

建築論 6 工学の本質的構造 —安心と自由の葛藤—

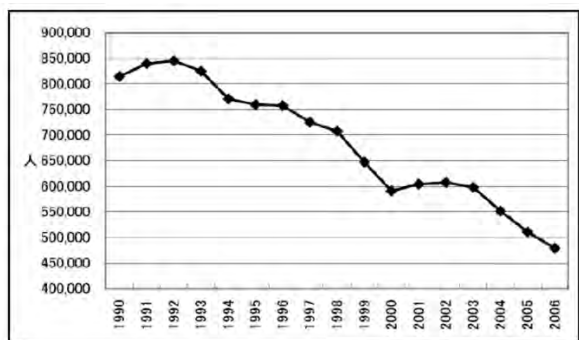
岡田成幸

関係する見学・研修

キーワード

幸福度、効用、悪構造問題、トレードオフ、意思決定、ラブラス基準、功利主義、モデル化、シミュレーション、コンプライアンス、ハンムラビ法典、市場メカニズム、LPHC、アクセプタブルリスク、技術的安全、社会的安心、インフォームドコンセント、社会的ルール、道義、倫理規定

工学部建築都市コースへの分属おめでとう。大学での1年間、かつて教養部とよばれた高等教育機構におけるリベラルアーツ教育を経た今、君たちは『建築』、もう少し大きく捉え『工学』という専門領域にどのようなイメージを持って、今ここにいるのでしょうか。冷や水をかけるようで恐縮であるが、まず、図1を見て頂こう。高校生を対象とした工学系学部志望者数の推移調査である。見事な右肩下がりを見せている。工学を将来の職として志望する日本の若者が減ってきているということである。この図を見て何を感じただろう。



出所)産学官連携ジャーナル(2009)

図1 工学系学部志望者数の推移

少子高齢化により大学志望者数が減少しているからではない。別の資料に依れば、1990年から1998年まではむしろ大学受験生(入試センター試験志願者数)は毎年5万人増の増加傾向にあり、それ以降は横ばいである。工学系志望者が激減している実態がある。高校生がもつ工学に対するイメージ調査の結果が以下である。

- ・工学は泥臭く、油まみれで単調なライン生産。
- ・工学は暗く、オタクっぽい。
- ・工学は給料が安そう。
- ・工学はそもそもイメージがわからない。

残念ながらネガティブイメージが並ぶ。戦後日本のめざましい発展は工学(技術)が支えてきたはずなのに、そして現政府も日本は科学立国を標榜しているにもかかわらず、それを支える若者に見向きもされないのはどういうことであろうか。日本の義務教育制度の中に、「工学・技術」は残念ながら含まれていない。工学とはどういう専門領域なのかを教えられぬまま、日本の若者は大学受験を迎える。将来の選択肢に工学や技術が上がってこないのは宜なることである。この流れに反旗を翻す本を2冊紹介しておこう。



前間孝則(2004):
技術者たちの敗戦、
草思社文庫。



今野浩(2015):
工学部ヒラノ教授と昭和の
スーパー・エンジニア
森口繁一という天才、
青土社。

共にエンジニア賛歌の本である。戦後から昭和の時代におけるエンジニアの熱い闘いが描かれている。

前置きが長くなった。本稿の主題は、工学とは—もちろん建築も含まれるが—どういう専門領域なのか、何を目的とした学問領域なのか

について思索を深めてもらいたいということにある。建築を学ぶ者全てに、建築を学ぶ前に知っておいてもらいたいこと。それは「工学」は人類に幸せを供与するが同時にリスクを生産しているということである。工学の目的に隠されたリスクと、工学的手法を使うが故に避け得ないリスクについて解き明かし、リスク生産と隣り合わせにある「工学」を遂行する上で「リスク」から人々を守るために技術者が守らねばならない社会的ルール、すなわち倫理綱領とその上位概念について解説する。私の専門は地震防災計画であるが、防災の考え方の支柱を与える。3年次に開講される「地震工学」の助走とを考えてもらってもいい。

1. 工学の本質は二律背反

社会学者ジグムント・バウマンから指し示された解決不能の命題がある。安心^{◆1}と自由は人間にとり不可欠な権利であるが、同時に成立することは絶対にない。暴漢が怖いのなら家から出るな。社会学者は言う。安心とは「コミュニティ」に帰属することであり、それは個人のアイデンティティ（個性性と言う自由）を捨て去ることである。つまり個人としての自由を求めるなら、自らを守ってくれるコミュニティに帰属することはあきらめねばならず、それは安心を捨て去ることに等しい。人間にとっての不可欠な2つの権利が両立しないとは、なんと悩ましいことか^{◆2}。実は、この悩ましい二律背反こそ、工学においても本質なのである。

2. 工学の目的

工学の目的、すなわち工学が求めるものは何であろうか。工学（あるいは技術と言ってもいいであろう）は、当然であるが人間の存在があって成立するものである。自然科学を営む研究者は“自然”を客観視し、自然から離れた位置に自分を置き（すなわち自然の中の自己の存在に斟酌することなしに）そこに潜む法則性を探っていく学問であるのに対し、工学を営む者は人間社会の中に主体として自らが入っていき、自らも研究対象を構成する社会の一員と位置づけている。人間あつての学問であり、よって工学の目的は人間の幸せを追求する学問^{◆3}と言わしめるのはそのことによっている。人文科学との違いは、人間幸福の追求の方法論として、エネルギー資源を能動的な「陽」の形で利用するか（工学）それさえも受動的な「陰」として扱うか（人文科学）の違いである。

