

## 論文による技術・知識の伝承

高橋 宏知

## 1. 事象

研究者は、技術や知識を伝達するために、論文を執筆する。人類は、大昔から多くの技術や知識を論文で伝承し、発達させてきた。研究成果を効率的に知識化し、文書として情報発信する技術、すなわち、論文執筆技術は、研究者にとって生命線である。その技術習得は、若手研究者に立ちはだかる大きな登竜門の一つでもある。そこで、技術・知識の伝承という観点から、論文の書き方について、初めて論文を書く人が犯しやすい誤りも合わせ例示しながら、筆者の考え方を述べる。

## 2. 論文の要求機能

論文の要求機能は、言うまでもなく、結論、すなわち、知識を導き出し、それを後世に伝えることである。ここで、論文での知識化とは、図1に示したように、観察された現象、すなわち、実験データから共通性・本質・原理などを抽出することである。つまり、具象の世界の現象を、一般化・抽象化すると知識になる。

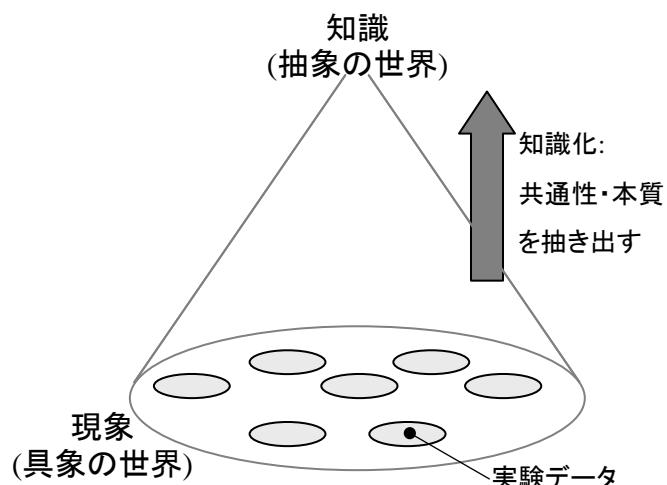


図1 知識と現象の関係

## 3. 論文の書き方

論文は、通常、序論・方法・結果・考察・結論からなる。この構成は、昔から変化していない。これは、この構成が知識を伝承するために、最適化されているからであると考えられる。何も知らない学生が卒業論文を書くと、実験した順序で、時系列に文書化していく。学生は、その方が分かりやすいと主張するが、それは、本人がストーリーと結末を全て知っているからである。読者からしてみれば、話がコロコロと入れ替わるため、論旨が非常に分かりにくくなる。論文は推理小説ではない。したがって、論文に奇想天外な構成は必要ない。

論旨から大きく逸れないようにするために、(1) 結論、(2) 方法と結果、(3) 序論と考察の順序で書くとよい。

(1) 結論を書く：論文は、全体を通して「言いたいこと」、すなわち、「結論」がないと成り立たない。結論は、自分が言いたいことを明確に、具体的に記述するだけなので、慣れれば誰でも比較的容易に書ける。論文のストーリーは、結論の内容でほぼ決定される。したがって、論文を執筆するときは、結論から書き始めると良い。ただし、結論に優柔不断な主張は禁物である。「実験の結果、ああでもないし、こうでもない。結局わからない」では、

知識にならない。このような場合、多くの場合、論文執筆には時期尚早である。説得力がある結論を導くために、まだ実験を続けるべきである。また、実験結果の羅列も知識にはなり得ない。例えば、「結論を「実験 I, II, III を実施した。その結果, I', II', III' という結果を得た。」としても、一体、何が言いたいのかわからない。「これらは、P という原理を裏付けている。」というまとめが欠けている。

(2) 方法と結果を書く：方法と結果も、自分が実施したことと観察された現象を、事実に則して、淡々と記述すればよいだけなので、誰でも書ける。なお、初めて論文を書く学生は、実験ごとに方法と結果を続けて書きたがり、方法と結果とを分けて書くことをしばしば拒む。確かに論文の著者は、実験ごとに方法と結果を続けた方が書きやすいが、読者は、方法だけを先にまとめて読んだ方が、実験の全容を効率的に把握できる。

### (3) 序論と考察を書く

結論を理路整然と導くために、序論では、従来から得られている知識に基づいて、論点を要領よく議論し、考察では、新しい実験データと従来の知識に基づいて、新しい知識を創出する。論点を明確にし、それに沿って、自分の結果・経験を知識化していく作業は案外難しい。コツを掴むまではなかなか苦戦する論文執筆も、多くの論文を読むと、実は、一定のパターンがあることに気付く。

