

北海道大学

建築序説 建築論7:安全と建築

工学の倫理綱領
—工学・建築・防災に必要な行動理念を考えよう—

2015年4月27日

北海道大学 大学院工学研究院
都市防災学研究室
岡田 成幸



2

本日のお話し

◆テーマ
自分の行動原理を工学の倫理綱領から考える

◆話の流れ

- 1 工学って、どういう学問?
(真理探究、概念固定化、便宜性追求、演繹法、帰納法、ベン図、ネーミング)
- 2 目的と方法論が災害に直結する学問!
(構造災、幸福度、トレードオフ、モデル化、固有値問題、ベイジアンアプローチ、適用範囲)
- 3 防災私論:何を大切にすべきか?
(被害想定、リスクマネジメント、クライシスマネジメント、LPHC、日本という国)
- 4 どうしたらいいの?
(自然との共存、多重対策、シナリオ、セーフティネット)

⇒3と4については3年次地震工学で講義

北海道大学

3

工学に携わるものの行動理念(倫理綱領)について考える

Q1:なぜ、このようなことを考えねばならないのか?

Q2:人間としての倫理綱領は宗教や哲学に求められないのか?

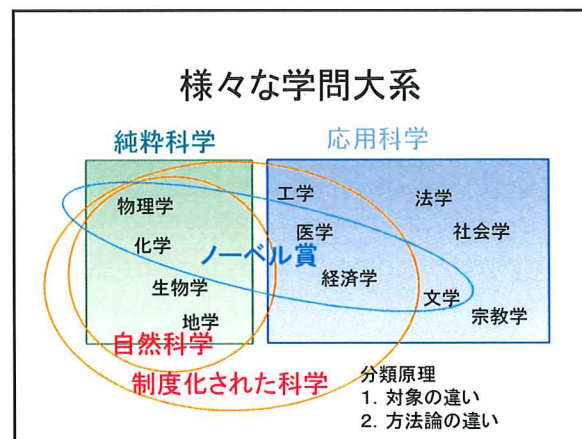
北海道大学

科学と工学の違いは

科学の社会史
近現代の科学体制

広重徹(1973)
科学の社会史 —近代日本の科学体制—、
中央公論社、pp.345.
古書→amazon.co.jp
岩波現代文庫(上下巻)
北海道大学附属図書館(本館、北図書館開架)

北海道大学



科学が飯の種になる条件とは…短期間での職能修得、広い職域

工学は制度化された科学

Institutionalization of sciences

- ① 学修の体系化がなされていること。
- ② 査読付き専門誌が存在するまでに専門化されていること。
- ③ 修得した者が就く専門職が存在すること。
- ④ 有用性が社会的に認知され、国がその研究を支援していること。

