2009 年度 化学工学特論第一

研究・技術・自分のマネジメント

[論理的思考]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻

プロセスシステム工学研究室

加 納 学

http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/

2009.03.31 初版作成
2009.04.11 最終改訂

基本

論理的思考を身につけるために，まず，論理の基本を復習しておきます．

問題（ウェイソンの４枚カード問題） [1] [2]

４枚のカードがあります．どのカードにも，片面にはアルファベット，別面には数字が書いています．「母音の裏側は必ず偶数である」ことを確かめるためには，どのカードをめくる必要があるでしょうか？

A	K	4	7

問題（研究成果）

次の主張は正しいでしょうか？

> あの装置を使えば，私は絶対に素晴らしい研究成果をあげられる．
> しかし，あの装置は使えない．
> だから，私は素晴らしい研究成果をあげられない．

もし正しくないと考えるなら，問題点を指摘して下さい．

問題（化学工学者）

次の主張は正しいでしょうか？

> 化学工学者は物質収支式と熱収支式を導出できる．
> 私は化学工学者である．
> だから，私は物質収支式と熱収支式を導出できる．

もし正しくないと考えるなら，問題点を指摘して下さい．

問題（論文）

次の主張は正しいでしょうか？

> Ｘ博士の論文Ａは優れている．
> Ｘ博士の論文Ｂは優れている．
> だから，Ｘ博士の論文は優れている．

もし正しくないと考えるなら，問題点を指摘して下さい．

解説

「ウェイソンの４枚カード問題」は非常に初歩的な論理の問題ですが，間違ってしまう人が多い問題として有名です．この問題では，「母音⇒偶数」という命題の真偽を確かめるように求められています．したがって，どのカードをめくる必要があるかという問いに対しては，元の命題「母音⇒偶数」の真偽に加えて，その対偶「偶数でない⇒母音でない」，つまり「奇数⇒子音」の真偽を確かめればよいと考える必要があります．めくるべきカードはＡと７の２枚のカードであるというのが答えです．

言われてみれば，確かにその通りだと思うでしょう．ところが，「４のカードをめくるべき」と答える人が多いようです．４の裏が母音なら満足なのかもしれませんが，４の裏が子音であっても何の不都合もありません．与えられた命題の逆と裏については，その真偽を確かめる必要はないのです．

続いて，「研究成果」の問題について考えてみましょう．某国の研究グループが最新型超高性能装置を用いて，世界的に注目される研究成果をあげているのに，自分の研究グループは貧乏なために同一の装置を使用できないという状況です．「トホホ，あの装置さえ使えたらなぁ」というぼやきが聞こえてきます．同情してあげたくもなりますが，しかし，この主張は間違いですね．「ある装置の使用⇒素晴らしい研究成果」という命題が真であるとしても，「ある装置の不使用⇒劣る研究成果」が真とは言えません．その装置を使わない研究によっても，素晴らしい成果をあげることはできるはずです．そう思えないようであれば，研究者にはならない方がよいでしょう．この場合に正しいのは，元の命題の対偶「劣る研究成果⇒ある装置の不使用」です．つまり，劣った研究成果しかあげられないのであれば，最新型超高性能装置を使用していないと判断できるわけです．まあ，このような判断にそれほど価値があるとは思えませんが，論理的にはそういうことになります．同情できることと論理的に正しいこととは必ずしも一致しません．