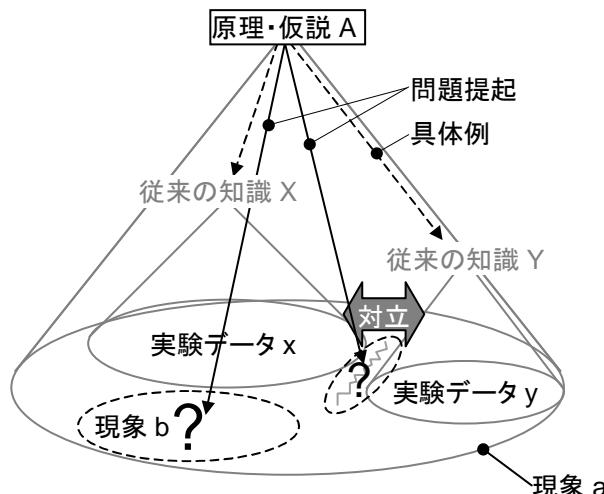


図2 序論の構成

「序論」の代表的な構成を図2に示す。序論では、抽象の世界から具体例を示しながら、基本的にトップダウンで議論していくとよい。序論の要求機能は、命題(研究の目的)を設定することである。その機能要素は、大きく分けて、

- (i) 論文で対象とする原理・仮説の紹介
- (ii) 従来の知識から得られる当該原理・仮説の具体例の明示
- (iii) 問題点の提起
- (iv) 研究の目的を明示すること

である。すなわち、論文は、多くの場合、「a」という現象があり、A と言う仮説が考えられている(原理・仮説の紹介)。いくつかの先行研究(例えば、実験データ x に基づいた従来の知識 X)は、A で説明できる(具体例)。しかし、A という仮説で、まだ現象 b は調べられていない。本研究では、現象 b を検証する。」という構成になる。ここで、従来の問題点、すなわち、何故、現象 b がまだ調べられていないかを示すと、説得力が増す。例えば、「従来の手法では、計測分解能の制限から、現象 b の検証は技術的に困難だった。したがって、本稿では、計測分解能を向上できる新しい手法を開発し、現象 b を検証する。」とする。ま

た, 複数の先行研究の知識 (従来の知識 X と従来の知識 Y) が互いに矛盾しており, その論争に決着をつける場合も多い. そのときも, どうして矛盾が起こっているか, 原因となる問題点を明記し, その狭間を自分はどういうに埋めるかを理路整然と論じる. 序論では, 提起したい問題に対して, 原理・仮説と現象の具体例を, 過不足なく, 適切に選ぶことが成功の鍵になる.

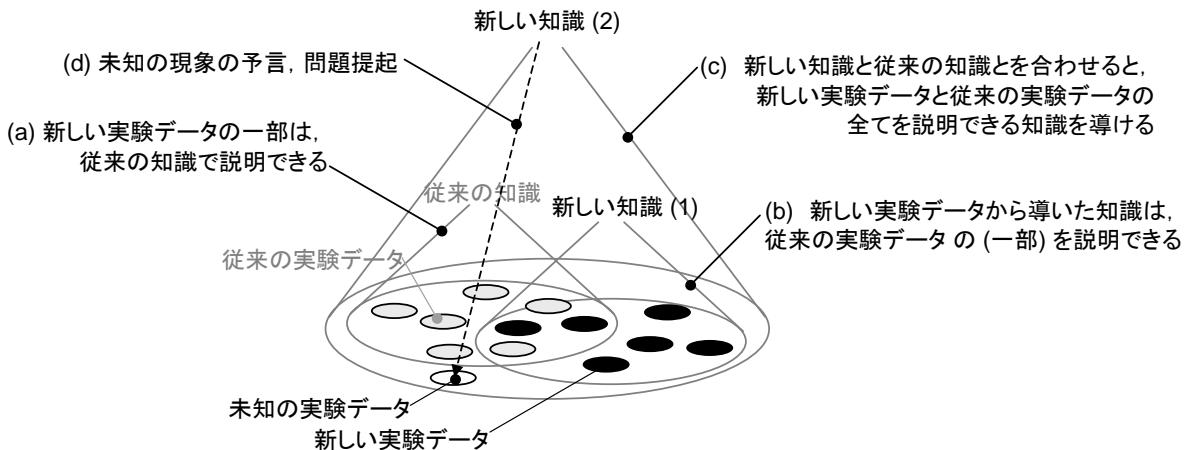


図3 考察の構成

「考察」の代表的な構成を図3に示す. 考察の要求機能は, 新しく得た結果を知識化し, 結論に導くことである. その機能要素は,

- (i) 結果のまとめ
- (ii) 先行研究との比較
- (iii) 知識化

となる. 結果をまとめて, それを先行研究と比較することは, 似たような論文を必死に集め, 調べさえすれば, 比較的容易にできる. 先行研究と比較することで, 自分の実験手法が致命的に誤っていたことを言えればよい. 最も重要な要素は, 知識化, すなわち, 新しい実験データと従来の知識から共通性・本質を見つけ出し, 当該分野で他人が参考にできるように体系化し, 位置づける作業である. 卒業論文や簡単な技術報告のように, 自分の実験結果だけを対象にする場合, 図1に示すように, この作業は比較的単純である. しかし, 実際の論文では, 出来るだけ多くの現象を説明できる知識を創出しなければならない. この具体的な作業は, 図3に示したように,

