

科学・技術の研究と学習の方法： 「観察から」、「原理から」、「問題から」のアプローチ

目標： 科学・技術の研究や学習における基本的な 3 種のアプローチについて理解する。
「観察から、原理を求める」帰納のアプローチ、「原理から、応用する」演繹のアプローチ、については、学校や大学でよく教えられてきた。
第 3 は、「問題から、解決策を見つける」問題解決のアプローチである。
本講義では、この「問題解決のアプローチ」をきちんと学ぼう。

前回： やさしい導入： 技術革新に必要な 柔軟な考え方

目標： 科学技術を進歩させる「技術革新」は、創造的な「問題解決」を必要とする。
今回はその導入として、やさしい例題で「創造的な問題解決」の方法を話す。
これをベースにして、本講義の趣旨とやり方を理解し、
身近な問題を捉えて、創造的に解決していく心構えをつくる。

要点： 会社でも、商店でも、自分の身近でも、「技術革新」が求められている。
そのための、「心構え」と「考えるやり方」を身につけよう。

従来、大きな発明（技術革新）には「ひらめき」が必要と考えられてきた。
ひらめきは、「長い苦心惨憺の後、リラックスしたときにぱっと生じる」と分かってきたが、いつその幸運に恵まれるかは分からない。

最近のいくつかの事例（特に、情報学部の中川ゼミでの卒業研究の事例）で、
技術革新に必要な考え方、有効な方法を学ぼう。

- ・ ホッチキスの針を曲がらなくする問題
- ・ 裁縫で短くなった糸を止める問題
- ・ 水洗トイレの水の使用量を減らす問題（韓国 KyeongWon Lee ら）
- ・ コード/ケーブルを絡まなくする諸方法

これらの中に、学ぶとよい方法が一杯ある。それらを今後体系的に学ぶ。

なお期末レポートは、自分でテーマを選び、感想文でないレポートを書く。

はじめに： 日常生活から科学・技術へ

技術は 必要から生まれる。
科学は 観察と疑問から始まる。

例： 「額縁をひもで壁に掛ける。傾かないようにしなさい。」

これらの場合にどうすれば、うまく掛けられるか？ ---> 日常の技術
どうして傾くのか？ 傾いた安定な位置の特徴は？ ---> 科学の芽生え，応用
科学技術知識の必要
掛けた後に傾かない額縁掛けキットの工夫は？ ---> 新しい技術の開発

1. 科学と技術のアプローチの概要

科学と技術の学習・研究・利用において、つぎのような基本的なやり方がある。

(0) 日常生活のレベルにおける 知識・技術の理解・習得・利用

(1) 観察 経験的知識 仮説 実験検証 のアプローチ

(2) 原理・理論 科学的推論 応用 のアプローチ

(3) 問題 分析 解決策 応用 のアプローチ

科学や技術を有効に利用するためにも、また科学や技術をさらに発展させるためにも、これらのアプローチを適切に併用していくことが望まれる。

上記 (1)は、(理科教育で取り上げられているが、不十分であり)
大学教育でも「実験・実習」および専門分野のテーマでマスターすべきもの。

上記 (2)は (理科教育から始まり) 科学技術諸分野の専門教育で教育される。
高度な理論を専門的に勉学・習得しなければならない。専門化が進んでいる。
情報学部における情報科学 (およびその他の分野)の授業も多くはこの形式。

上記 (3)が、実社会で本当に必要とされるアプローチであり、
(1)や(2)のアプローチを総合して初めて実現できるものである。
この教育が従来の大学教育で非常に希薄であった。
=> 本講義『科学情報方法論』では、この(3)をきちんと講義する。

本講義『科学情報方法論』の内容は、
「科学・技術分野における 実地の問題を解決するための 方法 (特に思考法)」
研究・学習の一般的なやり方をはじめに説明する。(第1~2回)
ついで、技術的問題を考えるための準備。(第3~5回)
そして、技術的問題の分析から解決策の生成までの詳しい説明 (第6~14回)

これは特定の技術分野 (例えば情報科学) に限らず、どんな分野にも応用できる。

2. 観察 経験的知識 仮説 実験検証 のアプローチ

2.1 科学は 観察と疑問から始まる

観察： 注意深く見ること。

いつも同じようでも、変化する。

似ているようでも、違う。

全く違うようでも、共通のことがある。

でたらめのようにも、規則性がある。

何かが起こるのには、わけ（原因）がある。

疑問： どうして？ なぜ？ （原因、理由、しくみ、...）

どのように？ （現象、過程、...）

試行： 単純に起こるのを見るだけでなく、何かを起こしてみる。

同じことがもう一度起こるかを試してみる。

何かを変えると、同じことが起こるか、違ったことが起こるかをみる。

起こらないようにすることをやってみる。 ...

