

特集論文(社会基盤整備のためのリスク分析) 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

岡田憲夫*・小林潔司**

本論文はリスク分析に関する本特集の一環として、土木計画学に関連の深い諸分野におけるリスク概念、分析方法論、研究課題についてレビューする。具体的には保険理論、企業経営論、信頼性管理論、保健・衛生学及び経済学をとりあげる。これらは同じリスク分析と呼んでも、アプローチやその背景にある考え方には多様性がある。本論文では次いで、本特集の関連論文についてその位置づけと特徴について概観する。最後に今後の社会基盤整備のための計画の分析方法論としてリスク分析が備えるべき要件と課題について言及し、今後の研究のパースペクティブについて展望する。

Key Words : risk analysis, risk management, state-of-the-art review, meta-methodology

1. はじめに

本論文はリスク分析に関する本特集の一環として、土木計画学に関連の深い諸分野におけるリスク概念、分析方法論、研究課題についてレビューすることを目的とする。もとより、リスク分析として確立した学問体系があるわけではない。現在、「リスク分析」という名称の下で、もともと研究分野や発祥の違う多様なアプローチのシステム論的な総合化が志向されている段階である。リスクという問題は、現行の「リスク分析・リスクマネジメント」に関する研究の枠組みには必ずしも納まりきれない領域の広さと奥行きを有している。逆に言えば、このことが、社会システムにおける「リスク」が有する問題の本質性と重要性を示していると言えよう。

本稿では、「リスク分析とでも呼ぶべきパースペクティブ」¹⁾を今後の土木計画に導入していく上で、「どのような既往の研究アプローチに着目すればよいか」という視点から、関連諸分野における「リスク分析」の方法について概観する。もちろん、リスク分析の方法論は確立していないが、社会基盤整備という基本的視座をそこに重ねたときに、土木計画学が志向すべき「リスク分析」の目的と方法がある程度素描することができよう。本稿の後半部では、土木計画学におけるリスク分析研究の見取り図について、筆者らの見解を示すとともに、本特集の関連論文の位置づけについて言及する。なお、社会基盤整備という具体的な文脈においてリスク分析的アプローチがどのように展開されつつあるかについては、本特集の岡田・若林・多々納²⁾のレビュー研究を参照されたい。

本稿では、まずリスク分析と関連する研究分野の源流をたどるとともに、それらの研究分野におけるリスク概念と分析方法について概括する。関連する研究分野として、1) 保険理論、2) 企業経営論、3) 信頼性管理論、4) 防災計画論、5) 保健・衛生学、6) 環境管理論、7) 心理学、8) 経済学、9) 政治学等があげられよう。このうち、本稿では保険管理論、企業経営論、信頼性管理論、防災計画論、経済学をとりあげる。保健・衛生学、環境管理論についても簡単にふれる。さらに、関連分野におけるリスク分析的アプローチの発展の系譜をたどりながら、土木計画学のフロンティア的視座を形成する上でリスク分析がどのような貢献をなすべきかについて筆者らの試論を提示する。そのうえで、本特集の各論文のリスク分析的な意義について説明する。もとより、筆者らの知識には限界があり、レビューし得る範囲や仕方に偏りがあることを予め断わっておきたい。

2. リスク分析的アプローチの概要

(1) リスク概念について

a) 企業経営論におけるリスク

企業経営(管理)論におけるリスク分析の先駆者であるFayol³⁾は、「マネジメントとは予測し、計画をたて、組織し、命令し、調整し、統制することである」と定義する。石名坂⁴⁾はこれを敷衍して、「危機管理(リスクマネジメント)とは、できるだけ少ない費用で組織に与えられる偶発的損失の不利益を最小化するため、組織の資産ならびに活動を計画、組織、指揮、統制するプロセスである」とした。また、Mehr and Hedges⁵⁾は経営目的は大別すると、survival, a quiet night sleep, good citizenshipの3つであるとした。石名坂⁴⁾はこれを引用して、企業のリスクマネジメントは2番目の「企業をとりまく諸環境から生じる不安、心配から解放」を中心課題として、1番目の「利潤、成長、効率を含めた

*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 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科

継続」と3番目の「企業の社会的責任と法の遵守」を達成するマネジメントであると定義している。リスクに共通する特性は、なによりも将来の出来事に関するものであるという点（リスクの将来性）にある。そこには不確実性が介在し、それを完全に統制することは不可能である。あらゆるリスクに共通する決定要因は、「管理の欠如」、「情報の欠如」、「時間の欠如」であるといえる⁶⁾。

Bannister and Bawcutt⁷⁾は、「リスクマネジメント」が対象とするリスクを、次のように分類する。すなわち、1) 生命や健康への危害あるいは物損をともなうもの、2) 瑕疵責任をともなうもの、3) 企業経営の失敗に見舞われるもので、さらに、これは操業停止・企業倒産、経営管理の不備、操業・管理の無駄に分けられる。4) 技術的な改変・選択(技術革新の成否、省資源・省エネルギー化の可否等)の適否が問われるもの、5) 社会的変化(消費者のニーズの変化、生活スタイルの変化等)の見通しやそれへの対応の適否が問われるもの、6) 政治的变化(政権交代、法律の改変等)の見通しやそれへの対応の適否が問われるもの、7) 自然環境の変化の見通しやそれへの対応の適否が問われるものである。経済的变化の見通しやそれへの対応の適否が問われるものを経済リスクとして分類する場合もあるが、これは上記の4)、5)、6)、7)に含まれると考える。以上は、企業経営論の立場からリスクの種類を分類したものであるが、リスク分析の立場から、リスクを「純粹リスクと投機リスク」、「自然系リスク、人間系リスク、人工系リスク」に分類する場合も多い。

b) 純粹リスクと投機リスク

好ましくない結果(負事象)の機会だけがあって、好ましい結果(正事象)が存在しないようなリスクを「純粹リスク」という。これに対して、正事象も負事象もマネジメント次第でいずれも起こり得るリスクを「投機リスク」という。純粹リスクは保険を掛けて危険を担保しうる(付保可能な)リスクと考えることができる。亀井⁸⁾は純粹リスクを loss only risk、投機リスクを loss or gain risk と称している。たとえば、水マネジメントのうち、洪水や渇水の制御は純粹リスクのマネジメントであると解釈できる。渇水時(非日常時)を除く日常時の水供給はどちらかと言えば投機リスクを扱っているとみなせる。需要に見合った水供給ができるか、(需要予測を間違えたり、システム故障が生じて)それができないかは、投機リスクのマネジメントの問題であると解釈できる。しかし、渇水時においても一定の供給水準は最低限保証できることが大前提で、その上により質の高いサービスを図るような場合には、少し事情が異なる。より高度な社会基盤システムの安定性を達成するためのマネジメントはむしろ投機リスクのマネジメントと考えることができる。