問題はここからである。求めるべき人間幸福は一意に決めることができるであろうか。人間の価値観は多様である。求めるべき幸せが人によって異なるのであれば、何を目的にすべきなのか。万人共通の幸せがないのと同様に、工学は万人を幸せにする学問ではない。工学には自然科学（理学）が求めているような「真理（誠の道理）」はない。人間が求める遷ろう「欲求」こそが工学の求めるゴールである。工学の目的を式の形で記述すると、式(1)となる。

$$\lim \text{幸福度} = H\left(\sum_i U(\text{効用}_i)\right) + \varepsilon \rightarrow \max \dots(1)$$

◆1 バウマンが言う安心とは社会的脅威からの隔絶を意味しており、安全の概念を包含しているようだ。元々、安全と安心とは異なる概念ではある。すなわち、安全とは技術的安全を言い、安心とは社会的安心を言う。本稿最終章で補足する。

◆2 建築における安心と自由の葛藤についての補足説明：

建築行為においても、安全確保を第一に考えると建築制限が厳しくならざるを得ない。それは自由な建築設計を許さないことに直結する。しかし建築家は、そのことをあまり窮屈には考えてはいない。ある制限（条件）の中で設計することこそ、建築行為だと認識しているからである。しかし、制限が厳しくなりすぎると、画一性が優先され、設計の自由度が奪われるのは事実である。

◆3 工学の目的は人間の幸せの追求である。私の専門は工学的防災であり、防災が考える人間の幸せとは、普段からの Well-being 状態の実現である。防災を災害時に特化させないことこそ、真の防災の姿と私は定義している。詳細は3年次の地震工学で解説する。

ここに、 H : Heaviside step 関数（幸福感を序数化するための階段関数）、 U : 各種効用を数量化する幸福感感度関数、 ε : 個人間の誤差。

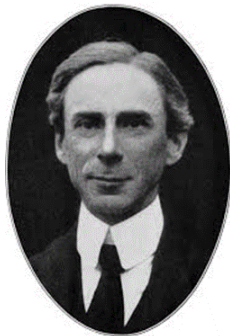
効用とは、幸福を成立させる各種要因であり、それらの総合として幸福は成立する。たとえば、バートランド・ラッセルは個人的幸せについて、①食と住、②健康、③愛情、④成功、⑤尊敬が充たされることと定義しており、ジョセフ・スティグリッツは地域の幸せを①住宅、②収入、③仕事、④コミュニティ、⑤教育、⑥環境、⑦市民参加、⑧健康、⑨生活満足、⑩安全、⑪バランスの視点を要素にあげている。

幸福を与える建築の成立要素をあげるなら、以下となろう。

- ・ウィトルウィウス（建築家・ローマ時代紀元前1世紀）：①強、②用、③美。
- ・岡田光正（住宅論・大阪大学、1973）：①構造的性、②利便性、③快適性、④表現性。
- ・神田順（建築構造学・東京大学、1997）：①構造、②造形、③機能、④経済。

最近の建築に求められているものは、以上に加えて、安心（security）・安定（stability）・継続性（sustainability）及び何らかの不利益に対する個人補償（compensation）、そしてこれらが保証（warranty）されることであり、これを福祉性（welfare）という。

工学の目的は総合としての幸福を MAX にすることであるが、であるのならこれらの要素を全て MAX にすることが万人にとっての幸福度 MAX になるのかというと、そうはならない。人により幸福に対する要求は異なる。建物一つとってみても、安全を優先するのか機能を優先するのかにより、設計方針が真逆になることもある。この関係性を **trade-off** と言う（図2、3参照）。工学は価値観のトレードオフで意



バートランド・ラッセル
1872-1970



ジョセフ
スティグリッツ
1943-



図2 トレードオフとは



図3 トレードオフの例

表1 問題の種類

Well-structured problem 良構造問題	
・システムのゴールと解決のための方法論が明確化 ・従来手法で理論的かつ数量的に取扱が可能 ・基本的に演習問題（解決方法は既知） ・問題点：大量データの効率処理	
（例）単一目的：従来の工学システムにおける意思決定 総体の意思を反映しない独断的決定法	
・経済合理主義的対費用効果優先策	
意思決定 = $\lim(\text{対費用効果}) \rightarrow \text{MAX}$	
・人道主義を掲げる右翼的環境主義者の短絡的基準	
意思決定 = 安全最優先（COX 排除最優先、動物愛護最優先）	
Poor-structured problem 貧構造問題	
・定性的に問題点が把握できるが、定量モデル化が困難	
Ill-structured problem 悪構造問題	
・システムが多目的で相互矛盾し、ゴールが見えない ・モデル化はもちろん、システムの特徴の定性的把握も困難	
（例）多目的最適化：多目的（多価値論）の中で、システムの最適解を求めなければならない極めて難解な問題	
・人間を対象とする問題⇒多価値論 ・個と公との利害関係（stakeholder：利害関係者）の調整⇒トレードオフ	

思決定を求められる悪構造問題である。表 1 に解決すべき社会問題を類型化し、それぞれの特徴を記す。良構造問題とは既往技術で解決済みの問題であり、今後我々の前に立ちはだかるのは、単一領域のみでは解決不能な文理融合による工学的解決策を模索しなくてはならない悪構造問題である。問題の理解及び解決の難解さ・関わる学問体系の広がり両軸において悪構造問題は良構造問題を凌駕している (図 4)。