「化学工学者」の問題と「論文」の問題はどうでしょうか．簡単だと感じた人が多いと思います．まず，「化学工学者」の問題から考えていきましょう．「化学工学者は物質収支式と熱収支式を導出できる」ことと「私は化学工学者である」ことを認めるならば，「私は物質収支式と熱収支式を導出できる」という主張は正しいと言えます．なぜなら，「化学工学者」の中に「私」が含まれているため，「化学工学者は物質収支式と熱収支式を導出できる」なら「私は物質収支式と熱収支式を導出できる」からです．このような推論は演繹と呼ばれます．常に正しい推論であって，間違いを犯すことはありません．しかし，この問題で検証しなければならないのは，主張の根拠になっている「化学工学者は物質収支式と熱収支式を導出できる」という命題の真偽です．これは正しいでしょうか．化学工学専攻の一員としては正しいと信じたいのですが，極めて残念なことに，現実には正しくなさそうです．「えっ，化学工学出身なのに，収支が取れないの！？」という状況が希にあるらしいです．そうであれば，根拠が間違っているわけですから，いかに論理の展開が緻密で正しくても，何の意味もありません．そのような議論は，耳を傾けるにも値しないということになります．

このことから，重要な教訓が導かれます．正しく判断するためには，あるいは適切な意志決定を行うためには，

1. 事実を正確に把握すること
2. 正しく論理を展開すること

が不可欠であるということです．これを肝に銘じておきましょう．いかに世の中に暴論が蔓延しようと

も，我々はそのような主張に惑わされることなく，事実を丁寧に調べ，正しい情報に基づいて，適切な結論を出すように努力しましょう．

それでは最後に，「論文」の問題について考えてみます．この主張が間違いであるというのは簡単にわかるでしょう．論文Aと論文Bが優れていたとしても，論文Cも優れている保証はありません．したがって，この主張は間違いです．しかし，果たして，「この主張は間違いだ」と主張することに意味はあるでしょうか．優れた論文AとBを書いたX博士の論文Cと，つまらない論文EとFを書いたY博士の論文Gとがあるとき，どちらか1つだけを読むとしたら，あなたはどちらを読みたいですか．X博士の論文Cを選ぶのではないでしょうか．それが自然に思えます．なぜでしょうか．恐らく，X博士の論文Cは優れているという推論が妥当に思えるからでしょう．このような推論は帰納と呼ばれます．このケースでは，帰納の中でも特に一般化と呼ばれる推論をしています．当然，一般化も含めて，帰納によって間違う可能性はあるわけですが，論文Cと論文Gに差はないと予想するよりは，論文Cが論文Gより優れていると予想する方が，つまらない論文を読んで時間を無駄にするリスクを回避できる可能性は高そうです．論理的に100%正しいことしか認めないという頑なな態度は，日常生活にも支障を来すでしょう．間違っているかもしれないけれども，もっとも確からしそうなことを選択する態度は，日々問題解決をしている人間にとって自然な態度だと思えます．ただし，「間違っているかもしれない」ということを無視してはいけません．間違いであることを示す事実が見付かったら，いつでも態度を改められる心の準備が必要です．

この「論文」の問題に関する考察から，研究者として心に留めておくべき教訓が導かれます．それは，質の悪い論文を書くと，次の論文は読んでもらえないだろうということです．あなたが初めて執筆する論文を読んだ研究者の記憶には，「○○氏の書く論文は興味深い」あるいは「○○氏の書く論文はつまらない」のいずれかとして残ります．もし2報目も同じであれば，この考えは強化され，「○○氏の書く論文は読むべき」あるいは「○○氏の書く論文は読んでも時間の無駄」となるでしょう．論文だけではありません．学会発表も同様です．研究内容とプレゼンテーションの双方が良ければ，その発表を聞いた人は次も聞きに来てくれることでしょう．一方，研究内容とプレゼンテーションの双方が悪ければ，あるいは一方のみが悪くても，その発表を聞いた人はもう二度と聞きに来てくれないかもしれません．あなたの発表を避けて，会場から出て行くことでしょう．もちろん，基調講演を依頼されることなど望むべくもありません．したがって，研究者である我々は，常に，これが最初で最後のチャンスだという気持ちで，論文執筆や学会発表に取り組むべきなのです．その覚悟がないなら，論文を書くべきではないし，学会発表もするべきではありません．