なお、水資源計画・管理の実務者の中には、水マネジメントをリスクマネジメントとみなすことに対して抵抗感が存在するようである。これは、純粹リスクであれ、投機リスクであれ、リスクマネジメントが「可能性としての負事象」の生起を想定していることに起因している。しかし、負事象の生起可能性を明記した上で、整備の必要性を説くことは住民・行政のいずれにとっても極めて重要であろう。しかし、科学的な立場でいうリスクという概念を社会が認知するに至っていない。負事象の生起がそのまま行政の失敗に短絡的に結び付けられ、Bannister が言う責任リスクを問われかねない。このことが、水マネジメントの中にリスクマネジメントを積極的に組み込むことに対する抵抗感となっている。

c) 自然系リスク、人間系リスク、人工系リスク

徳谷⁹⁾は純粹リスクの発生源に着目し、「自然系リスク、人間系リスク、人工系リスク」という分類法を提案している。徳谷は以下のように説明する。自然系リスクは、大気圏、生物圏および地圏から発生するリスクで、事前コントロールがむずかしい。したがって、自然系リスクの発生そのものを回避するというよりも、発生後の対策を事前に検討しておき、災害に備えておくことになる。この自然系リスクは、人間の生命を維持・存続させるための基盤ともなりうるものであり、そこから発生するリスクは、無差別、広域にわたる損失をもたらす。人間系リスクは、有機体としての人間そのものから発生するリスクであり、これは事前対策である程度リスクの発生防止をすることができる。しかし、デマやパニックは制御しがたく、始末の悪い代物である。人工系リスクは、主として人間によって作りだされたモノや機械に関連して発生するリスクである。ほとんどのリスクは、このカテゴリーに入る。人工系リスクは、自然的・偶発的要因によって発生するのではなく、むしろ操作ミスによって発生するケースが多い。この意味では、このリスクも事前に対策をすれば、制御できるものである。

(2) リスク分析の要件

以上は、リスクの1つの分類方法を示したに過ぎないが、リスク分析やリスクマネジメントが射程とする範囲やその趣旨をある程度理解できる。岡田は、システム論的な視点から、伝統的なリスク分析の要件を以下のように整理する⁹⁾。1) リスクマネジメントは対象とするシステムの環境条件やそこからのシステムへの入力・出力条件が将来にわたって何らかの形で変動することを想定して行われる。ここに、システムの環境とはシステムの境界の外部全体を指す術語で、自然条件を意味する環境とは異なる。2) 上記の分類は、システムの内部として具体的に何を想定するかではなく、システムの環境やシステムの入出力条件として何に着目するかにより決定される。3) Bannister et al. による分類の a) はシステム

の環境として人や生物の生命や健康を対象としたり、物体の破損・破壊を対象として扱うことを想定する。それらが変化し、当該システムに入力として作用する。システムの制御（マネジメント）の適否が結果としてシステムの性能の良否を決め、そこからの出力が結果としてシステムの環境を変化させる。4) 上記の各種の変動にはシステムの入力であれ出力であれ不確実性がともなう。5) システムの環境は、システムの制御主体にとって、直接に制御可能なものと、間接的にしか制御可能でないものに分類できる。間接的な制御方法としては、保険により危険を担保する方法や、モニター回路を組み込んだフィードフォワード・ループやフィードバック・ループを活用して、適応制御（事前・事中・事後対応）を図る方法などが考えられる。6) Bannister and Bawcutt の分類において 1), 2) は付保可能として保険の対象になり得る。

3. リスク分析的アプローチの多様性

(1) 保険管理論とリスクマネジメント

本分野は、企業経営論と並んでリスクマネジメントを主要な研究領域の1つとして育んだ長い歴史を持つ。その系譜にはドイツ経営学と米国のマネジメント論の2つの流れがある。第2次大戦後、保険の対象となり得る（付保可能な）危険のみではなく、企業危険全般に対するリスクマネジメント論が発達するに及んで、今日では米国流のリスクマネジメントが保険管理論や経営論の主流になっている^{10)~12)}。リスクマネジメントの対象は負事象に限定される。危険が生じると、それに対する対応の仕方次第で何らかの被害が顕在化し、負の便益としての損害が生じる。このとき、危険の生じる確率（可能性）を狭義にリスクという。あるいは損害の生じる確率をリスクと定義する。これは危険・損害の生起が確定的でなく、リスク制御のための対応の仕方次第で損害の発生の確率が異なることがリスクマネジメントの対象領域として想定されていることを意味している。また、不確実性には種々のタイプが考えられるが、ここでは計量可能な確率分布としてモデル化できることが前提となっている。

「危険事象」(peril) と「危険事情」(hazard) とを区別する必要がある。前者は、洪水、渇水、火災、爆発、衝突等の偶発的な災害や事件（事故）それ自体を指す。後者は、危険事象の発生する環境条件・要因全般を意味する。危険事象の生起が、そのままシステムの性能不全（システムの失敗）に結びつくとは限らないことに注意したい。たとえば、洪水流量（＝危険事象）の発生が、越堤や破堤、あるいは人命の損失や家屋の損壊などの損害に直接結びつくわけではない。システムの失敗の程度や頻度は、その直接の原因としての危険事象の生起に対して、システムを制御する主体がどのような対応をとる

のかによって変化する。システムの失敗の程度や頻度は、危険事情の状態にも大いに影響を受ける。ここで、危険事情とはシステムの環境条件や入出力条件のうち、制御の性能を有意に規定する諸条件を意味する。

保険管理論の1分野として発達してきたリスクマネジメントは、リスクに対応するための基本的類型を、回避（avoidance）（治水に例えれば、危険なところを避ける）と除去（elimination）（危険の元を絶つ）に分類する。後者は防止（preclusion）（ダムで堰止める）、結合（combination）（ダムと堤防の両方で防ぐ）、制限（regulation）（堤内地の土地利用の規制）に区分される。さらに、防止は予防（prevention）（大きなダムで集中的に堰止める）と、分散（dispersion）（小さなダム群で分散的に堰止める）に小分けされる。保健管理論では上述のリスク対応策を一括してリスクコントロールと称するとともに、それとは別の範疇の手段としてリスクファイナンスを考える。さらに、リスクファイナンスは、「リスクの保有」(risk retention) と「リスクの転嫁」(risk transfer) の2つに大別できる。前者は、災害などのための準備金、引当金、自家保険等の手段を指している。後者は、保険や共済、基金などに加入することによって財務的な損害の負担を第三者に転換する手段を指す。水マネジメントの分野でも、洪水保険や渇水対策基金などのリスクファイナンスに属するソフトな対応やそのための制度の設計も視野に入れることが必要となる。