制度化された科学が出現し始めたのは19世紀:
自然科学(理学・化学等)、工学、医学、経済学
しかし今、分化(非体系化)が進み出した…

7

工学 VS. 数学・物理学・社会学: 目的と方法論

数学とは ≡ 概念の記号化
物理学とは ≡ 自然現象の原理(公理)発見
社会学とは ≡ 社会現象の概念の固定化
工学とは ≡ 資源を利用した便宜性の追求

真理の探究

実はこの中に工学が隠れている! 自己矛盾があるように思われる

様々な要求に応えようとする

人間は欲張りだからなあ、矛盾した欲求を…**工学とは悩める学問なのだ**

北海道大学

8

まずはエウクレイデスから

数学的推論とは: 既知の事実から未知の結論を導き出すこと

既知事実

↓ 推論
プロセスにギャップがないこと

未知結論

ギリシア人が確立

公理から出発し

↓ 推論

ピタゴラスの三平方の定理を証明

これは上程の必要のないもの

原論: 幾何学の論証方法

演繹的推論の元祖

↓

数学における基本的方法論

点の定義
線の定義
角の定義
図形の定義
円の定義
平行線の定義

Eukleides 古代ギリシア BC.400頃 数学者

北海道大学

9

演繹的推論を論理学(説得術)に拡張

アリストテレスの三段論法

1. ソクラテスは人間である。
2. 全ての人間は死すべきものである。
3. ゆえに、ソクラテスは死すべきものである。

反論の余地なし

ピタゴラスの三段論法

1. ローマは大都会である。
2. ゆえに、ローマはイタリアの首都である。

事実には違いないが、論証方法として非論理的

ニューヨークは大都会なのに、東京は大都会なのに、イタリアの首都はローマじゃない

Aristoteles 古代ギリシア BC.384-BC.322 哲学者

北海道大学

10

演繹的推論

正しい推論とは形式であり、知識の中身に左右されるものではない

アリストテレスの三段論法

1. AはBである。
2. BはCである。
3. ゆえに、AはCである。

三段論法の形式

1. A=B
2. B=C
3. ∴ A=C

少し複雑な三段論法

1. AはBである。
2. BはCである。
3. CはDではない。
4. あるAはEである。
5. ゆえに、あるEはDではない。

三段論法の形式

1. A=B
2. B=C
3. C≠D
4. ∃ A=E
5. ∴ ∃ E≠D

Aristoteles 古代ギリシア BC.384-BC.322 哲学者

北海道大学

11

数学における演繹的推論

推論の形式的解法≡ベン図

ベン図の基本規約

- (1) AはBである。
- (2) あるAはBである。
- (3) AはBではない。
- (4) あるAはBではない。

L. Euler
スイス 1707-1783 数学者

北海道大学

12

演繹的推論

ゆえに、数学とは概念の記号化である。

推論の形式的解法≡ベン図

ソクラテスの三段論法

1. AはBである。
2. BはCである。
3. ゆえに、AはCである。

L. Euler
スイス
1707-1783
数学者

少し複雑な三段論法

1. AはBである。
2. BはCである。
3. CはDではない。
4. あるAはEである。
5. ゆえに、あるEはDではない。

正しい推論とは形式であり、知識の中身に左右されるものではない
数学とは形式であり、概念を記号化することにより真理を見抜くことを目的とした学問である

13

物理学の方法論について

物理学的方法論

推論の方法: 既知の事実から未知の結論を導き出すこと

J. Kepler
ドイツ
1571-1630
天文学者

ケプラーの法則: ティコ・ブラーエの観測データに基づき
惑星の運動に関する近似則発見
帰納的推論の元祖

↓

物理学における基本的方法論

北海道大学

14

社会学の方法論について

社会学の目的と方法論:

- 目的: 社会システムに潜む問題点を発見し、概念として固定化
- 方法論: 命名(ネーミング)

- Urbanization:
人口集中による規模と質の両面における新たな災害発生を警鐘。

- 構造災:
逸脱が常態化することにより災害発生因が社会システムに取り込まれてしまう状況に警鐘。

北海道大学

15

社会学者からの警鐘

構造災

松本三和夫著
岩波新書(2013)

天災と国防
岩波新書
1934年

…国家あるいは国民と称するものの有機的結合が退化し、…その有機系のある一極の損害が系全体に対してははたしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、…一小部分の障害が…致命的となりうる…

• 社会システムが複雑化し、責任の所在が曖昧となり、ピアレビュー機能が働かなくなる。
• 構造事件は人災(耐震偽装事件)ではあるが、その発生を生み、そして見逃す社会構造に日本は変容しつつある。
• この種の問題の発見・解決法は、自然科学からは生まれてこない。

人間社会の構造の中に災害を発生・拡大させる温床がある。

北海道大学

人間関与の学問

工学は文系である故、その目的自体に大きな問題点を抱えている

科学(数学・物理・化学・生物): 自然現象に関する真理の探求
社会学: 社会システムに潜む問題の発見と概念の固定化
工学: エネルギー資源を利用した便宜の供与(幸福の追求)

$$\lim \text{幸福度(便宜性)} = H \left(\sum U(\text{便宜性}) \right) + \varepsilon \rightarrow \max.$$

H: 幸福度を序数化するための階段関数
U: 各便宜による個人の幸福感受度
ε: 個人間の誤差

北海道大学

17

幸福感を客観的に論じることができるのか?

• 個人的幸せについて

➢ パートランド・ラッセル: ラッセル幸福論、岩波文庫

ラッセル幸福論

1872-1970

合理的かつ実用主義的な(宗教・道徳・文学を排した)幸福とは…充たされた

- ① 住と食
- ② 健康
- ③ 愛情
- ④ 仕事上の成功
- ⑤ 仲間からの尊敬

→ 仕事を通して喜びと尊敬を引き出せるのは = 科学者

北海道大学

18
幸福感を客観的に論じることができるのか?