2.2 経験的知識から 仮説を得る

経験的知識を得る： 観察の結果、試行の結果から得る知識。

個別の結果を集めて、まとめる、集約する、抽象化する。

まとめるには、個別的（と思う）事実・側面を捨てて、

一般的（と思う）事実・側面をとりだす。

経験的知識から「仮説」を考える：

「仮説」とは、いろいろな経験的知識に基づいて、

それらを説明することができると思う「仮の理論」である。

経験的知識よりもさらに一般化したもの、しくみや原因を考えたもの。

しかし、仮説はいつも正しいとは限らない。

（もしかしたら間違っているかもしれないと自覚している。）

そこで、より詳しくは「作業仮説」という。（作業中のものという意味）

2.3 仮説は実験で確かめる必要がある

仮説が本当に正しいか、どれだけ普遍性があるかは、実験で確かめる必要がある。

実験にもいろいろな段階がある。

- ・ いままでの経験と似た条件・状況を作り、再現することを確認する。
- ・ いままでの経験と本質的には同様だが、少しずつ異なる状況で、確かめる。
- ・ 仮説が正しければ含まれているはずの状況で、いままでの経験とは随分異なる状況を作って、確かめる。
- ・ 仮説が正しければ、旧来の考えとは異なる結果になるだろう状況を作り、

その結果を確かめる。

- ・ この仮説と対立する別の仮説に対して、
両者で異なる結果になるだろう状況を作り、その結果を確かめる。

これらの実験の結果を判断して、実験結果をよりよく説明できる仮説を見出す。

2.4 観察 経験知識 仮説 実験確認のプロセスを「帰納」という

「帰納 (きのう)」: 観察・経験に基づいて、知識を一般化し、獲得すること。

人類のすべての知識はこの「帰納」によってスタートする。

例: 幼児が「犬」というものを知るとき:

沢山の犬を見せる。

また、(似ているが) 犬でないもの (猫, きつね, 狼, ...) を見せる。

例: ある病気に効く薬草・薬物を見つけるとき

例えば, 「漢方医薬」はこのようにして発見・確立されてきたものである。

中国の前漢~後漢の時代 (BC 200 年頃~AD 200 年頃) という。

帰納による推論では, その理論 (仮説) の正/誤にいつも注意が必要である。

とくに, 経験した範囲より拡大して適用しようとする時, 要注意。

以上に述べた「観察 経験知識 仮説 実験確認」のプロセスは,

一見「原始的」で「非科学的」のように見える。

しかし, 人類のすべての科学的知識はこのプロセスを土台にして獲得された。

(2003 年度までは 1 年次の講義『情報科学序説』でもこの趣旨を話した。)

3. 原理・理論 科学的推論 応用 のアプローチ

3.1 「原理」は高度に抽象化され・検証された仮説である

現在の科学・技術の基礎をなすのは, 「自然法則」特に物理学の諸「原理」である。

物理学の諸「原理」は, 高度に抽象化され, 高度に実験で検証された仮説である。

例えば, ニュートンの万有引力の法則および古典力学

マクスウェルの電磁気学の法則

シュレーディンガーの量子力学 など

これらの特徴は,

数学的な理論構成 -- 数式で厳密に関係が表現される。

定量性 -- (簡単な系では) 値をきちんと計算できる。

因果性 -- 現在の状態が定量的に表現されると, 将来も計算できる。

(量子力学では不確定性を含んで計算できる。)

これらの「自然法則」は、「発見」されたものである。

「自然法則」は、人間が知ろうと知るまいと、厳然と存在していた。

だから、「発明」でなく「発見」という。

自然（特に非生物の自然）に関わるすべての現象に共通に適用される法則。

これらの「原理」の良否を判断するのはつぎの基準である。

- ・ 実験による検証： 実験により、矛盾が見出されないこと。
- ・ 簡潔性： 最も単純に表現している。
「オッカムのカミソリ」： 単純・簡潔であればあるほどよい。
「牛刀で狗肉を切る」のはだめ。
- ・ 普遍性： 広い範囲で（空間的・時間的・条件的に）適用可能。
条件が少し違えば適用できないのでは、だめ。
- ・ 根本性： 他の原理に依存せず、逆に、他のいろいろな法則を説明できる。
- ・ 応用性： 実際の問題に応用しやすく、多くの現象を説明できる。