(2) 信頼性管理論とリスクマネジメント

システム工学をベースとして発達してきたリスク研究分野を信頼性管理論と総称しよう。信頼性管理論は、複雑かつ緻密なシステムを対象とし、失敗（故障）が希にしかないようにシステムを設計・管理・運転することを目的とする。このような信頼性管理論の分野には信頼性工学や安全工学¹³⁾が含まれる。信頼性工学は確率理論、数理統計学、数理計画理論等を基礎とする^{14), 15)}。研究対象は、原則的に数学的定式化や解析が可能で構造が明確なシステムである。その場合、システムやそのコンポーネントの正常・異常状態を定義し、システムが正常状態となる確率をシステムの信頼度と定義する。狭義の信頼性の定義によれば、システムが異常状態であることはシステムの失敗であり、その概念は狭義のリスクの定義と一致する。これは、保険管理論におけるリスクの狭義の定義と照応する。信頼性工学が想定するシステムは数理的に解析可能な工学システムである。一方、保険管理論では物的システムであれ、人間系システムであれ、明確に付保可能なリスクを対象とし、保険経営が成り立つために危険大量の法則、危険分散の原則、危険同質性の原則が要求される¹⁶⁾。

信頼性解析において、より広義のシステム信頼性は、

システムが正常状態であることを特徴づける性能特性全般を指すことが多い。システムの性能の評価にあたって、損失の発生の評価基準をもちこむことにより、現在では（広義の）リスクマネジメントが対象とする領域にアプローチできるようになってきている。なお、システム信頼性をシステムの安全性と同一視する場合がある。例えば、水マネジメントにおいて計画安全度、管理安全度等を検討するときの安全度がこれに相当する¹⁷⁾。中川¹⁸⁾は、計画安全度は計画上設定された開発施設規模、開発水量のもとで計画通りの利水が可能となる確からしき、すなわち自然流量が確保流量（努力目標）を割った状態において貯水池からの供給が可能となる確からしきと定義している。同様に、管理安全度は計画通りの利水が可能でない状態において、開発施設の運用や節水などによって許容流量（固守目標）を充足する、すなわち水の不足による被害が許容限度以下にできる確からしきと定義する¹⁹⁾。水マネジメントにおける安定的供給、不安定取水等の用語では安定性と安全性を区別する。不安定取水とは、増大する水需要に緊急かつ暫定的に対応するために、水資源開発施設が将来に建設されることを前提に取水を認めるものであるが、流況が悪化したときには認められなくなる。システムが遵守すべき管理安全度を保証するために、当該の取水はシステムのサービス対象外に置かれる。この意味で目標水準のサービスが恒常的かつ確定的には保証されないことを不安定と呼ぶ。これは水システム全体からみると、システムの信頼性を低下させないための当然の対応であると言える¹⁹⁾。このように信頼性のマネジメントは基本的には、それが工学的・技術的に制御の対象となり得ることを前提にしたリスクマネジメントであると捉えるのが一般的である。

（3）保健・衛生・環境管理論

人命や健康の保全や増進を目的とする分野を取りあえず保健・衛生・環境管理論と呼ぼう。ただし、原子力関連事故のような場合、防災計画論の範疇に位置づけることも可能である。この意味で防災計画論と保健・衛生・環境管理論の区別は相対的かつ恣意的である。本範疇に属する研究アプローチとして、医学者や保健学者の問題意識に基づくものが特筆されよう。一連の問題意識やアプローチをリスク分析という概念枠組みの下で位置づけ、発展させようとする試みが顕在化したのは比較的最近のことである。米国では健康、安全、環境へのリスク問題に関心のある科学者が1980年にThe Society for Risk Analysis (SRA) を設立した。日本ではその支部が1988年に設立された。この方面で先駆的役割を演じた松原²⁰⁾は自身の問題意識の広がりの軌跡を次のようにたどっている。環境と人間とのかかわりを中心に据えたリスク研究に始まって、生命現象の営みの場である地球生物圏というマクロなところを経て、細胞間の分子化学

反応というミクロな場、そしてリスクを避ける対策を考える人間行動の社会的問題にまで広がってきたという。松原によれば、80年代以降、人々の健康に関する関心時は、健康を阻害する個々の要因をやり玉にあげるよりも、より健康的なライフスタイルの模索という点に移ってきたという。その上で、今後は基礎的な理工学的アプローチに加え、幅広い社会的・経済的アプローチが不可欠であると指摘している。この種の試みとして、池田ら²¹⁾は、医薬品の効能に関する情報提供と患者のリスク軽減行動との関係について論じている。このようなリスク情報提供のシステム化は、Wolfe²²⁾がrisk communicationと称しているものに該当する。これは専門家のリスクに関する知識や情報を、リスクの客体（被害客体や被影響客体）にどのように開放的にアクセスさせ、リスクについての適切な共通認識を形成するかというきわめて今日的な問題である。

4. 防災計画論におけるリスク概念と分析方法

防災問題は、地震や火山災害、土砂災害、洪水等の河川災害、渇水等の災害などいわゆる自然災害や、それから派生する関連災害や都市活動特有の事故から生じる都市災害やその他の人為的災害などを含んでいる。これらは程度の差こそあれ、生命や健康に致命的な損害を与える危険性を秘めており、致命的リスク（vital risk）と呼ぶことができる。これらの現象はリスクマネジメントの対象として直観的には分かりやすい。これらの各種災害とその対策としての防災は、それぞれが対象とする現象の固有性と特殊性、複雑性のゆえに、これまでの研究の大半がそれぞれを個別的・独立的に研究するアプローチに終始してきた。これらの現象を横断的に防災問題として一般化し、方法論を体系化することはほとんど試みられていない。また、防災を一括して計画・管理する公共主体が存在しないことも、わが国で防災計画論が育ってこなかった原因となっている。最近になり、都市耐震部門を中心としてライフラインシステムの信頼性を分析し、これを計画・管理するための科学的手法が開発されるようになってきた（例えば、亀田らの一連の研究^{23), 24)}を参照せよ）。また、計画論的な立場から岡田^{1), 2)}は既存のリスク分析技法が防災対策の分析・評価に有効であることを指摘している。また、市川²⁵⁾は治水計画を取り上げリスク分析的技法の導入の有効性を論じている。