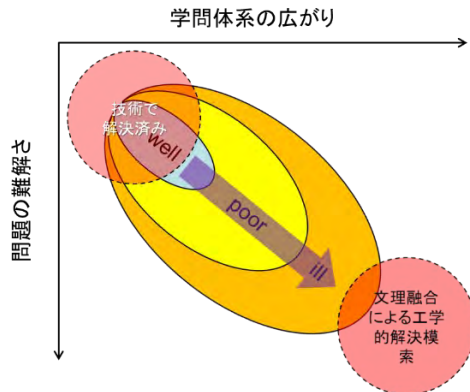


図 4 良構造問題から悪構造問題へ

3. 意思決定問題

ではトレードオフの条件を突きつけられた時、工学は何に行動原理を求めれば良いのであろうか。ただ単に要求に流されているだけでは問題解決にはならない。工学的に参考となるものとして、ゲーム理論で扱われる意思決定モデルがある。代表的な意思決定基準を以下に示す。幸福度を算出する一般式(1)をもう少し具体的に示す。幸福度基準を U とおき、それを司るある種の効用を u_{ij} とおく。ここに、 i は行動(施策)を意味し、その行動によりもたらされる状態を j で表す。今、効用 u_{ij} は以下の表 2 で与えられたとしよう。これは、ある行動 i をとった時に定まる各状態 j の効用値 u_{ij} を意味している。たとえば、施策 a_i ($i=1,2,3$) を実行した時に会社 j ($j=1,2,3$) がそれぞれ得る利益を効用 u_{ij} [億円] とする。世の中の会社の利益分布が表 2 の時、どの施策が好ましいかの基準を戦略的に考えるのが工学のアプローチである。

(1) 功利主義基準 (ラプラス基準)

最大多数の最大化を選択する基準である。

$$U_L(a_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij} \rightarrow \max \quad \cdots (2)$$

例題では、3 つの状態 (3 会社) の利益の平

表 2 ある行動により得られた効用の例

	状態 1	状態 2	状態 3
行動 a_1	0.7	0.9	0.0
行動 a_2	0.2	0.5	0.8
行動 a_3	0.5	0.5	0.5

均値を最大にする戦略であり、

$$U_L(a_i) = \left[\begin{array}{c} \frac{0.7+0.9+0.0}{3} \\ \frac{0.2+0.5+0.8}{3} \\ \frac{0.5+0.5+0.5}{3} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0.53 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{array} \right] \rightarrow \max = 0.53$$

$\therefore$ 行動 a_1 を選択する。

(2) 平等主義基準 (ナッシュ基準)

平等性を志向する選択基準である。

$$U_N(a_i) = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m u_{ij}} \rightarrow \max \quad \cdots (3)$$

例題では、それぞれの幾何平均を計算し、

$$U_N(a_i) = \left[\begin{array}{c} \sqrt[3]{0.7 \times 0.9 \times 0.0} \\ \sqrt[3]{0.2 \times 0.5 \times 0.8} \\ \sqrt[3]{0.5 \times 0.5 \times 0.5} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0.0 \\ 0.43 \\ 0.5 \end{array} \right] \rightarrow \max = 0.5$$

$\therefore$ 利益分布が均等な行動 a_3 を選択する。

(3) 悲観主義基準 (Maxmin/Minmax 基準)

最小の効用が最大となる選択基準 (Maximize the Minimum)、あるいは最大のリスクが最小となる選択基準 (Minimize the Maximum)。

$$U_O(a_i) = \min_j u_{ij} \rightarrow \max \quad \cdots (4)$$

または

$$U_W(a_i) = \max_j u_{ij} \rightarrow \min \quad \cdots (5)$$

例題では、利益が最小となる会社の利益を保証する戦略であり、弱者優先の基準である。

$$U_O(a_i) = \min_j \{u_{1j}, u_{2j}, u_{3j}\} = \left[\begin{array}{c} 0.0 \\ 0.2 \\ 0.5 \end{array} \right] \rightarrow \max = 0.5$$

$\therefore$ 行動 a_3 を選択する。

(4) 楽観主義基準 (Maxmax 基準)

最大の効用が最大となる選択基準。

$$U_S(a_i) = \max_j u_{ij} \rightarrow \max \quad \cdots (6)$$

強者を優先させる基準であり、例題では

$$U_S(a_i) = \max_j \{u_{1j}, u_{2j}, u_{3j}\} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.8 \\ 0.5 \end{bmatrix} \rightarrow \max$$

$$= 0.9$$

∴ 行動 a_1 を選択する。

(5) ハーウィツ基準

悲観主義 (Maxmin) と楽観主義 (Maxmax) の中庸をとる基準であり、重み係数 ($0 < w < 1.0$) で意思決定者の価値観を反映させる。

$$U_H(a_i) = w \cdot \left[\min_j u_{ij} \rightarrow \max \right] + (1 - w) \cdot \left[\max_j u_{ij} \rightarrow \max \right] \rightarrow \max \quad \cdots (7)$$

例題では、 $w=0.4$ とすると悲観主義 4 割、楽観主義 6 割の配分となり

$$U_H(a_i) = \begin{bmatrix} 0.4 \times 0.0 + 0.6 \times 0.9 \\ 0.4 \times 0.2 + 0.6 \times 0.8 \\ 0.4 \times 0.5 + 0.6 \times 0.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.54 \\ 0.56 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow \max = 0.56$$

∴ 行動 a_2 を選択する。

4. 功利主義は解決の原理になるか

以上の意思決定基準の中で最も合理的と多くの人の賛同を得られる原理は、おそらく功利主義であろう。「最大多数の最大幸福」を求める考え方である。平均値を優先させるので多数決による意思決定法であり、ジェレミ・ベンサムが提唱したことからベンサミズムとも呼ばれている。ベンサムは幸福指数を導入し定量化することで数的優位性を行動原理としたことで量的功利主義と呼ばれることもある。それに対し彼の甥に当たるジョン・スチュアート・ミルは質的な幸福を重視しベンサムを批判した



