

土木工学における不規則現象とその評価*

全国大会実行委員会

この研究討論会は予定どおり 11 月 6 日の定刻 16 時 30 分に開始され、榎木亨阪大教授のあいさつがあり、引き続き司会者の前おきののち、3 人の話題提供者によって前刷資料（土木学会誌 55—9, 1970.9, pp. 39~50）の順にしたがって、合計約 1 時間にわたって、それぞれ解説的な説明が述べられ、それから 1 時間近くにわたって以下のような討論が行なわれた。出席参加者は 300 人を越え、会場は終始満席に近い盛況で、定刻の 18 時 30 分に本討論会は無事終了した。

司会 それではこれから討論会に入ります。ただいまの話題提供の先生方のお話の内容に対するご質問、ご討議あるいは皆様方ご自身のご意見を伺いたいと思います。はじめに全般的なこと、それから計画、水工学、構造工学という各分野から見た問題について討議をいただければと存じます。まず全般にわたる総合的問題、共通的問題についてご発言願います。

栗林 長尾先生にお伺いいたします。40 ページの表 1-1.1 の中で不確実性を伴う問題を細かく分析されていますが、われわれが計画をする場合、社会条件に支配される問題が最も不確実でとらえにくい問題であろうと思います。こういう問題を自然条件、経済条件、社会条件としてならべて扱ってよろしいかどうか。つまり本来、

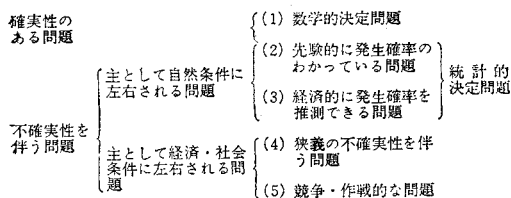


表 1-1.1 不確実性問題の分類

* 司 会	京都大学	後 藤 尚 男
副 司 会	大阪大学	神 田 徹
話題提供	京都大学	長 尾 義 三
同	京都大学	岩 垣 雄 一
同	東京大学	伯 野 元 彦
発 言 者 (発言順)		
建設省	栗林 栄 一	京都大学 吉川 和 広
京都大学	山田 善 一	国有鉄道 佐藤 吉 彦
建設省	飯田 裕	大阪大学 前田 幸 雄
名古屋大学	島田 静 雄	神戸大学 西村 昭

性格として不確実なものは、それらをどのように扱えばよいかについてお伺い致したいと思います。

長尾 この表はイメージを整理するためにつくったといいましたが、このように明確にならべて表示できるかどうかは私自身疑問であると思っています。ただ deterministic に定まる問題とそれ以外の問題に分けられるということ、後者はさらに先験的に確率が与えられているような問題、あるいは過去のデータを集積し、その中から一つの法則性を見出ししていくことができる問題と、そうでない問題とに分けることができます。確率解析の方法は交通現象や社会現象にも用いられていますが、大部分は自然現象の説明に用いられているということで、この表のように示しました。次に、経済、社会条件に左右される問題としてならべて示したのは、これらの問題においては、人間の選好性が非常に強く作用し、性格上いわゆる確率的な問題として取り扱うのが非常に困難であり、また、客観的に整理しようにも過去のデータの集積がないような場合が多い、という意味でこの表のように分類したわけです。学問的な分類法と主張できるまでに至っているとは思っていません。

司会 長尾先生の計画面についてのお話についてのご意見を承わりたく思います。

吉川 私どもが計画の問題を取り上げる際、ランダムな問題がその大部分を占めています。計画というものが将来のわれわれの行為を合理化するために、現時点において作成するものであるという認識に立つならば、どうしても予測を伴わねばなりません。そこには、W. Keilhau がいう可動未来と偶然未来が考えられますが、偶発未来のように人間の意志では左右できない未来があると、当然不確実性が存在する領域のもので、われわれが計画という行為を行なわねばならないということができると思います。また、長尾先生が指摘されたように、計画は主体的なものでありますから、どうしても社会科学的問題、人間と人間をとりまく物理的、経済的、社会的な環境の問題が関連してきます。そこで、自然科学のみならず社会科学をも基盤として、その上にたつて、われわれは未知の不確実な部分を含んだ問題に取り組んでゆかねばならないと考えています。そして、計画は意志決定過程を含んでいるという点で、水工学、構