5. 経済学におけるリスク概念と分析方法

（1）経済学におけるリスクの問題

これまで言及した研究分野におけるリスク分析は、あるリスクをマネジメントする主体の存在を前提として、それを克服するための戦術論を展開する点に主眼が置かれている。経済学では、リスク分析という問題意識

のもとで研究が発展してきたわけでないものの、経済学の発展の中で「リスク」概念は、常に重要な役割を果たしてきた。経済学は、社会・経済システムにリスクが存在する場合に生じる資源配分・経済発展の歪みを是正するための戦略論を展開することを旨としており、両者の間には、リスクに対する基本的な考え方に重要な相違がある。一方、期待効用理論等のように経済学の研究成果が、それぞれの研究分野におけるリスク分析の展開に貢献してきたことも事実である。また、今後のリスク分析の展開において、経済学におけるリスク研究の発展が大きな影響を及ぼすことは否めない。このような問題意識のもとで、以下では経済学におけるリスク研究の発展と今後に残された研究課題について概括する。

ナイト²⁶⁾以来、経済学ではリスク (risk) と不確実性 (uncertainty) を区別するのが通例となっている。ある事象にリスクが存在するとは、意思決定主体がその事象の生起状態を確定的には把握できないが、その生起状態をある確率分布で評価しうる状況を意味する。一方、不確実性とは、確率分布自体を評価しえない状態を意味する。ケインズは、その「確率論」²⁷⁾の中で、将来のできごとについての推定の基礎は不確実であり、多くは個人的判断に依存すると主張した。主体は、不確実な環境の中で意思決定をせざるを得ず、不確実な将来に対して何らかの期待を形成せざるを得ない。ケインズは、人の意思決定にかかわる期待の役割を重視した。さらに、短期期待と長期期待を区別し、長期期待を支配するのは予測に当たっての確信の状態であり、単に予測とか予測のための確率計算ではないと主張した²⁸⁾。以来、不確実性下で意思決定を行う人間の期待形成の問題は、経済学における中心的な課題の1つとなっている。近年では、合理的期待理論のように、期待を直接に測定できなくても、人間の不確実性に対する評価がある整合性の基準を満足していれば、結果的に人が確率を数値的に評価していると解釈できるようになってきた。この場合、リスクとは、ある主体が対象とする問題を認識し、主観的にしる何らかの判断に基づいて意思決定することができる状況と解釈できる。一方、不確実性とは、問題の明確な認識すら可能でなく、主体は何等かの動物的な直観に基づいて判断せざるを得ない状況を意味する。

社会の高度化に伴って意思決定に関わるリスクや不確実性が高まり、諸活動における情報収集の重要性が増加している。リスクが存在する世界では、1つの行為に対して複数の結果が対応する。人々は費用をかけて情報を収集し結果に対する期待を形成する。情報は事象の持つ曖昧さやリスクを減少させる効用を有する。リスクに直面した場合、2種類の行動が可能である。1つは、利用可能な情報に基づいて、不確実な状況に関する確率的信念を形成し、受動的・適応的に意思決定を行う行動で

ある。いま1つは、意思決定を延期し、不確実性を減少するための情報収集を積極的に実施する行動である。前者に関しては期待効用理論に基づく不確実性の経済学²⁹⁾の伝統がある。後者の典型例としては、ベイズ確率論に基づいた意思決定理論³⁰⁾がある。近年では意思決定時期の戦略的決定方法に関する研究が現れている³¹⁾。以下では、最近の経済学の成果の中から、今後の土木計画学の発展にとって重要と考える話題を選択し、既存の研究成果と土木計画学への適用可能性について言及する。

(2) 期待効用理論と社会的リスク評価の問題

期待効用理論は、フォン・ノイマンとモルゲンシュテルン³²⁾によりその公理的基礎が確立して以来、不確実性下での意思決定問題のための基礎理論として重要な役割を果たしてきた²⁹⁾。その応用分野は不確実性下の消費・生産理論、一般均衡理論、保険やオプション市場等実に幅広い²⁹⁾。トービン=マーコヴィッツ等^{33), 34)}による危険回避理論、アロー等によるリスクプレミアム理論^{35), 36)}を通じて、リスクと確実性が1つの枠組みの中で統一的に分析できるようになった。期待効用理論とそれに基づいた不確実性下での意思決定理論や行動理論は土木計画学の領域においても数多くの適用事例があり、その重要性については改めて言及する必要もないだろう。

一方で、アレのパラドクスに代表されるように、期待効用理論が抱えるいくつかの問題点が指摘されている²⁹⁾。期待効用理論はいくつかの公理に基づいて演繹されるが、このうち独立性公理 (関係のない代替案からの効用独立性) については多くの研究者により批判的に検討されてきた。期待効用理論の独立性公理に必ずしも立脚せず、本仮説の持つ限界点やパラドクスを克服するために「一般化期待効用理論」が開発された³⁷⁾。しかし、これらの理論は操作性に問題がある場合が少なくなく、期待効用理論に匹敵するような一般性のある理論は確立されていないのが現状である。期待効用理論のいま1つの限界は、リスクの種類が増えて2種類以上になると非常に錯綜した内容になってしまうことである。現在、2つ以上のリスクに直面した主体の意思決定問題について精力的に研究^{38), 39)}が行われているが、残念ながら解決できた問題はあまりにも少ない。

社会・公共システムのリスクの問題は、通常極めて多くの種類のリスクに直面している。土木計画学が対象とする問題の中には、防災問題のように稀少事象を取り扱う問題が少なくない。この場合、期待効用理論のパラドクスの問題に直面する。また、期待被害の最小化という課題とカストロフ回避の課題を期待効用理論の枠組みで解決することが極めて困難であることも指摘されている⁴⁰⁾。したがって、今後の研究方向としては、1) 期待効用理論で対処できる問題に関して問題解決のための研究・実践の蓄積を図るとともに、2) 期待効用理論で対