ジェレミ・ベンサム 1748-1832年

ことから、質的功利主義と呼ばれている。いずれにしても多数の優位性を重視する点において功利主義は合理的な判断法であり、特に行政の政策意思決定にはよく用いられている (反対意見を封じ込めやすい)。しかし、工学に携わる者として見逃してはいけない問題点が、そこにはある。

・問題 1 : ある行為の結果が分からない場合、功利の判断ができない。たとえば、将来の生態系破壊問題が、地域住民にどの程度の損失を与えるかは現状では判断できない場合が多い。

・問題 2 : 対象の全体 (境界条件) の設定が難しい場合がある。将来のことまで考えると、将来の子供たちも全体に含まれる。

さらに功利主義とは少数派 (個人の権利保全) は、多数派 (全体の福利最大化) の犠牲になることを肯定する考え方ということも言えるので、以下のような格差問題に発展する可能性を秘めている。

・問題 3 : 少数派の個人に対する不公正を正当化してしまうことがある。非モラルの肯定であり、弱者や地方の切り捨てにつながる。

工学は人間を扱う学問であるからどのような基準を採用しようとも、価値観の異なる集団の意思決定には絶対的に正しい基準はなく、そういう意味で同じ科学でも、自然を相手にし真実 (自然に潜む法則) を求める理学とは求めるべきアプローチが全く異なり、何らかの妥協が必要となるのが工学なのである。とは言いつつも、工学は「ものづくり」であり、何らかの意思決定 (行動理念) を明確にしなければものは作れない。どのような行動理念が工学的には推奨されるのであろうか◆⁴。

ここまでの話をまとめておこう。工学はその目的 (エネルギー資源を利用し人間幸福を追求すること) 自体に矛盾を抱えており、幸せを求めているはずなのに、不幸せの結果をもたらす

◆⁴ 防災の行動理念について :

解が提示される前に、まず各自で考えてもらいたい。自分は何を大切にして職を賭すのか。何を優先して日々の行動の意思決定をしているのか。

私が考える防災の行動理念については、3 年次の地震工学の講義の中で「防災私論」として解説する。防災の行動理念の理解に必要な事前情報 (確率分布やベイズの定理など) の数理的背景説明だけで 1 マス分の講義内容となるからである。ヒントだけ与えておく。ジョン・ロールズの「正義論 (1971)」がベースとなっている。ロールズは政治哲学の考え方にミクロ経済学モデル (パレート最適性) を持ち込み、先の意思決定理論の Minmax 基準で解を出した。

ことも間々ある。不幸せの具体的事例の一つは災害である。すなわち、『工学は災害を生む構造を持っている』。その理由の一つは(1)工学の目的自体にある(図5)。もう一つは工学の方法論にあるが、それは6章で解説する。

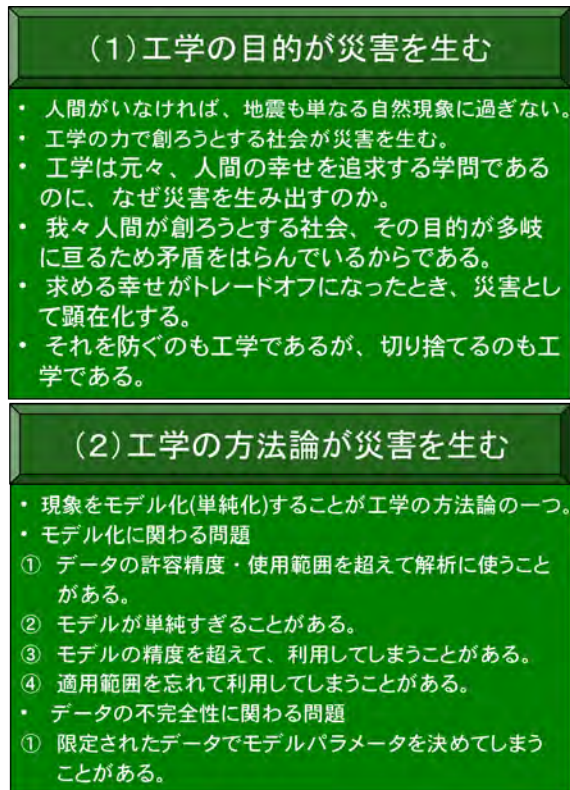


図5 工学が災害を生む2つの構造

5. 解決不能の問題に対する対処法

工学はトレードオフという難問を原理的に有しているという話をした。では解決できないことにどう対処するか。なし得ることはほとんどないが、逆に一番危険なことは、それを認めないことである。私の専門は地震防災であるが、災害を防ぐことは不可能である。人間の存在・人間の営みが災害を生み出す元凶であるからだ。災害を否定することは人間を否定することに等しい。防災にとり一番危険なのは、そのことを理解しないことである。解決できないことを、解決できないこととして理解することが重要であり、それが対処法の第一歩なのである。社会学者から突きつけられたテーマと同じ構造を持っていることに、まずは気づいてもらいたい。そのための冒頭の1章である。