造工学とは違っているのではないかと思います。

先ほどの討議にもありましたが、自然現象の解明においては、確率が先験的に既知の場合、あるいは経験的に発生確率が推測できる場合がほとんどだと思いますが、社会現象がかかわりあってくる場合には、それが混んとしているのではないかと考えます。すなわち、社会現象とか人間を中心にした計画を考える場合、われわれが計画主体の計画行為というものでさかのぼって一つのマイクロ分析を行なってゆく立場においては、当然、計画のためにとる資料の不確実性に基因する相対的な頻度が問題になってきます。そのような不確実な状態における相対的頻度は確率ではなく、ご承知のとおりエルゴード定理によってエントロピー一定という条件においてのみ論理的に相対頻度は確率という概念と一致するわけでありますから、長尾先生はそのような場合をさして、相対的頻度に基づき推定された確率、すなわち主観的確率を規定されているのだと思います。すなわち、計画における意志決定の問題に関しても、そのような確率法則が先験的に既知であり、ランダムネスが中心となる問題以外に、確率は未知であるが相対的頻度から確率を推定するような問題にまで計画の科学化は、その領域を拡張してきているということを、長尾先生はお示しになっていると思います。

司 会 長尾先生、ご意見をお願いいたします。

長 尾 土木計画の分野では因果関係の追求ということとはほとんど不可能であり、確率論をもとにしてものごとを考えてゆきます。その場合に、先験的に確率が与えられている場合とか、データの集積から法則性を見つける場合などの統計的決定理論が用いられていることを申しましたが、最近にはさらに、確率論を適用できるかどうかは問題があるが、主観確率というものをを用いてやってゆくという研究の方向にあることを申しました。この場合、相対頻度を足がかりにする場合と、精度をあげる意味に使うが、主観そのものを定量化することに重きをおく場合もあります。それから、確率論をもととしない、不確実性に対応する別なアプローチが、さらに考えられているということを終りのほうで若干触れたわけです。

司 会 ありがとうございます。ほかにお願いします。

山 田 吉川先生から、計画面の問題と水工学、構造工学の問題とは非常に違うように思うとの発言がありましたが、長尾先生の内容を拝見しますと、全部の問題を一括して論じておられると私は解釈しております。こういう見方をすると、計画と設計、施工という区別ははっきりつきにくくなってくると思いますが、どうでしょうか？

長 尾 伯野先生も述べられたと思いますが、結局、設計、施工を通じてこういう思考過程は同じでなかろうかと私は考えております。それから私の考えでは、土木工学の中で狭い意味の計画だけで計画ができるものではないと思っていますし、42 ページの事例で述べたとおり、設計、施工あるいは施設の管理などを通曉して考えなければ計画自体が不可能となります。そのように、トータル・システムという観点からも、あるいは個々の計画を考えても、一般的な意味で構造設計や種々の調査に対処する態度とは、根本的には違わないものと考えております。

司 会 ありがとうございます。ただいまのご質疑の内容は、不規則性あるいは不確実性に関して計画、水工学、構造工学に共通性があるのかないのか、というご議論で、これは結局どの程度共通性があるか、という問題であるかと思いますが、それにつきまして岩垣先生、伯野先生ご意見がございましょうか？

岩 垣 私が特に水工学において取り上げた問題は、主として設計上の機能的な面に関するものであります。その機能を十分に果たすべき構造物がそれに耐えうるかどうかという問題については、あまり述べておりませんし、これは伯野先生の範囲であると思うわけです。特にこの機能的な面だけを取り上げたという点で、全体から見れば少し片寄っているかもわかりません。