処できない問題に対しては、期待効用理論の分析枠組みの拡張を図ったり、3) リスクの処理に対する社会のコンセンサスを獲得する努力が必要であろう。

(3) 社会的リスクの事前的・事後的評価問題

現実の世界では、社会的リスクを解決するためにいくつもの制度が存在している。リスクを解決するための制度が必要かどうかは、1) 不確実性を市場がどこまで処理しうるか、2) 制度によりリスクをどこまで吸収しうるかに依存している。リスクを分散するためにはリスクをプールする必要があるが、1) プールへの参加者が少数で大数の法則が成立しない場合、2) 大数の法則が成立してもリスク間に相関があるためリスクが吸収できない場合、公共主体が何らかの政策・手段を講じる必要性が生じる。自然災害のように多くの主体が同時に同一の危険にさらされる場合には、公共主体によりリスク回避の方策を講ずることが不可避となる。

アローは、不確実な環境の下で市場がどの程度リスクを吸収しうるかという問題を分析した⁴¹⁾。彼はある特定の状況が生じた時に限りある対価を支払い、それ以外の状況が生じた時には何も支払わないという証券を考案し、可能なあらゆる起こり得る状況に対して証券を発行できれば、一般均衡を通じて最適な資源配分が達成できることを示した。アロー型証券が存在すれば、その保有者はある特定の状況が生じた事後において、事前に契約した支払いを受け取ることとなる。この場合、事前に取り決めた契約内容が、そのまま事後において確定する。現実にはアロー証券は存在せず、将来起こり得ぬかもしれないあらゆる状況を区別して処理できるような完璧な市場を創出することは不可能であり、市場で社会的リスクをすべて吸収することは不可能である。

リスクを吸収できるような完全な制度が存在しない時、事前になされた特定の行為が事後的には最初の思惑とは全然異なった結果を生む可能性がある。また、事前の最適な計画案が事後的には最適でない可能性が存在する。将来におけるリスクを完全に吸収できるような制度やシステムを設計できない限り、この種の事前・事後における最適性の食い違いはあらゆる種類の計画問題において生じる。事前・事後における最適計画案の不一致が生じる場合、事後において状況が確定したのちに、事前に決定していた計画内容や契約事項を変更したり、再取引を行おうとするインセンティブが生じる。このような機会主義的な行動が生じれば、当初に決定していた計画や契約内容自体が効力を失ってしまう危険性がある。

社会・公共システムのリスク・信頼性の問題を解決する場合、リスクに関わる事前評価と事後評価の結果の間のかい離をどのように克服するかが重要な課題となる。事前評価と事後評価の結果を一致させることができるような制度の設計が不可能な以上、われわれは次善の制度

や社会システムの設計を模索する必要がある。この場合、1) 事後における意思決定問題をとりこんだ形で事前の計画問題を定式化する、2) 事後に決定する意思決定領域の存在を認めたような事前の意思決定問題を定式化するという柔軟な対応が必要となる。Hammond⁴²⁾は事前・事後における意思決定の整合性の問題をとりあげ、従来の期待効用理論では動的に整合のとれた問題解決が不可能であることを指摘した。現在、Hammondによる問題提起に対して、事前・事後のリスク評価の整合性に関する研究が精力的になされている³¹⁾。事前・事後の意思決定の整合性の問題は計画の質とも密接に関連しており、土木計画論の発展のための基礎的な研究課題となろう。

(4) 情報の非対称性と社会的リスク

社会システムのリスクは自然的・技術的な要因の不確実性だけが原因となって生起するのではない。社会システムを構成する人々の情報が完全でない場合や、人々の間で情報が非対称的に偏在している場合にもリスクが生じる。社会・公共システムの開発において民間主体が果たすべき役割が増加しているが、公共主体が民間主体の行動を必ずしも完全には観測できないことから、民間主体が必ずしも公共の利益に見合った行動をとるとは限らないというリスクが存在する。アカロフ等^{43), 44)}は情報の不完全性を取引当事者間の「情報偏在」という形で捉え、非対称情報のもとにある市場行動や市場均衡の性格について分析した。その結果、主体間に情報の非対称性が存在すれば、道徳的危険、逆選抜、自己選抜といった変則的な行動が生まれることが明かになった。情報の非対称性から生じる市場の歪みや問題点を取り扱った研究が情報の経済学⁴⁵⁾という名の下に発展してきた。情報の非対称性が存在する場合、必ずしも均衡解が存在するという保証はない。均衡が成立しえたとしてもパレート最適性を満足するとは限らない。この場合、公共主体による政策的な誘導により、望ましい均衡状態を実現することが必要となる。また、情報が不完全である時には、当事者は相手方に対して選好順序や技術条件を正直に申告しないことによって、利益を獲得する可能性がある。たとえば、規則を作っても規則の遵守を監視するための監視費用が必要となる。このような行動を事前に防止し、民間主体の望ましい行動を誘発するためには、民間主体が自発的に公共の目的に沿った方向で行動するようなインセンティブシステムの設計が必要となる。特に、高度情報化社会においては、民間主体の行動の誘導をめざしたきめ細かな制度の設計が重要になってくる。この種の研究⁴⁶⁾は土木計画の分野ではそれほど多くないが、今後、社会・公共システムの効率的・効果的な整備・運営を実現するための望ましい制度のあり方について理論的・実践的に検討していくことが重要となろう。

6. リスク分析の今後の展望と本特集論文の位置づけ

(1) 土木計画学のためのフロンティア的視座

リスク分析の源流と考えられるいくつかの代表的な分野を選んで、その原義的なアプローチや概念構成の特徴に言及し、最近の研究の展開や方向性についてレビューした。リスク分析自体がまさに発展途上の新しい研究領域である。リスクという概念に対しても関連諸分野において多様な意味で用いられており、それを横断的・包括的に定義することは不可能である。しかし、関連諸分野における多様なアプローチの方法も、土木計画学という総合化の学としての視点から眺めればそこにある共通性を浮かびあがらせることは可能である。

従来から、システムの計画・総合化の方法論としてシステムズアナリシスがある。この方法論は多くの実践の積み重ねにより、その有用性が検証されてきた。一方で、技術革新や社会・経済・環境問題のグローバリゼーションの進展の結果、土木計画が高度な不確実性やリスクに直面するようになり、従来のシステムズアプローチの方法だけでは、十分に対応しきれない局面が生じている。リスク分析とは、その核としてシステムズアナリシスの方法を採用しながらも、高度なリスクに対応すべく計画方法論のあるべき姿について議論を展開するところに特徴がある。換言すれば、リスク分析は、システムズアプローチの新しい発展の方向性を示唆するとともに、計画システムを複数の分析システムを内部に包含するような複合的方法論として総合化するための指針やこのような方法論が満足すべき要件について体系的・科学的に議論するための有用な素材を提供してくれる。以下では、岡田論文²⁾に示されている問題提起をくみ取りながら、土木計画学のフロンティア的視座としてのリスク分析が持つべき共通性と一般性に関する筆者らの見解を提示したいと考える。