「解決できなくても、打てる妙手が一つある。」と、社会学者は続ける。「提案された解決

策が実行された時、どのような成算があるか、どのような危険があるかを検討することである。そのような知識を蓄えておけば、少なくとも過去の失敗の繰り返しを避けることはできる。そしてその先の道標を事前に見極めることができ、みすみす危険な目に遭わずにすむ。」工学の言葉に直すならば、シミュレーション(図7参照)である。社会的に制御可能なパラメータを含むモデルで影響を検討するパラメータスタディである。提案された方法は解決のための最適解でないかもしれない。それでも、環境条件を色々変えてどのような条件の時にどのようなことが起こるかを試しに実験してみることはできる。これが、工学の強みである。

6. 理念を遂行する工学的的方法論とは

図5で工学は災害を生み出す構造を持っていると断じた。工学はその目的と方法論に災害を生む構造を持っている。本節では方法論について解説する。

広範な工学の方法論を一言で言い切るのは難しいが、あえて共通部分を切り出すなら図6のようになる。

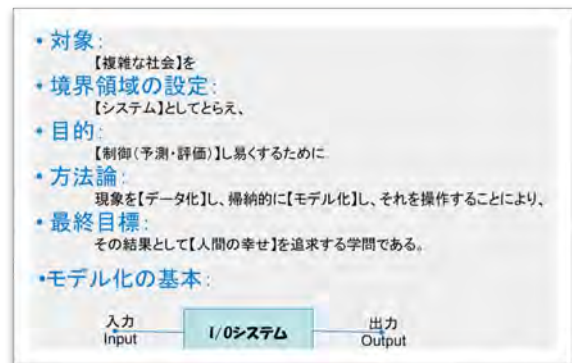


図6 工学的的方法論

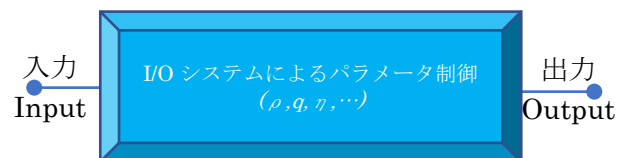


図7 I/Oシステムによるシミュレーション

我々人間が住む環境・社会を人間の手で制御し、ありたい姿に人間を置くことが工学的手法である。よって研究の対象は我々人間を含む複雑な社会である。ここで言う社会とは、物理的

な環境を言う場合もあるし、法制度等による仮想空間の場合もある。この社会を我々人間が幸福に暮らすために人間の手で制御する。制御とは現状を評価し、未来を予測し、よりよい状態に近づくように操作することである。そのためには、社会を制御できるようにシステムとしてモデル化する。そのためには関連する現象をデータ化し、そのデータを使って帰納的にモデル化（単純化）する。そのモデルのパラメータを操作し将来をシミュレーションし、最適なパラメータを決定する。そのパラメータを保持するように社会を人為的に制御する。この流れの中で一番の基本は社会のモデル化である^{◆5}。

図8は構造物の振動現象をモデル化した例である。建物は極めて複雑なハイブリッド構造をしているが、マス（慣性力）とバネ（復元力特性）とダッシュポット（減衰力）による集中定数系でモデル化し、2階常微分方程式（振動方程式）で時系列の変位を表現することが多い。しかしこのような単純モデルでは実現象と合わない場合が間々あることが観測でも確認されている。現象を単純化しすぎることにより、実際の現象を見逃すことがある。

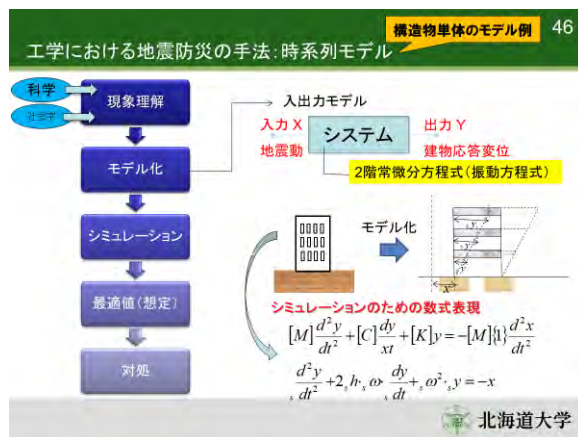


図8 時系列モデルの例

◆5 現代物理学におけるモデル化：

現象をモデル化（＝単純化）することが工学の主要な方法論の一つである。これは現代物理学の指導原理でもある。物理学者・鐸木康孝は「物理法則は全て自然現象の近似解である。」と喝破した。自然法則は単純であり対称性（ある操作をしても不変であること）を持つ。物理学に代表される自然科学の世界は理想状態を仮定している。しかし我々が住む世の中は確率論的不確定要素が入り交じっており、科学理論に基づく決定論的予測は厳密には成立しない。だから、現実的解には工学的考え方が必要なのである。誤差や不確定性をモデルの中に有意的に取り込むのが工学的モデル化である。7章で補足解説する。

図9は入力と出力の相関性を論じる重回帰モデルの例である。図10はその具体事例で、地震による建物倒壊率（全壊率）と地震火災（出火率）との関係である。阪神淡路大震災の時には両者の間に正の相関が認められ、被害想定で用いられていた関係式である。しかし東日本大震災時には両者の間に相関性は認められなかった。本来、揺れの大きさ（震度）と出火率の関係で説明すべき事象であった。両者の関係を個別事例から普遍の関係と見誤った例である。