- 地域の幸せについて
 - OECDスティグリッツ委員会:暮らしの質を測る、きんざい

1943-
Better Life Index 11分野
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生活満足度 ⑩安全性 ⑪仕事と生活のバランス
→世界ランキング= 1.オーストラリア 2.スウェーデン 3.カナダ
4.メルウェー 5.スイス ... 21.日本 北海道大学

建築の便宜とは

- ・ウィトルウィウス(ローマ時代):強、用、美
- ・国連・世界保健機関(WHO):安全性、健康性、利便性、快適性
- ・岡田光正(大阪大;住宅論):構造的、利便性、快適性、表現性
- ・神田順(東大;建築構造学):構造、造形、機能、経済
Structure Aesthetics Function Economy

建築の便宜とは

- ・安全性、利便性、快適性、意匠性、経済性

最近求められているもの:安全と安心
安全とは...技術的安全(=構造的)
安心とは...社会的安心(=信頼性)をいう。

さらに安心と安定(sustainable)の個人的補償も求められてきている。

≒福祉性(安心、安定、継続性、個人補償)

目標(地震災害に関する学問領域):工学の大きな問題点

- ・科学:自然現象に関する真理の探求
- ・社会学:社会システムに潜む問題の発見と概念の固定化
- ・工学:エネルギー資源を利用した便宜の供与(幸福の追求)

$$\lim \text{幸福度(便宜)} = H \left(\sum U(\text{便宜}) \right) + \epsilon \rightarrow \max.$$

$$\text{幸福度(便宜)} = H(U(\text{安全性}) + U(\text{利便性}) + U(\text{快適性}) + \dots + U(\text{福祉性})) + \epsilon$$

H: 幸福感を数値化するための階段関数
U: 各便宜による個人の幸福感受度
ε: 個人間の誤差

※各便宜はトレードオフにならないことが理想である。
※利便性・快適性等の便宜を犠牲にした安全性・福祉性の確保は工学の理想ではない。

北海道大学

人間関与の学問
22
工学は文系である故、その目的達成に大きな内部矛盾を抱えている

- ・工学:エネルギー資源を利用した便宜の供与(幸福の追求)

$$\lim \text{幸福度(便宜)} = H \left(\sum U(\text{便宜}) \right) + \epsilon \rightarrow \max.$$

- ・工学の行動原理を何に求めるべきか
最大多数の最大幸福を選択する功利主義(Benthamism)
合理的であるが、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ので、工学の力を考えるとその影響力はあまりにも大きい。
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。
例)将来の生態系破壊問題が、地域住民にどのような影響を与えるかは現状では判断できない。
自分と組織の弱音解消に陥るが、共同の危険が隣。

思考法が間違った方向に向かっていないかを、以下の観点から常に監視をすることが大切と考える。
①トレードオフ:個人の価値観・社会正義が間違っていないか
②功利主義:全体主義が個人を飲み込んでいないか
機云の干渉と感傷が定規(正義)で考える。
pp.811

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

(1)工学の目的が災害を生む

(2)工学の方法論が災害を生む

- ・なぜ災害を生み出すのか。
- ・我々人間が創ろうとする社会、その目的が多岐に亘るため矛盾をはらんでいるからである。
- ・求める幸せがトレードオフの幸福の一要素として顕在化する。
- ・それを防ぐのも工学であるが、切り捨てるのも工学である。

次の話...

(2)工学の方法論が災害を生む

工学の目的と方法論が一致しているのが気になる。バランス感覚が大切。

24

1 防災工学とは、どういう学問か

(2) 工学の方法論と内部矛盾 (災害を生み出す機構)

北海道大学

防災工学の方法論とは...

- **対象:**
【複雑な社会】を
- **境界領域の設定:**
【システム】としてとらえ、
- **目的:**
【制御(予測・評価)]し易くするために
- **方法論:**
現象を【データ化】し、帰納的に【モデル化】し、それを操作することにより、
- **最終目標:**
その結果として【人間の幸せ】を追求する学問である。
- **モデル化の基本:**

北海道大学

構造物単体のモデル例 26

工学における地震防災の手法: 時系列モデル

科学
現象理解

↓

モデル化

↓

シミュレーション

↓

最適値(想定)

↓

対処

入力 X
地震動

→ システム

→ 出力 Y
建物応答変位

2階常微分方程式(振動方程式)

シミュレーションのための数式表現

$$[M] \frac{d^2 y}{dt^2} + [C] \frac{dy}{dt} + [K] y = -[M] \ddot{x}$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta \omega_n \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y = -\ddot{x}$$

北海道大学

都市・地域のモデル例 27

工学における地震防災の手法: マトリクスによる連関モデル

科学
現象理解

↓

モデル化

↓

シミュレーション

↓

最適値(想定)

↓

対処

入力 Y₁
災害1

→ システム

→ 出力 Y₂
災害2

連関モデル(メカニズム重視)

シミュレーションのための数式表現

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_{n-1} \end{bmatrix}$$

北海道大学

28

被害連関性シミュレーションに基づく都道府県の脆弱性診断

北海道大学

例題

割り箸に力がかかると、どこから破壊するかを予測せよ。

モデルと現実との違いは?