(2) 時間的次元とリスク問題の多様性

システムに関わる不確実性・リスクは種々の要因が原因となって生じる。時間的次元に着目すれば、人々の価値観・知識あるいは利用可能な技術等にかかわるリスク・不確実性が重要な要因となろう。換言すればシステムの構造補正リスク、構造変革リスク³⁾と対応している。短期的なリスク分析とは、基本的には既存のシステムの構造が保持されることを前提として、システムに生じた歪を補正したり、あるいはシステムの機能を高度化することに主眼が置かれる。システムの構造を補正する手段として、規制、制御、誘導等の手段が用いられる。システムの構造は基本的には変化しないため、構造をモデル化し、システムの機能の変化や将来の状態をある程度予測できる。従来の土木計画学が対象としてきた多くの問

題がこの範疇に属すると考えることもできる。

長期的には、システムの構造は変動する。システムの構造変化をもたらす要因の中で、重要な要因の1つは技術革新である。長期的なリスク分析の問題は、新しい技術の選択問題であるといっても過言ではない。技術とは、単にハードな技術だけを意味するのではなく、法・社会制度等に代表されるソフトな技術も含む総合的概念である。中・長期的なリスク分析においては、システムの構造変動を前提にしているために、必ずしも定量的な分析が可能であるとは限らず、定性的な思考実験が必要とされる局面も多い。システムの評価も、より総合的な視点からの評価が要請される。経済学におけるリスク分析は、この段階におけるリスクを念頭に置いている場合が少なくない。この範囲の問題を射程に置いた計画行為は、新しい技術の社会への応用・実践という意味を持っており、計画サービス⁴⁾の生産は新しい知識の創造という側面を合わせ持つ。この意味で、計画行為は一種のR&D(研究開発)と解釈できる。すべてのR&D活動が未知の知識・技術の探求に伴う不確実性・リスクを必然的に伴うのと同様に、計画行為にも同種類の不確実性・リスクが介在する。この種のリスクに効果的に対処するためには、リスク分析の観点から、計画方法論のあり方に關する議論を蓄積していくことが必要となる。

さらに、超長期的な視点からは、価値観・知識の発展に伴う不確実性が存在する。この両者の間には密接な関連があると同時に、われわれは将来の価値観・知識の状態を予測することはできないという基本的な不確実性に直面する⁴⁾。一方、技術は一度選択すると社会・経済・環境の構造を不可逆的に変化させる。この意味で、社会経済システムの計画は、長期的には予測不可能性(unpredictability)と不可逆性(irreversibility)という2つのアポリアに直面するといっても過言ではない。この問題は、短期的・中長期的なリスク問題においても程度の差こそあれつきまとう。不確実性・リスクに直面する計画問題が有する本質的な難しさがそこにあると考えることができる。

(3) リスク分析的アプローチの一般的要件

時間的次元に着目すれば、短・長期的なリスク分析が有する共通性・一般性を指摘することができる。これらの特性をリスク分析的アプローチが有する一般的要件としてとりまとめよう。すなわち、1) リスク分析の対象となるシステムは境界が、時間的・空間的に固定的でなく柔軟性を有している開放システムである。短期的には、システム構造補正リスク、長期的にはシステム構造変革リスクが存在する。2) 短期的には、リスクの根元事象の生起がシステムの構造を通じて、システム全体の性能の生起にプロセス変換される。根元事象、パラメータ特性ならびに出力事象には不確実性が介在する。根元事象

の生起の不確実性と多様性への対応が、リスク分析の前提条件とみなされる。短期的リスクの分析においては、関連諸分野の成果を取り入れながらシステムの機能の安定化と高度化をめざしてシステムズアナリシスを拡張していくことが課題となる。3) 長期的には、システムの計画は新しい技術の選択という問題を合わせ持つ。この場合、より総合的な視点からのリスクの評価・認知が求められる。また、計画行為は新しい技術・知識体系の創造という側面を合わせ持つ。したがって、R&Dとしての計画行為全体を統括し、システムズアナリシスの包括化のための指針を与え得るメタ方法論としてのリスク分析の発展が望まれる。この種のメタ方法論の展開に、経済学等の関連分野の発展が寄与できる部分がある。4) 超長期的にはシステムの予測不可能性と不可逆性という難問に直面する。このことはシステムの状態やその計画行為は、現時点の歴史的状況（技術の状態や知識の蓄積）に拘束されることを意味する。したがって、リスク分析において新しいシステムの構造や機能を、過去から将来に至る歴史的状況の中にかに位置づけるかが重要な課題となる。

(4) 各関連論文の概要としての位置づけ

a) 岡田の研究¹⁾

これについては既に触れたので、それがリスク分析をきわめて広義に解釈するとともに、土木計画のフロンティア的視座を切り拓くための計画原論について考察したものであることを指摘するにとどめる。

b) 岡田・若林・多々納の研究²⁾

社会的基盤整備を対象としたリスク分析の新しい発展の必要性と可能性を考察している。リスクが制度的・慣習的に担保され、自明または与件として位置づけられる場合には、リスクマネジメントはたかだか信頼性のマネジメントにとどまる。一方、社会的基盤整備の質がさらに厳しく問われる状況下では、社会的基盤のシステムの信頼性はもはや自明でも先験的でもありえず、信頼性そのものをリスクとして評価・選択・受容することが不可欠であると主張する。本節(3)の表現を使えば、対象とするシステム境界が時間的・空間的に固定でなく、柔軟性を有した開放システムとみなされる場合に相当している。この種のシステムはリスクマネジメントの視点から検討されるべきであり、そのための方法論としてリスク分析が有効になるとしている。この論文では、そのような視点から、具体的に社会基盤システムとして、利水システムと道路システムを取り上げ、研究レビューと今後の研究展望を示している。

