拓史：道路網の信頼性解析に関する基礎的研究，京都大学学位論文，1989年12月.
- 27) Fennes, S.J. and Law, K.H. : Expected Flow in a Transportation Network, Proceedings of the 2nd U. S. National Conference on Earthquake Engineering, pp.673~682, 1979.
- 28) 小林正美：道路網・ネットワークシステムの信頼度解析法に関する研究，都市計画別冊，No.15, pp.385~390, 1980.
- 29) 小林正美：道路交通網の地震時信頼度解析に関する研究，都市計画別冊，No.16, pp.205~210, 1981.
- 30) 川上英二：道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法，土木学会論文報告集，No.327, pp.1~12, 1982.
- 31) 榎谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法，交通工学，Vol.19, No.5, pp.3~17, 1984.
- 32) Fratta, L. and Montanari, U.G. : A Boolean Algebra Method for Computing the Terminal Reliability in a Communication Network, IEEE Trans.on Circuit Theory, Vol.CT-20, No.3, pp.203~211, 1973.
- 33) 若林拓史・飯田恭敬・吉木努：ネットワーク限定手法による道路網の信頼性解析，交通工学，Vol.26, No.5, pp.9~18, 1991.
- 34) 高山純一・大野隆：連結性能から見た道路網の信頼性評

- 価法, 土木計画学研究・講演集11, pp.251~258, 1988.
- 35) 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12, pp.559~565, 1989.
- 36) 木俣昇・石橋聡：地震時緊急路網のシステム信頼性評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集6, pp.145~152, 1988.
- 37) 松本昌二：旅行時間の信頼性とその交通行動分析への応用, 第16回日本道路会議特定課題論文集, pp.10~12, 1985.
- 38) Hall, R.W. : Travel Outcome and Performance : The Effect of Uncertainty on Accessibility, *Transpn. Res.-B*, Vol.17B, No.4, pp.275~290, 1983.
- 39) 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4, pp.181~188, 1986.
- 40) 黒田勝彦・瀬賀康浩・山下智志：都市高速道路ネットワークにおけるアヴェイラビリティについて, 土木計画学研究・講演集11, pp.267~274, 1988.
- 41) Ferrari, P. : The Reliability of the Motorway Transport System, *Transpn. Res.-B*, Vol.22B, No.4, pp.291~310, 1988.
- 42) 交通工学ハンドブック, p.186, 技報堂, 1984.
- 43) 若林拓史・飯田恭敬：交通ネットワーク信頼性解析への信頼性グラフ理論適用の考え方, 土木計画学研究・講演集10, pp.125~132, 1987.
- 44) 飯田恭敬・若林拓史・福島博：道路網信頼性の近似解析方法の比較研究, 土木学会論文集, No.407/IV-11, pp.107~116, 1989.
- 45) 飯田恭敬・若林拓史：プール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法, 土木学会論文集, No.395/IV-9, pp.75~84, 1988.
- 46) 飯田恭敬・若林拓史・吉木務：ミニマルバス・カットを用いた道路網信頼度の近似計算法, 交通工学, Vol.23, No.4, pp.3~13, 1988.
- 47) Wakabayashi, H. and Iida, Y. : An Efficient Evaluation Method for Road Network Reliability in Disaster, *International Symposium on Natural Disaster Reduction and Civil Engineering*, JSCE, pp.397~405, 1991.
- 48) 若林拓史・飯田恭敬・吉木努：ネットワーク限定手法による道路網の信頼性解析, 交通工学, Vol.26, No.5, pp.9~18, 1991.
- 49) 若林拓史・片岡孝之・久末幸幸：道路網信頼性解析へのファジ理論の適用, 第5回ファジシステムシンポジウム講演論文集, pp.385~389, 1989.
- 50) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法, 土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.35~44, 1993.1.
- 51) Wakabayashi, H. and Iida, Y. : Evaluation of Reliability of Road Network for Better Performance, *Advanced Management and Future Network Design, Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering Proceedings of the Second International Conference*, pp.121~125, ASCE, 1991.
- 52) 若林拓史・亀田弘行：ロマ・プリアタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の交通サービスへの被害分析と交通運用策の評価, 土木計画学研究・論文集10, pp.103~110, 1992.
- 53) 飯田恭敬・若林拓史：ODパターンと道路網パターンの相違による道路網信頼性のマクロ的考察, 交通工学, Vol.23, No.3, pp.9~19, 1988.
- 54) 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13, pp.915~922, 1990.
- 55) 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7, pp.235~242, 1989.
- 56) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫：日リンク交通量変動の推定にもとづく道路網信頼性評価, 土木計画学研究・講演集13, pp.591~598, 1990.
- 57) 小林潔司：情報提供によるドライバーの経路誘導に関する研究, 土木計画学研究・講演集15(2), pp.85~90, 1992.
- 58) 内田敬・飯田恭敬：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, 土木計画学研究・講演集15(2), pp.91~94, 1992.
- 59) 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, No.464/IV-19, pp.63~72, 1993.4.
- 60) 若林拓史・飯田恭敬：交通管理運用策による道路システムの所要時間信頼性向上効果, 土木計画学研究・講演集15(2), pp.99~102, 1992.
- 61) 喜多秀行：高速道路流入部におけるドライバーの行動選択と事故リスク, 土木計画学研究・講演集15(2), pp.99~102, 1992.
- 62) 南正昭・佐藤馨一：道路の途絶と代替性の向上による対応, 土木計画学研究・講演集15(2), pp.95~98, 1992.

(1992.5.15 受付)

RISK ANALYSES APPLIED TO PLANNING AND MANAGEMENT OF INFRASTRUCTURE : A STATE OF THE ART SURVEY ON RESEARCH RELATED TO WATER RESOURCES MANAGEMENT AND HIGHWAY PLANNING

Norio OKADA, Hiroshi WAKABAYASHI and Hirokazu TATANO

This paper addresses the need for bringing in "risk analysis"-based approach to planning and management of infrastructure. Given the status-quo of the infrastructure developed in Japan, a shift needs to be made from quantity to quality management ; hence the growing need for controlling stability of service level for infrastructure. It is claimed that the proposed perspective of "risk analysis" meets much of the need. A state of the art survey is conducted to review research related to water resources management and highway planning. The paper concludes by referring to future research to be done within the proposed perspective of "risk analysis."