- 割り箸の厚みを無視している。
- 割り箸の材料は均質ではないかもしれない。
- 割り箸の中立軸はまっすぐでないかもしれない。
- 荷重は均一に等分布していないかもしれない。
- 実体は3次元であり、荷重・材料特性共に多軸に影響しているはず。

物理学的解答: 単純梁のモーメント図を微分し、極値0の点を求める。

実際の材料の破壊は

- Mから応力 σ が求められるが...
- 実際には、ある場所の材料が塑性化し、
- その場所の破断が始まり、破壊に至る。

応力-歪みのモデル曲線

実際には複合材料であり、モデル曲線通りに追随しないので、実験を繰り返している(復元力特性~履歴応答曲線~のモデル化が研究テーマとして成立している。)

理想(科学・物理学)と現実には乖離がある

- 科学・物理学の世界は理想状態を仮定している。
- だから、世の中は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、工学的考え方が必要なのである。

対処法1: 部材断面の変更
対処法2: アーチ構造の採用

惑星探査機はやぶさ

工学に厳密解は必要ない!
しかし、目的が異なる必要精度も異なってくる
必要精度を甘く見積ると、事故を誘発する。

33

モデル化に際し犯しやすい2つの間違い

A. H-S. Ang & W. H. Tang (2007)
土木・建築のための確率統計の基礎、丸善

- 認識論的不確定性(モデル化の不完全性)に基づく過誤 Epistemic Uncertainty
- 現象論的不確定性(データの不完全性)に基づく過誤 Aleatory Uncertainty

北海道大学

34

③データが不十分だと相関モデルしか考えない
工学における地震防災の手法: 相関性を論じる重回帰モデル

重相関モデル(相関関係のみ重視)

シミュレーションのための数式表現

$$Y_2 = a_1 Y_1 + \epsilon$$

$$Z = a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + \dots + a_n Y_n$$

北海道大学

35

③データが不十分だと相関モデルしか考えない
工学における地震防災の手法: 相関性を論じる重回帰モデル

阪神淡路大震災(出火数推定式) 東日本大震災(非津波) 全壊率と出火率の関係

- 見かけの相関を因果関係と誤る(本来、震度と出火率の関係で説明すべき)。
- 個別事例を普遍関係と誤る。

北海道大学

③ データが不十分だと相関モデルしか考えない

代表的死者発生モデル

ハザードマップ → 地域被害率 → 死者数

被害率関数 $H(x) = \alpha \times x^\beta$

死者数関数 $D = \alpha \times H^\beta$

河角式: 建築物被害数と死者数との関係 → Lethality ratio (致死率)

$D = \alpha \times H^\beta$

D: 死者数 [人]
H: 被害建物数 [棟]
 $\alpha = 0.01$ $\beta = 1.3$

③ 調査・計測精度を超えた使い方をしてはいけない

調査・観察・計測

現象 → センサ → フィルタ → データ → 資料

性能: データサンプリング (標本/母集団) 分解能 (S/N比)

公的発表データで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。

④ 適用範囲があることの問題点

工学におけるモデルと境界条件

出力 y

モデル化 $y = \text{Prob}(ax^2 + bx + c \text{ がある条件})$

実システム $y = f(x)$

境界条件

適用範囲

入力 x

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。

工学的手法の特徴とそれが抱える災害発生要因

現象をモデル化(単純化)することが工学の方法論の一つ。

- ① 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 モデルは精度をそれほど必要としないが、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。

工学は〇系だけれど・・・その学問的特徴が・・・

- 理学は自然界において真理の探究という高尚な目的を持つのに比べ、工学は人間世界において幸せの追求という、実に人間らしい目標を持つ。
- 二律背反が多い価値観の中で現象をモデル化し、最適な解を導き出す。
- 解は厳密解ではなく、適用範囲の中で有効な近似解。
- 上記条件下で、人間の価値観・同時代の社会情勢を考慮する故、災害を生む。
- 工学が人間世界の問題を解決するのが工学。

極論を言えば・・・

自然を理解する学問が理学
人間との関わりで問題を発見するのが社会学
それを解決するのが工学

本講義の出席確認

配布の質問票の提出をもって、出席とする。

1週間以内に、私の研究室(A3-02室)前のレポート回収ボックスに提出のこと。

質問票:

- チェックリストに回答(本講義最終スライド)
- 本講義に対する質問と意見