伯 野 二つ類似点があると思います。一つは、たとえば 39 ページの 図-1.1 に土木計画のプロセスが示されていますが、入力源と出力集合の因果関係のある手法で追求することは構造工学のほうでも全く同様に行ないます。たとえば 47 ページの 3.1 で不確実な外力が入力であるし、応力または変位が出力であります。したがって、こういった手法そのものはかなり共通している点があると思います。いま一つの類似点については、個々の構造物を設計するだけでなく、今後は都市とか構造物あ

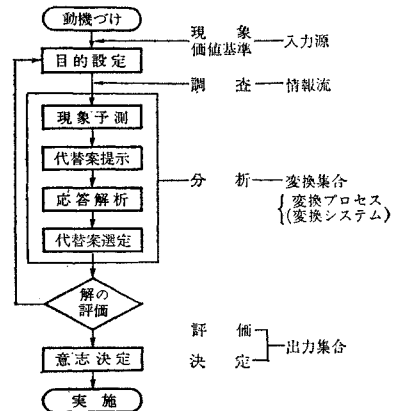


図-1.1 土木計画のプロセス

るいは、その他のあらゆる機能をも含めて設計しなければならないことが出てくるものと思います。たとえば、岩垣先生が述べられた防災計画は、洪水だけではなく、地震や火事をも対象とする場合があることから考えますと、構造物一つだけを設計するのではなく、広い観点からの設計も必要になってくるので、その点非常に共通部分があると思います。

吉川 先ほどの私の発言は、構造工学や水工学の問題は現象を中心にして考えることだけを念頭におきましたが、山田先生のご質問を設計システムというように理解しますならば、当然、解析的な問題、評価の問題、そして総合化の問題を含まなければならないと思いますので、私は計画も設計もその基礎にある概念としては同じものになるのではないかと思うことをつけ加えさせていただきます。

司会 いろいろと貴重なご意見ありがとうございました。さらにご意見をお願いします。

佐藤 いまお話のありましたこの三論文の位置について申し上げたいと思います。長尾先生の計画学で対象とする問題は、本来、人間の力が非常に大きくなり自然界をも凌駕するようになりつつあるときに、社会設備システムを自然と調和させて、いかにしてつくってゆくかということで、これはトータル・システムの設計の問題であります。これに対して、水工学の岩垣先生のお話は環境要素を強調されています。長尾先生の場合のような社会設備システムをつくる場合に、このような環境要素がどのような影響をおよぼすかという特性を検討することであると思います。伯野先生の構造工学の問題は、以上のような社会設備システムをつくる場合に、おのおの構成要素がどのような性能をもつかを具体的に検討する手法であると解釈しているわけでありました。もちろん、このような系をいずれもブラックボックスとして考えてしまえば、すべて同じということになってしまうわけですが、取り扱っている内容には非常に違いがあると思います。

ところで長尾先生にお伺いしたいのですが、計画学で従来扱っている場合には、不確実性とか不規則性とかの問題は含んでいますが、ある幅の中で論じられているように思います。ところが、現在われわれが取り扱わねばならない問題は、10年～30年という未来に対する問題であります。ここで前提とされるのは、むしろ発明、発見を前提とするシステムであり、この場合には非常に次元の異なった不確実性が入ってくると思います。こういった問題を計画学ではどのようにお考えになるのか、私としては疑問に思っているわけです。いま一つは、こういう計画をする場合に、システム工学的な価値、つまりその性能、費用、工期、信頼性およびフレキシビリティ

などの点が一番のポイントにならないといけないと思いますが、今回伺っている限りでは、あまり触れられていないという疑問を感じます。以上、二点について長尾先生にお伺いします。