物理学のこれらの「原理」は、ほぼ「真理」であると思われる。

それでも、なお、物理学の新しい「発見」が続き、いろいろ修正されている。

例： ニュートンの「力学」は、原子・分子の世界では成り立たず、
「量子力学」が見出された。

それでもわれわれの通常の世界では、「力学」が十分正しい。

「力学」は「量子力学」のマクロの世界での近似である。

半導体の性質、化学反応のしくみなどでは、

原子・分子を考える必要があるから、量子力学を使う。

（その「結果」を、普通のことばで解説することはできる。）

物理学では、特に素粒子論や宇宙論の分野で新しい根本的な原理が追求されている。

3.2 原理からいろいろな分野の「理論」が導かれる

物理学の基本原理を、さまざまの（単純化した）問題に適用できる。

適用した結果を整理して、その問題（分野）での「理論」が作られる。

例：古典力学の原理	機械にはたらく力 ロケットに働く力	機械の作動の理論 ロケットの軌道の理論
電磁気学の原理	電流が作り出す磁力 電磁波の伝搬	電磁石の設計の理論 マイクロウェーブの伝送の理論
量子力学	分子の中の力 半導体の中の電子の振る舞い	分子の構造の理論 半導体の物性の理論

基本原理からどのように「理論」が導かれたかを正しく知っておくことが大事。
しばしば複雑な数学的計算（数式の導出）が必要になる。
そして、この過程で、厳密な計算ができないので、
しばしば適当な「近似」が必要になる。

例えば、

「機械の中の一つの部品は単一の均一な材料でできている。
丸棒は完全な円形断面で、太さ一定で、傷一つない。…」

「水を連続で均一な「液体」であると考え、水分子の存在は無視する。」

さまざまな科学・技術分野で実際に使われている「理論」は、
このような「近似」に依存したものである。

「近似」： 原理の適用を容易にするための仮定、簡易化、単純化。
より厳密に考えると正しくはない（と分かっている）が、
正しいものからの違いが大きくないと期待されるような
おおよその扱い方。
（違いそのものを厳密に知ることは不可能だが、
違いのおおよそは推定しておく必要がある。）
より複雑な問題を扱うために必要になる。

なお、多くの「理論」は、「原理」からの近似として得られるだけでなく、
前述の実験的な「仮説」としても得られる。

これらが「モデル」と呼ばれることも多い。

3.3 実際の問題に「理論」を適用して、結果を推論する

実際の問題（例えば、電気回路や機械の振る舞い）に「理論」を適用する。

具体的な条件設定（例えば、回路部品の性質や電圧など）

適切な「理論」の適用

結果としての振る舞い

このとき、注意すべきことは、

- ・ 適用する「理論」（の中に含まれている近似）が、
扱おうとしている問題の条件設定に対応していることが必要。
- ・ 「理論」による式を作れても、それを数学的に解くことが難しいことがある。

また、理論を適用して振る舞いを計算することが本当の目的ではなく、
上記の「具体的な条件設定」に含まれるものの性質や量が未知であり、
それらを求めることが本当の目的である場合も多い。

これを「逆問題」という。

条件設定をいろいろに変えて、望ましい振る舞いをするものを探す。

3.4 原理・理論 科学的推論 応用 は「演繹」のアプローチである

原理・理論を設定して、それを具体的設定条件に適用して推論するのは、「演繹（えんえき）」のアプローチである。

原理・理論が正しく、推論が正しければ、推論結果も正しいと考えられる。

これは「科学的だから正しい」と主張されるときに多い論理であるが、本当に、原理や理論が正しいか（実際の問題を反映しているか）、推論に見落としや誤りがないか、を上記のようにチェックすべき。

3.5 「物理学は自然と生命の認識のすべての基礎である」 --- (Yes! and No!)