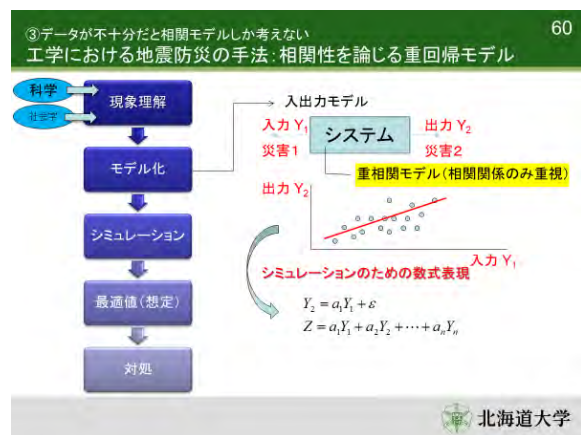


図9 相関性を論じる重回帰モデルの例

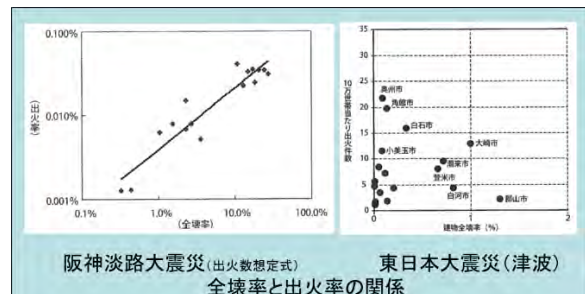


図10 全壊率と出火率の関係

図11は図9の相関モデルから求められた地震動による死者推定式である。本来、人的被害は建物倒壊のみならず室内散乱による複数の

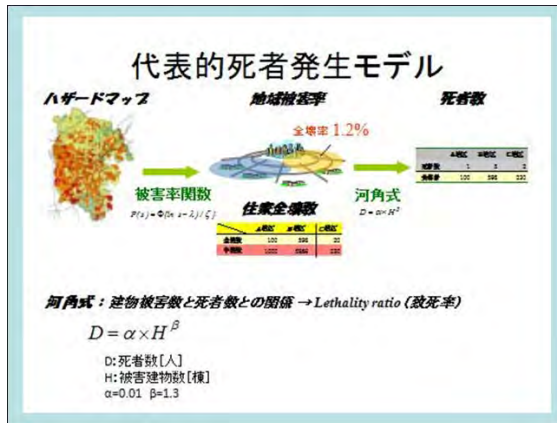


図 11 地震時の死者発生モデル

要因が絡む複雑な現象であるが、関連するデータが少ないと単純な相関モデルしか考えず、モデル化の不完全性につながる過ちを犯す。

地震動や温度などの物理現象は地震計や温度計などのセンサーを使い情報として入手する。また社会情勢などは国勢調査等により統計的情報として入手する。物理現象も社会現象も情報論から見るとある種のフィルター(センサーの分解能やサンプリング)により濾過された情報である(図 12 参照)。すなわち、情報の取得段階で誤差混入が避けられない。公表された情報であってもデータの取得精度や測定器の能力を超えた使い方をすると誤った結論を導く。



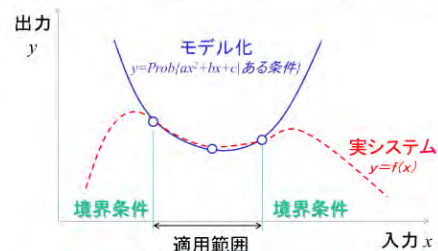
図 12 データ入手時の誤差混入

◆6 構造災とは、社会行為の中に逸脱が常態化して発生する災害を構造災と称して、社会学者は警鐘を鳴らす。命名すること(現象のネーミング)で概念が固定され、万人に容認されやすくなる。社会学の方法論の一つである。

④適用範囲があることの問題点

67

工学におけるモデルと境界条件



適用範囲において、モデルによる実システムの再現は十分である。

北海道大学

図 13 工学におけるモデル化と境界条件

図 13 は実際の現象(システム)をモデル化する場合の単純化の例である。実システムを忠実に再現しようとする、複雑な関数化が必要な場合、モデルの適用範囲を限定することで単純な関数化が許容できる場合が多くある。この場合、計算速度やメモリ制限などから単純な関数化を採用することも多くある。しかし図から分かるとおり、適用範囲を超えてモデルを利用すると、現実から大きく乖離してしまい危険である。工学的モデルには適用範囲があるのが普通である。適用範囲が存在する状態で既に逸脱(適用範囲外利用)の可能性(災害発生の危険性)があることに気づくべきである。実績(過去の経験)が安全を保障しているので、踏襲すれば問題はないと判断しがちである。これを前例優先主義という。しかし、前例が間違っている場合(適用範囲でのみの議論に終始している場合)、適用範囲外の状況発生を想定できず、災害発生の危険性を見逃してしまう。この場合、構造災◆6につながる。

7. 科学と工学の違い

工学は「ものづくり」であり、そのために、作る対象の適正な状態を把握する必要がある。たとえば、建築物をつくるには、どのような建築物が求められているのかを事前に把握しておかなければ設計ができない。そのために、工

学的方法論は現象（対象物）をモデル化（単純化）し、そのモデルを使ってその未来をシミュレーションする。その工学的モデル化は自然科学とは一線を画す（6章脚注^{◆5}も参照のこと）。英国の計算機科学者である Charles Antony Richard Hoare（1934- ）は、2009年7月に”計算機科学とプログラミング工学“と題する講演で科学と工学の違いについて語っている。その講演の時に使用された比較表を以下に示す。