司会 佐藤さんのご見解と同時に、長尾先生に対するご質問ですので、よろしくお願いします。

長尾 今回の話題提供の範囲は特に限定されなかったもので、土木計画においては、トータル・システムの中の問題としてとらえ、水工学、構造工学のほうではその中のサブ・システムの問題としてとらえている違いがあるということですが、全くそのとおりでと思います。扱う分野の差と、問題の取り上げ方で異なっていると思いますが、一貫して流れている物の考え方においては差異がないと先ほど申し上げたわけですが、ご質問についてですが、次のように考えたらどうでしょうか。すなわち、計画は二通りあり、一つはフレーム・ワークあるいは前提条件が与えられていて、目的に到達するために手段をいかにして、どのように配列すればよいかというような計画(How to do)、もう一つは価値の発見、社会づくりあるいは発明、改革というようなことを前提とするような計画(What to do)。これは話題提供の際に計画の研究分野には二つ考えられ、一つはソフトの計画でもう一つはハードの計画だと申しましたが、このことで答えになっているのではないかと思います。若干補足しますと、39ページのシステム・プロセスのチャートで申しますと、ブラックボックスがハードの計画に対応しますが、システム・デザインとか計画の分析とか申します。実際にわれわれが現在主力をあげてやっているのは、このハードの中の開発であります。ところが、たとえばゆたかな国土、住みよい都市をつくるかといったコムプレヘンシブ・プランニングの問題になりますと、動機づけの段階の価値観の問題に始まって、最後の評価決定の出力のところまで高次元の不確実性の問題が非常に重要なものになってくるわけです。この場合、意志決定の機構の問題も含まれてきます。これは広い意味では土木計画の範囲であり、土木技術者として当然考えなければならない問題であると思います。しかし、これは境界領域の研究分野でもあるので、土木工学の独占的な範囲であるということにせず、経済学や社会科学の研究者と相提携して、このような分野を今後開発してゆくことが必要だと思います。これが、改革、発見につながるソフトな計画の分野の発展の方向ではなかろうかと思えます。

そして、私の考えといたしましては、この目的設定が行なわれたハードの部分に対して合目的な方法追求を行なってゆく、たとえばその実例が41ページに出ています。高潮対策事業についていえば発生確率50年の外力を考えて、50年の耐用年数の施設を単一系列でつく

る場合には、その計画システムの信頼性は式(1.8)から約37%と計算されます。そこで、信頼性37%のシステムでよいのかどうか、ということになります。先ほど岩垣先生の説明にもありましたように、さらに外かく堤防を築くとか、堤防内の地盤をかさ上げするという並列システムを考えれば信頼性はどのように高まるか、また、外力の想定を上げた場合あるいは構造物の強度を上げた場合にどうなるだろうか、ということが定量的に求められてくると、そこで計画の信頼性とか効率あるいは弾力性というものが、論議の対象となるだろうと思います。評価基準を、たとえば経済性によって規定するならば、同一の費用で効率あるいは有効度が最大になるシステム、また便益最大、費用最小のシステムを採用するといった具合に、ハードのほうの計画論はいくらでも進展させていけるかと思えます。この分野の研究が進めば、これをサブ・システムとして長期のコンプレヘンシブなプランニング、すなわちソフトの計画の方法論を開発する場合の大きな支えになると思えます。

司会 この種の問題に議論はつきないかとも思いますが、時間の関係上次に移らせていただきます。

飯田 ある現象の不確実性とか不規則性を予想してある決定をしたあと、実際に起った事実(現象)が不確実性といった問題に寄与すると思えます。たとえば構造物の場合には、完成時の強度はよくわからない、ある幅を持っているということでありますが、それについてテストをすることにより不確実性、不規則性の幅が狭くなるのではないかと思います、その点についてお教え願いたい。