現代の自然認識においては、

物理学の基本原則が、すべての物理的現象を説明するだけでなく、

化学の基礎（分子の性質や反応など）は物理学（特に量子力学）で与えられ、

生命科学の基礎（生体分子や遺伝情報など）は化学と物理学で与えられるから、

「自然と生命の全ては物理学によって認識できる」と考えられる。

これは、Yes！であり、同時に No！である。

No！である理由は、

- ・ 物理学自身が多くの未知の問題を持っている。
- ・ 基本原則からすべてを説明することはできず、いつも「近似」が必要になる。
- ・ 特に多数の物が関係するときには相互作用の影響が実際上計算できなくなる。
- ・ 量子力学的不確定性だけでなく、乱流などの確率的な不確定性がある。
- ・ いままでの自然科学で明らかにできていない問題はやはりまだまだ多い。
- ・ 特に生命に関わる問題で物理学よりも、「情報」のアプローチが必要になる。
- ・ 原則的に認識できることと、具体的な個々の現象を説明できることとは違う。

4. 問題 分析 解決策 応用 のアプローチ

4.1 「問題」の認識

ここでいう「問題」は、何らかの困難/障害/害のある、克服したい状況をいう。

客観的に何か困難な状況があっても、

当事者がそれを「問題」として克服しようと考えていないならば、その当事者にとっては、本節でいう「問題」ではない。

だから、ここの「問題」は、主体的にどう「認識」するかが最も重要である。

同一の状況であっても、「問題」のとらえ方は、人によって異なる。

- ・ 困難/障害/害 の受け方, 受け取り方による違い
- ・ 状況の認識のしかたによる違い
- ・ 社会的な立場による違い
- ・ 克服したい方向, 理想の認識による違い
- ・ 困難/障害/害の原因に関する認識の違い

「問題」認識では, 特につぎの点を明確にする。

- ・ 何が求められているのか?
- ・ 何が克服したい困難/障害/害であるのか? (何が「困ること」なのか?)
- ・ ある範囲の「問題」のうちの, どの「問題」に焦点をさぼるのか?

4.2 問題を分析する

つぎのような点を明らかにする (分析する):

- ・ 困難/障害/害 のある状況には, どのようなものが関与しているのか?
- ・ 関与しているもののそれぞれの性質, およびそれらの間の関係・相互作用は?
- ・ 問題が明確になる前の, そのシステムの本来の意図・役割はどうか?
- ・ 困難/障害/害 のある状況にいたった原因, メカニズム, より深い原因は何か?
- ・ 望ましい/理想の状況はどんなものか? どんな方向か?

4.3 解決策を考え出す

つぎのようなことを考える (発想する):

- ・ そのシステムの本来の意図や働きを回復・強化するにはどうすればよいか?
- ・ 困難/障害/害 の原因となっているものを無くすにはどうすればよいか?
- ・ 望ましい/理想の状況を実現するには,
どのような働きをするどのような性質のものを考えればよいか?
- ・ いろいろな解決策を適用したときに, 状況はどのように変化するか?
もし新たな問題が生じそうなら, どうすればそれを克服できるか?

4.4 解決策を適用する

この場合の「適用」は, 実際の状況を改善するために解決策を試行・実行すること。

単に考察したり, 計算で求めたりすることとは異なる。

「実行」には, 社会的・技術的ないろいろな状況変化を主体的に起こす必要。

「実行」が成功するためには, いろいろな準備が必要であり,
実践するための心構えや方法が必要である。

4.5 問題 分析 解決策 応用 のアプローチを「問題解決」という

このアプローチは, 実際上の必要に迫られて行う, 実用のアプローチである。

実社会で, 日々必要となるのは, このような実践的アプローチである。

分析段階では、(1)の「帰納」的アプローチを、もっと具体的に使う必要がある。

解決策を考える段階では、(2)の「演繹」的方法と科学的素養が必要であるが、望ましい結果を実現するためのさまざまな方法を考え出す必要がある。

3.4節でいう「逆問題」よりもさらに逆上った思考を要求される。

3節では、条件設定 結果の予測 という推論であるが、
本節のアプローチでは、実現手段（すなわち条件設定）を探すことが必要。

これは、科学技術における「技術」の本来的な立場のアプローチでもある。

(例えば、情報システムを設計・構築するのは、「技術」開発そのもの。)

このような問題解決のアプローチは、

「必要」から生まれる。

切羽詰まった状況、切羽詰まった気持ち

何とかしたい/何とかしなければならぬ という気持ちから生まれる。

これが人類の生命・生活を支え、発展させてきた。

この問題解決のアプローチが、大学などで体系的に教えられる機会が少なかった。

個別の問題で教えられても、「一般的な方法」としては教えられなかった。

「一般的な方法」として確立されていなかったから。

本講義では、

最近の研究（特にTRIZの研究）をベースにして、

この「問題解決のアプローチ」の「一般的な方法」を話す。

[この点で非常に新しい試みの講義科目である。]