c) 木俣・小間井の研究⁴⁸⁾

木俣・小間井の問題意識の根底には、計画原論的視点から、社会基盤整備のためのリスク分析的アプローチを構築すべきであるという問題提起がある。この意味では、

a) 岡田の研究と関連性を有している。本論文では橋梁補修計画という問題をとりあげてリスク分析の有用性を例証している。すなわち、1) 著者らが開発した情報システムの信頼性・信憑性を間情動的適合性という視点から評価する方法について検討している。2) 社会・公共システムの計画である社会基盤整備が人間の情報処理をベースとして構成されるため、その特性に起因するリスクが本質的に内在することを指摘する。計画の論理性や計画の制度化の正当性も、このような計画の側に起因する本質的リスクをいかに受容可能な形でマネジメントするかに依存している。3) 計画には、計画期から供用期、解体期にわたるライフサイクル軸が存在しており、この軸上での時間差に起因するリスクの情報処理がきわめて困難かつクリティカルであると指摘する。これは、時間的次元とリスク問題の多様性に関する著者らの問題提起であり、長期的計画が有している予測不可能性と不可逆性の2つのアポリアをどのように克服しようかという極めて本質的・根源的なテーマにも関わっている。

d) 黒田・浦屋の研究⁴⁹⁾

この研究は、大規模な空間利用計画を取り上げ、計画が実施段階にいたるまでに実行不可能となり破綻する危険性をリスクとして捉えている。この種のリスクマネジメントを有効に行うための対立リスク（コンフリクト）の調整方式についてゲーム論的視点から実証分析を行っている。このような問題提起とアプローチは次のような意味で社会的基盤整備のリスクマネジメントに新しい視座を提供している。1) 広域レベルでの空間利用に関心事とする主体と地区レベルでの空間利用に関心を寄せる主体との間で利害対立が生じるが、これは実施段階において計画を破綻させるリスクとなりかねず、コンフリクトの存在自体が潜在的なリスクとなっている。2) 事前の代替案策定時に対立リスクを可能な限り減少させる調整が不可欠であり、そのための受容可能な方法が示されなければならない。3) 対立リスクの解消もしくは減少の受容可能な方法が制度として成立するためには、広域的空間利用の調和を最終的に規定する対立調整ゲームのルールづくりが不可欠である。

e) 飯田・内田の研究⁵⁰⁾

この研究では、社会基盤施設として交通網システムに着目し、その計画・管理において、信頼性の保証が重要な検討課題となってきたことを指摘している。起終点間の連絡サービスにおける時間信頼性とその変動をドライバーがリスクとして認識・評価することを想定し、交通管理問題をリスクマネジメントとして分析している。この場合、道路システムの管理者からみた経路選択誘導問題（リスクシステム最適配分）と、ドライバーの立場に立った経路選択問題（リスク利用者均衡問題）という二種類のリスク配分問題を定式化できる。前者は管理者の

立場からみた理論上の最適な交通フローであり、交通管理のガイドラインと位置づけることができる。従って、前者と後者との間にはかい離が存在し、前者のガイドラインを目安として後者のかい離をどこまで埋めるべく有効誘導策が提示できるかが重要であると主張している。

f) 多々納の研究²¹⁾

この研究は社会的基盤として利水用貯蓄施設を取り上げ、渇水対策プロジェクトの実施がもたらす渇水リスクの変化(生活の質の変化)を経済評価する方法を提案し、以下のような理論的知見を得ている。1) 渇水対策の効果を、渇水リスクの変化に対する家計の享受便益として捉えるためには、家計の水消費行動をモデル化することが必要である。2) 渇水リスクの経済的評価問題においては、代替案の比較にあたって符号保存性や順序保存性が理論的に保証されているかどうかは鍵となる。3) このような基準に照らして、渇水対策プロジェクトの経済的評価にあたっては、等価的 option price を用いて、家計の享受便益を計量化することが望ましい。4) 簡単な水利用システムをモデル化することにより、貯水池の操作ルール設計問題に、上記の知見がそのまま当てはまることを例証している。

以上の研究は、社会的基盤整備のためのリスク分析の必要性と、その分析方法を提示することには成功しているが、各個別リスクの研究として今後の残された多くの課題があることは言うまでもない。リスク分析は、それが対象とする時間的次元と対応して多様な展開が要請される。しかし、そこにはリスク分析が、リスク・不確実性という問題を機軸とし、既存の計画技術や方法論を核としながらも、その計画方法論をさらにグレードアップするためのメタ方法論としての展開が要請されていることが以上の研究からも理解できる。

7. おわりに

本論文では、リスク分析に関わりの深い関連分野におけるリスク概念と最近の研究の展開や方向性について簡単に展望した。リスク分析的アプローチの基本的視座と方法論の枠組みは、決して確立されたものではない。研究分野ごとに方法概念や方法論に多様性や異質性が認められることも事実である。本研究ではリスク分析とは、システムズアプローチの方法を核としながらも、計画システムが直面する静的・動的な不確実性に対処するためにシステムズアプローチを、さらにそれを包含するような柔軟かつ複合的な方法論として発展させるためのメタ方法論であると位置づけた。さらに、このような視点から関連諸分野におけるリスク分析的アプローチの考え方や研究方向について横断的に紹介することを試みた。しかし、紙幅の都合上、多くのことを割愛せざるを得なかった。特に、生命や健康に関わる致命的なリスクにつ

いてはほとんど言及していない。およそ、生命や健康に関わるリスクに関しては、標本や確率・統計概念がどこまで適用できるのかという根元的な問題がつかまとう。この種のリスクには、保険管理論からのアプローチがあるが、そこではリスクファイナンスによるアプローチが主流である。特に、金銭タームでの割り切りができない問題を社会公共的な立場から論じる時、議論すべき課題は多分に価値論や倫理観に関わる内容にならざるを得ないであろう。以上、本稿で試みた研究展望は多分に偏りがあるという批判は当然ありえようが、リスク分析的アプローチにおける多様性と共通性を浮き彫りにできた点があれば望外の幸せである。