伯野 テストをすれば不確実の程度が少なくなるのではないかと、というのはごもっともなご意見でありまして、実際にそのようなことが行なわれている分野もかなりあります。たとえば飛行機、ロケットの分野では個々の部材の強度をテストしたのちに実際にそれを使いますので、その部材が何キログラムまでもつかということはおわっているわけです。そして、降伏点に近いところまでテストを行なって不確実な要素を少なくしています。土木の場合にそういったことを、どのように行なうかは現在研究の段階で、その方法をプルーブ・ロードテストといいます。

前田 伯野先生におうかがいします。最後のページの問題点に「資料不足の一語に尽きる」と述べておられますが、これはまことにもっともなこととして、49ページの図—3.3においても一番問題になる裾野のデータが少ないということでもあります。しかし将来、構造物の材料を扱う方法が種々のテストをされるときに、このようなばらつきに留意されるならば、また公共構造物の荷重あるいは外力についても統計的資料の集積に留意するな

らば、漸次資料が集まるだろうと思います。そうすると、統計的資料をもとにして確率論で処理できる不規則現象の計算、たとえば破壊確率の計算は可能であると思えます。しかし、それ以外に構造物を設計する者にとりまして、先ほど長尾先生が述べられた主観的確率あるいはイリノイ大学のProf. Angが提唱するジャッジメント・ファクターによって表現されねばならない、確率論によって処理できないものが、残された問題となってくるわけです。以上二つの問題について、ご意見をお伺いいたします。

もう一つお伺いしたいことは安全性のことですが、イギリスの統計資料によれば、イギリス人が毎年電気毛布の故障で焼け死ぬ確率が 10^{-6} 、また自動車と自動車を使って旅行したときに毎年死者の出る確率がそれぞれ 10^{-6} と 10^{-4} 、アメリカの資料によれば、コンクリート構造物の破壊確率が 10^{-3} ~ 10^{-5} 、鋼道路橋とか鉄塔の場合は 10^{-4} ~ 10^{-6} であるという資料があります。つまり、われわれは、すでにそのような安全性あるいは換言すれば危険性の中に生活しているの、伯野先生がここに取り上げられた安全性の検討におきましては、安全率あるいは安全性の概念を明確にする必要があると思えます。そのような安全性の決定というものは、長尾先生が述べられたように、別の決定機構によって行なわれるべきものではないかと考えております。以上について、伯野先生にご意見を伺いたいと思えます。

司会 前田先生のご討議について伯野先生お願いします。

伯野 私にはちょっと手におえないようなむずかしいご質問です。最初の不確実性の問題、ただいまの安全性の問題に関しては前田先生と全く同じ点で私も困っているというのが正直なところです。外国でもこの問題について研究されておりますが、私どももそれを知らうとしている最中です。

司会 討論の順序というものは、あってないようなもので、全く標度どおり不規則に計画、水工、構造へと討議が移ってしまっているようですが、引き続きお願いします。

島田 不規則現象の解釈ですが、私のコメントを発言させていただきます。私は不規則現象に対する扱いを二つに分けて考えるほうが便利ではないかと思っております。その一つは、不規則現象、あるいは、とにかくわけのわからないものを学問的な形で処理して筋道のたつものを求めるという一つの数学的もしくは実験的方法の研究ということです。もう一つは、それを応用して、どのように意志決定をするかという問題、この二つに分けることができると思えます。

具体的な事例を申し上げます。私は大学で学生に実験

をさせますが、学生はミスをしますので実験データのあ
るパーセントは使いものにならなくなります。したがっ
て、新しい実験を計画するときには、それまでの統計的
なデータをもとにして安全率を見込んだ計画をいたしま
す。テストピースを5本つくればよいのを実は10本ぐ
らいつくっておきます。2本ぐらいミスをしたも実験の
結果には支障がないというような意志決定をしております
。問題は、そのときに安全率をいくらにすればよいか
ということであります。テストピースを余分につくると
は経済的負担になります。したがって、その損害に対
する危険負担を計画の段階で見積っておかねばなりません
。その際、実験が失敗すれば大損害をこうむるのであれ
ば安全率を上げ、損害が小さければ安全率を下げるとい
うように、その決定にあたっては経済性がからむと私は
思っております。また、経済性のほかに責任の問題が
あると思います。先年、十勝沖地震で新しい建物が壊れ
て古い建物が残りました。新しい建物は新しい規準によ
っていたのでありますが、この場合、新しい建築規準を
つくったオーソリティーに対して損害賠償を請求するとい
うような社会的な風習が育つ必要があるのではないかと
私は考えております。