表3 科学と工学の違い

科学 Science	工学 Engineering
長期的 long-term	短期的 short-term
科学の時間スケールは永久であり、工学の時間スケールは耐用年数である。	
理想追求 idealism	妥協 compromise
科学者は絶対的理想を追求し、工学者はクライアントの矛盾する必要性を理解し、妥協案としての解の提示を求められる。	
確実さ certainty	リスク risk
科学者は証拠に基づく確実な解を求めるが、工学者は不確実性に基づく避けられないリスクの管理を要求される。	
完璧さ perfection	適正さ adequacy
科学者は完璧さを求めるため、理想化された状況を設定して解を求めるが、工学者は実際の世界の不十分さを理解しその中での適正解を求める。	
一般性 generality	特殊性 specificity
科学者は一般解を追求するが、工学者はクライアントの状況に即した特殊解を求める。	
要素分解 separation	融合的 amalgamation
科学者は要素を分離し制御を試みる（要素還元主義）が、工学者はそれらが同時に働く状態を想定し対応しなければならない。	
統一性 unification	多様性 diversity
科学は理論の統一化に力を注ぎ、工学は状況の多様性を理解しそれに適合する条件から多様な理論を選択する。	
独自性 originality	実行解 best practice
科学の独創性は必須であるが、工学においては応用性が重視されることもある。	
形式的 formality	直感的 intuition
科学的数学記述は形式的に正確に扱わねばならないが、工学的には導出を省略することも可能。	
正確性 correctness	信頼性 dependability
科学はあくまで正確性の追求であるが、工学はその結果がクライアントに信頼されること（使えること）が重要となる。	

現象をモデル化（単純化）することが工学の方法論の一つであり、工学的手法（工学的モデル化）の特徴とそれが抱える災害発生要因をまとめると以下ようになる。

- ① 工学的モデル化には現象の一部を記述するという特有の目的がある。それ以外の現象説明にモデルを使うことはできない。
- ② 工学的モデルは精度をそれほど必要としない（1次近似:2次以上の微係数は無視）が、甘く見積もってはいけない。
- ③ 相関モデルは現象の因果関係を説明しない。
- ④ モデルパラメータを決定する調査・実験データの範囲を超えた利用は、シミュレーション結果を補償しない。
- ⑤ モデルの適用範囲を超えた利用は、シミュレーションの結果を補償しない。

8. コンプライアンスの必要性和懷疑性

ここまで工学とはどういう学問なのかを概観してきた。当初抱いていたイメージと比較し、どう変わったであろうか。工学とは思っていた以上に人間くさい学問であると思ったのではないだろうか。「建築」という専門領域は其中でも、我々人間の生活に直結する衣食住の一端を担っているより人間臭のする極めて魅力的な学問領域である。人間に興味のある若者であるなら、必ずや君の琴線に触れる分野がそこにあることに気づくであろう。

しかし、何度も繰り返してきたように、工学は価値観により正解が変動するやっかいな学問である。クライアントの要求や帰属するコミュニティの価値観と本人の価値観が相容れない場合も多く経験することであろう。そのような時こそ、君の人間力が問われている。ここまで育て上げてきた自分自身の「誠実さ」を大切にしてもらいたい。そのための振る舞い方を、ヒントとして以下に記しておく。

- その社会で生きていくためのルールがある。その社会とは、サッカー・野球・学生・技術士・建築家・科学者・企業A・・・企業Z・地域A・・・地域Z・国A・・・国Z、何でもいい。その社会のルールがある。そのルールを倫理規定という。そして、倫理規定を守ることを法令遵守（Compliance）と言う。
- ルールに絶対的なルールはない。時代・場所・都合により変更されるものである。

・ルールには上位概念(Hierarchy)がある。
道義>理念>ビジョン>綱領(倫理綱領)の順番であり、その結果として行動規準(倫理規定)が設けられる。「道義(Morality)」とは、人間として行うべき正しい道のことであり、最上位概念である。「理念(Philosophy)」とは、道義に基づくその人の根底にある考え方を言う。「ビジョン(Vision)」とは、理念を基盤においた行動の将来像・展望を言う。そしてそれらの下位概念として「綱領(General Principle)」がある。主義主張の要点を示したものであり、会社で言う社訓のようなもの。それに基づいて「行動規準(Ethical Code)」と呼ばれるルールが作られる。文書化されたその社会に帰属するメンバーが守るべき規準のことである。

・その社会での責任ある行動を求められた時、自分なりの行動理念が試されている。

たとえば、企業への忠誠心、倫理観、政治姿勢(保守的/革新的)などが問われているものと自覚すべきである。問題はここでも同様である。すなわち、トレードオフに遭遇した時である。

「法令遵守(コンプライアンス)」が帰属するコミュニティで求められるのである。平時はその社会のルール遵守(コンプライアンス)は当然のこととして受け入れているわけであるが、以下のような事例に遭遇した時、どのような対応をとるであろうか。

(例 1) 利益追求(企業倫理)と安全追求(技術者倫理)との対立：車体の構造的欠陥による対処法として、車体改善ではなく経済効率より死亡保険支払いによる対応(リスク保有)を選択するよう迫られた時。

(例 2) 他国文化尊重(企業倫理)と自国文化尊重(個人倫理)との対立：賄賂常態国でのビジネスにおける賄賂要求に対する対応を求められた時。

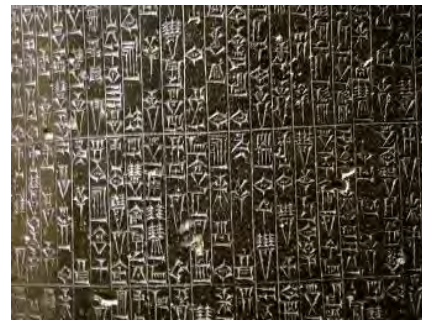
(例 3) 危険発生原因の責任者を問われたとき：責任を負うべきは原爆開発者か投下意思決定者か^{◆7}。