参 考 文 献

- 岡田憲夫：土木計画学の新しい課題とリスク分析的アプローチの可能性，土木学会論文集（本号），1992。
- 岡田憲夫・若林拓史・多々納裕一：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，土木学会論文集，No. 464/IV-19, pp. 33~41, 1993。
- Fayol, H. : General and Industrial Management, New York, Pitman Publishing Corp., 1949.
- 石名坂邦昭：リスク・マネジメント，pp.10~14，白桃書房，1980。
- Mehr, R.I. and Hedges, B.A. : Risk Management : Concepts and Application, Irwin Inc., 1974.
- 亀井利明：リスクマネジメント理論，中央経済社，1991。
- Bannister, J.E., and P.A. Bawcutt : Practical Risk Management, Witherby & Co. Ltd., pp.9~22, 1981.
- 徳谷昌勇：リスクマネジャー，東洋経済新報社，1980。
- 岡田憲夫：リスクマネジメントとしてみた水資源問題—課題と展望—，京大大学水資源研究センター研究報告，第12号，pp. 23~32, 1992。
- 亀井利明：危機管理論，中央経済社，1984。
- 石名坂邦昭：リスク・マネジメント，白桃書房，1980。
- 岡田憲夫：災害のリスク分析的見方，土木学会，「土と防災」講習会テキスト，pp. 61~78, 1985。
- Rogers, W.P. : Introduction to System Safety Engineering, John Wiley, 1971.
- 塩見弘：信頼性・安全性保証のカギ，故障解析と診断，日科技連，1984。
- 三根久・河合一：信頼性・保全性の数理，朝倉書店，1982。
- V. ビグネル，J. フォーチュン（寺本義也ら訳）：失敗のシステム，東洋経済新報社，1985。
- 池淵周一：渇水をめぐる諸問題，土木学会水理委員会・水工学シリーズ 87-A-2, pp. (A-2-3)-(A-2-5), 1987。
- 中川芳一：水資源の開発・配分計画に関するシステム論的研究，京大大学学位論文，pp. 42~59, 1984。
- 多々納裕一・岡田憲夫：水資源システムのリスクマネジメント—課題と展望—，土木計画学研究・講演集，pp. 43~46, 1991。
- 松原純子：リスク科学入門—環境から人間への危険の数量的評価—，東京図書，pp. 2~3, 1989。
- 池田二郎他：リスク情報提供効果の計測—医薬品副作用

- 情報がリスク軽減行動に与える影響，日本リスク研究学会誌，3 (1)，pp.77～83，1991.
- 22) Wolfe, A.K. : Societal Acceptance of Controversial Facilities : The Role of Two Public Participation Strategies -Negotiation and Risk Communication, in ed. by C. Zervos, Risk Analysis, Plenum Press, New York, pp.17～23, 1991.
- 23) 亀田弘行：近代都市の耐震対策，土木学会誌別冊増刊特集：新しい時代の防災—自然災害に対する新しい挑戦—，pp. 26～29, 1989.
- 24) 能島暢呂・亀田弘行：ライフライン系における地震防災システムの基本構造に関する考察，京都大学防災研究所年報，第32号B-2，pp. 89～109, 1989.
- 25) 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.
- 26) Knight, F.H. : Risk, Uncertainty and Profit, Houghton, Mifflin & Co. 1959.
- 27) Keynes, J.M., Moggridge, D.E. (eds.) : A Treatise on Probability, Vol.8, Collected Writings, Macmillan, 1973.
- 28) Keynes, J.M. : The General Theory of Employment, Interest and Money, Macmillan, 1936.
- 29) たとえば、酒井康弘：不確実性の経済学，有斐閣，1982.
- 30) 宮沢光一：情報決定理論序説，岩波書店，1971.
- 31) Bacharach, M. and S. Hurley (eds.) : Foundations of Decision Theory, Basil Blackwell, 1991.
- 32) Von Neumann, J. and O. Morgenstern : Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, 1944.
- 33) Tobin, J. : Liquidity preference as behavior towards risk, Review of Economic Studies, Vol.25, pp.65～86, 1958.
- 34) Rothschild, M. and J.E. Stiglitz : Increasing risk I, Journal of Economic Theory, Vol.2, pp.225～243, 1970.
- 35) Arrow, K.J. : Essays in the Theory of Risk-Bearing, Chicago : Markham, 1970.
- 36) Pratt, J.W. : Risk aversion in the small and in the large, Econometrica, Vol.32, pp.122～136, 1964.
- 37) Fishburn, P. C. : Nonlinear Preference and Utility Theory, The John Hopkins University Press, 1988.
- 38) Kirlstrom, R.E. and L.J. Mirman : Risk aversion with many commodities, Journal of Economic Theory, Vol.8. pp.361～388, 1974.
- 39) Sandmo, A. : Porfolio theory, asset demand and taxation : Comparative statics with many assets, Review of Economic Studies, Vol.44, pp.369～279, 1977.
- 40) 小林潔司：社会・公共システムのリスク—その経済的評価の方法—，土木計画学研究・講演集，No.14 (2)，pp. 59～62, 1991.
- 41) Arrow, K.J. : The role of securities in the optimal allocation of risk bearing, Review of Economic Studies, Vol.31, pp.91～96, 1964.
- 42) Hammond, P. : Consistent plans, consequentialism, and expected utility, Econometrica, 57, pp.1445～1449, 1988.
- 43) Akerlof, G.A. : The market for “Lemons”; Qualitative uncertainty and the market mechanism, Quarterly Journal of Economics, Vol.84, pp.488～500, 1970.
- 44) Spence, A.M. : Market Signaling : Informational Transfer in Hiring and Related Screening Process, Harvard University Press, Cambridge, 1974.
- 45) Laffont, J.-J. : The Economics of Uncertainty and Information, The MIT Press, 1989.
- 46) 小林潔司：都市開発のための最適信託契約に関する理論的研究，土木学会論文集，No. 440/IV-16, pp. 81～90, 1992.
- 47) Popper, K.R. : The Poverty of Historicism, Routledge & Kegan Paul, 1957.
- 48) 木俣昇・小間井孝吉：橋梁信頼性の経験的評価システムに基礎を置く補修計画のリスク認識に関する研究，土木学会論文集，No. 464/IV-19, pp. 43～52, 1993. 4.
- 49) 黒田勝彦・浦屋玲：対立リスクを考慮した空間利用計画モデル，土木学会論文集，No. 464/IV-19, pp. 53～62, 1993. 4.
- 50) 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.
- 51) 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.

(1992. 5. 15 受付)

A STATE-OF-THE-ART REVIEW OF RISK ANALYSIS-APPROACHES, PROGRESSES AND PROSPECTS

Norio OKADA and Kiyoshi KOBAYASHI

This paper makes a critical review of the state-of-the-art of “risk analysis”. It is shown that there have been a variety of approaches that have been developed under the category of what we may call “risk analysis”. An attempt is made to compare a set of approaches based on risk analysis which come from different disciplines such as insurance theory, business administration, reliability engineering, medical science, and economics. Their progresses are discussed, and their natures and characteristics examined. The paper concludes by referring to the need for developing a frame of reference at meta-level to support systems-analysis-based planning. Some prospects are suggested to establish the field of risk analysis.