発展

非論理的な主張が横行する世の中ですが，事実に基づき，正しく判断を下せることは非常に大切です．少なくとも，研究者や技術者であれば，自分が関連する分野では，事実に基づいて正しく判断できなければ困ります．本人が困るだけでなく，そのような研究者や技術者の存在は社会正義に反します．それによって誤った方向に社会が進んでしまう危険性があるからです．特に環境問題は，その問題自身の重要性と社会の関心の高さに対して，事実関係の確認が困難であるため，デタラメな主張が横行しやすいと言えます．どうすれば主張の真偽を見抜けるか，具体的な問題を通して考えていきましょう．

問題（ハイブリッドカー）

次の主張は正しいでしょうか？

> ハイブリッドカーは燃費が良く，環境に優しい．
> だから，低燃費のガソリン自動車に乗っている人達は，
> すぐにでもハイブリッドカーに乗り換えるべきだ．

賛成派と反対派にわかれた上で，根拠を明らかにし，議論を経て，結論を導きましょう．

問題（マイ箸） [3]

次の主張は正しいでしょうか？

> 環境問題の１つとして，世界的な森林破壊が問題になっている今，
> 使い捨ての「割り箸」を使うのは良くない．
> 代わりに，「マイ箸」を使うべきだ．

賛成派と反対派にわかれた上で，根拠を明らかにし，議論を経て，結論を導きましょう．

数学

線形代数を題材に，緻密に考える練習をします．「えっ，数学！？」と身構えてしまうかもしれませんが，取り上げるのは，大学一回生で習う線形代数の教科書の最初の数ページです．プロセスシステム工学研究室では，私が大学院生として配属されるより遙か以前から，数学ゼミを開催していました．数学ゼミの狙いは，次の３点に集約できます．

1. 理解するとはどういうことかを知る．
2. 論理的に考え抜く力を身に付ける．
3. 勉強する姿勢を身に付ける．

そのための題材として，線形代数は非常に優れています．また，線形代数はデータ解析やシステム理論などに必要不可欠な基礎知識でもあります．では，「理解するとはどういうことかを知る」，「論理的に考え抜く力を身に付ける」，「勉強する姿勢を身に付ける」ために，なぜ線形代数が適しているのでしょうか．それは，線形代数の広大な世界を旅するのに，たった８つのルール（数学では公理と呼びます）だけを携えておけばよいからです．その他には何も知っている必要はありません．

問題（ゼロ） [4]

線形空間の８つの公理のみを用いて，$x \cdot a=0$ であれば，$x=0$ または $a=0$ であることを証明しなさい．

ここで，線形空間の元（ベクトルと思って下さい）を a，b，c，係数体の数（スカラーまたは数字と思って下さい）を x，y とします．線形空間の８つの公理とは，以下のルールです．

1. どんな元 a，b についても

   $a+b = b+a$

2. どんな元 a，b，c についても

   (a+b)+c = a+(b+c)

3. 特別な元（それを 0 とかく）が存在して，　どんな元 a についても

   0+a = a

4. どんな元 a についても

   a'+a = 0

   をみたす元 a’ が a に対応して見付かる

5. どんな元 a についても

   1･a = a

6. どんな元 a と，どんな 2 つの数 x，y についても

   x･(y･a) = (xy)･a

7. どんな元 a，b と，どんな数 x についても

   x･(a+b) = x･a+x･b

8. どんな元 a と，どんな 2 つの数 x，y についても

   (x+y)･a = x･a+y･a

引用文献

1. 安西祐一郎. 問題解決の心理学—人間の時代への発想.： 中央公論社, 1985.
2. 市川伸一. 考えることの科学—推論の認知心理学への招待.： 中央公論社, 1997.
3. 後正武. 経営参謀が明かす論理思考と発想の技術.：PHP 研究所, 2006.
4. 笠原晧司. 線型代数と固有値問題—スペクトル分解を中心に.： 現代数学社, 2005.