・矛盾するコンプライアンスにどう対応すべきか。倫理規程(社会通念)は時代やその時の社会事情や地域によっても大きく変わるものである

念であることを認識し、自分自身を縛る倫理綱領について自分自身の持つ行動理念に沿って誠実に熟考せよ。何よりも、形而上の上位概念の道義・行動理念(哲学)・ビジョンをより重要視し、それを身につけることの重要性を理解することである。是認する必要はないが、工学とは人間の都合で決まる部分が結構あることを、残り3年間を通して学んでいこう。

9. 技術者が目指すべきもの

紀元前18世紀、バビロン第一王朝の第6代ハンムラビ王がシュメール法を継承・集大成した282条から成る成文法ハンムラビ法典を發布した。以下は、その229条に書かれている文言である。



229. IF A BUILDER BUILD A HOUSE FOR SOME ONE, AND DOES NOT CONSTRUCT IT PROPERLY, AND THE HOUSE WHICH HE BUILT FALL IN AND KILL ITS OWNER, THEN THAT BUILDER SHALL BE PUT TO DEATH.

ハンムラビ法典の文面。楔形文字で記されている。

The Code of Hammurabi, translated by L.W. King (1910), edited by Richard Hooker

229. もし建築家が、家を人の為に建てて、彼の仕事を堅固にせず、その為建てた家が倒れて家の主を死亡させた時はその建築家は殺されるものと定める。

そして、引き続いて230条以降には・・・

230. もし家の主の子を死亡させた時はその建築家

◆7 歴史学者ユヴァル・ノア・ハラリは、彼の著書「サピエンス全史(2016)」の中で、この設問に技術者が納得のいく明快な回答を与えている。

の子を殺すものとする。

231. もし家の主の奴隷を死亡させた時は奴隷に相当する奴隷を家の主に与えるものと定める。

232. もし物を滅失させた時は、滅失させたものを賠償し、かつ、建てた家を堅固にせず、その為に倒れた故に、彼自身の物で倒れた家を立て直すものとする。

233. もし建築家が、家を人の為に建てて、彼の仕事を完全に成し遂げず、その為に壁が倒れ落ちた時はその建築家は自己自身の銀によってその壁を堅固にするものとする。

法典には極めて厳しい技術者責任が謳われている。当時の社会的認識として建築技術が信頼に足る高い水準にあったことの証であるが、その技術を駆使する専門家が、その信頼を裏切ることとは反社会的行為として厳しく罰せられるべきであるという倫理観を社会に備えることにより、社会の秩序と平穏を守ろうとしたのかもしれない。

技術者が提供するものは使用者に危害を加えるものであってはならない、これは紀元前18世紀にしてすでに確立された倫理観であった。しかし、使用者が求めるものは安全だけではない。技術者に突きつけられる利便性や経済性は、ときに安全を犠牲にする要求とも成りかねない。危険発生が100%であるなら、安全とはトレードオフの関係にある要求は倫理的に跳ね返すことができる。しかし発生確率が100%でなかったならばどうであろうか。災害は技術革新により低頻度高被害型（Low Probability-High Consequences; LPHC）の特徴を帯びてきている。すなわち、低発生確率（発生確率は決してゼロではない）であるが、高被害型（一度発生すれば、未曾有の大被害となる）に進化してきている。皮肉なことに安全を求めて技術革新を進めた結果、安全を無視しても（安全を第一に考えなくても）日々の生活ではそう大きな問題とはならない社会を作り出してしまった^{◆8}。むしろ、社会はどこまで安全を追求すべきなのか（社会が許容できる危険－Acceptable Risk－はどこまでなのか）という、とてつもなく難しい問題を生み出してしまった。

この問題へのとりあえずの解決法として、説明責任（Informed Consent）という考え方を社会制度に取り込んだ。供給側（技術者）と需要側（使用者）との間で製品の性能に関する合意形成を行う仕組みである。技術者は単に製品の安全を技術的側面から追求していただくだけでは許されなくなってきたのである。使用者ひいては社会的に安心を担保するための情報提供も同時に行わなくてはならないのである。

構造技術者だけが建築の安全を担う時代ではない。建築技術者だけが建築の安全を考える時代ではない。

参考文献

- 1) 前間孝則(2004): 技術者たちの敗戦、草思社文庫.
- 2) 今野浩(2015): 工学部ヒラノ教授と昭和のスーパースター・エンジニア 森口繁一という天才、青土社.
- 3) バートランド・ラッセル (1991): 幸福論、岩波文庫.
- 4) ジグムント・バウマン (2017): コミュニティ 安全と自由の戦場、ちくま学芸文庫.
- 5) ジョセフ・スティグリッツ、他 (2012): 暮らしの質を測る 経済成長率を超える幸福度指標の提案、金融財政事情研究会.
- 6) ウィトル・ウィウス (1979): ウィトル・ウィウス建築書、東海選書.
- 7) 岡田光正、他 ((1973): 住宅の計画学
- 8) すまいの設計を考える、鹿島研究所出版会.
- 9) 神田順 (1997): 耐震建築の考え方、岩波科学ライブラリー.
- 10) ジョン・ロールズ (2010): 正義論、紀伊國屋書店.
- 11) ユヴァル・ノア・ハラリ (2016): サピエンス全史 (上) (下)、河出書房新社.

◆8 この場合、自由競争なる市場メカニズムは需要側（使用者）の種々の要求を天秤に掛け、安くて便利なものが勝ち残っていく方向性を作り出す。供給側（技術者）の倫理観は反映し難いのが実態である。耐震偽装事件が発生した背景ともなっている。