したがって、われわれが大学で研究する範囲は、やは
り不規則現象の解明を学問的に処理していくというこ
ろまでであり、最後の決定の段階では、われわれの手を
離れるのではないかと私は考えております。

司会 島田先生ありがとうございます。残り少
なくなりましたので、西村先生2、3分でご意見を承われ
ればと存じます。

西村 伯野先生にご意見を伺いたいと思います。橋
梁の破壊例を調べると、吊橋の耐風安定による破壊もあ
りますが、そのほかに脆性破壊の例が多くあります。脆
性破壊を見た場合に、それを設計面でどの程度考えてい
たか、ということが問題ではないかと思ひます。本文に
述べられているほかにも、脆性破壊の面で不規則現象に
類するものがあるのではないかと、またそれに対してどの

ようにお考えになっているか、ご意見がありましたらお
伺いしたいと思います。

司会 伯野先生、簡単にお願ひ致します。

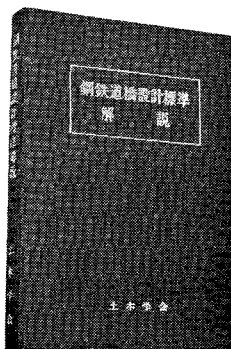
伯野 西村先生は、わが国でこの方面で最も進んだ
研究をされていますので、西村先生のお考えになってい
ることをご紹介いただければと思うくらいです。私の申
し上げようとしているところは、脆性破壊を含めた種々
の破壊形式によって、それぞれデータを揃えなければなら
ないということでありまして、ただいまご指摘になっ
た脆性破壊については、まだそれほど研究されていない
のではないかと私は思うのですが……。

司会 どうもありがとうございました。定刻の6時
半がちょうどまいりました。まだまだこのような問題に
つきましては討議が尽きないことと存じますが、この学
会の期間中にでもご意見を交換していただければと存じ
ます。本日の研究討論の内容は取りまとめて土木学会誌
に登載させていただく予定になっています。司会者の不
手際の点、討論がうまくいったかどうか、はなはだ心も
となない次第ですが、これで終らせていただきます。最後
に話題を提供して下さいました3人の先生方はじめご討
議下さいました皆様方、またここにご参加下さいました
全部の皆様方に対しまして深く謝意を表したいと思ひま
す。どうもありがとうございました。

討論は以上のように約1時間にわたって熱心に行なわ
れ、関心を引く題目だけに会場は終始満席に近くなり
盛況であった。第Ⅱ部と第Ⅳ部の講演会場がこの討論
会の会場とは別の場所となっていたためか、水、計画関
係で本題目に関連深い方々のご出席がいくぶん少ないよ
うに感ぜられた。また題目のせい、発言が結果的には
大学、官庁に限られた形となったが、こうした問題にも
民間技術者からの発言を今後期待したいものである。本
討論会を企画された学会関係者に敬意を払うとともに、
司会者の微力を謝する次第である。

(後藤尚男/神田 徹・記)

土木学会刊行物



鋼鉄道橋設計標準解説

A5・380ページ・上製 定価 2000円 会員 1800円(〒110円)

1. 国鉄の規程体系, 2. 建造物設計基準規程, 3. 建造物設計標準(鋼鉄道橋)解
説および付属資料, 4. 鋼鉄道橋関連規程, 規格目録の4部に分けて収録したもので、
日本国有鉄道の委託をうけて研究した成果を中心に詳細に解説を加えた最新のスタン
ダード。