- (a) 「新しい実験データの一部は, 従来の知識で説明できる」
- (b) 「新しい実験データから導いた知識は, 従来の実験データ（の一部）を説明できる」
- (c) 「新しい知識と従来の知識とを合わせると, 新しい実験データと従来の実験データの全てを説明できる知識を導ける」

という3パターンで基本的に実現できる. すなわち, 考察では, 具象の世界からボトムアップで議論していくことになる. このように, 考察を書いていくと, 自然に自分の研究内容がこれまでの学問分野の中に位置づけられる. さらに, 考察では, 大きな知識を導いた後に, 序論のように, トップダウンで未知の現象を予言したり, 問題を提起したりできる(d).

図4に, 初心者がしばしば陥る不適切な考察の例を示す. 当たり前のことだが, 従来の知識で新しい実験データを全て説明できてしまうと, 「この論文には情報量がない」と指摘される. つまり, 新しいつもりの知識でも, それが従来の知識に完全に含まれていれば価値がない. また, 必死に先行研究を調べ, それらの共通性から知識を導いたところまではいいが, その知識で新しい実験データ（の一部）を説明できない考察も不適切である. このような場合, 「あなたの論文は, 解説論文のようで, 原著論文として不適切である」と指摘

される。つまり、新しい知識は、新しい実験データを取り込んでなければ価値がない。他人の論文の序論や考察を切り貼りして、自分の論文の考察を書くと、必ず、このような過ちを犯すので注意されたい。

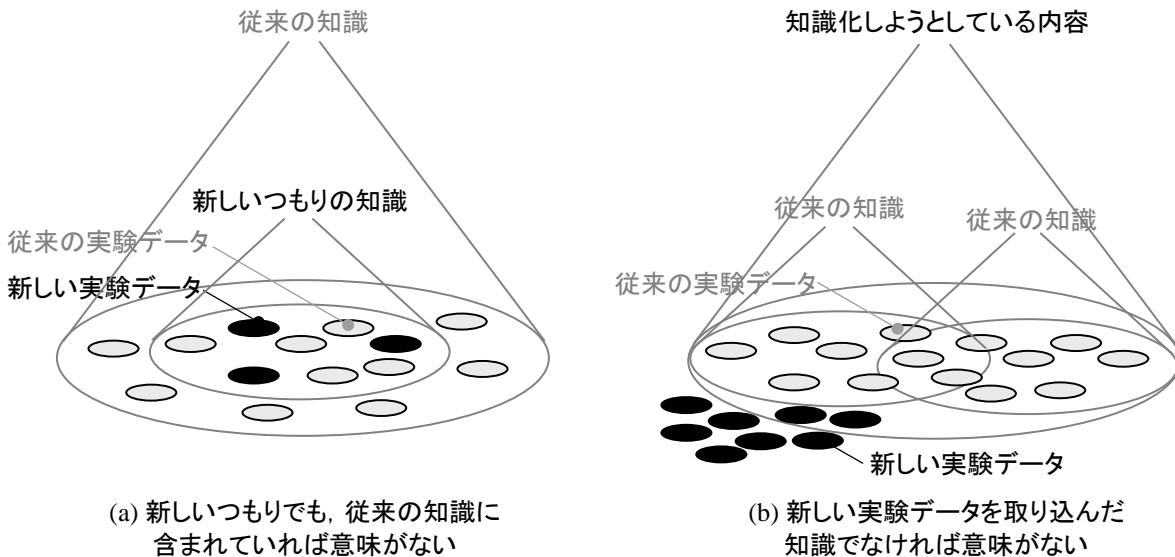


図4 不適当な考察

#### 4. 省察

このように、序論も考察も、具象の世界と抽象の世界を行き来する点で、執筆時の思考パターンは基本的に同じである。ただし、序論はトップダウンで、考察はボトムアップで基本的に書くと良い。また、論文のストーリーの整合性を保つために、序論と考察の内容は、ある程度対応付けておくとよい。特に、研究の目的(問題提起の内容)と結論(知識化した内容)とは、必ず対応させないと読者に混乱を招く。

ところで、実際に上記の方法を実践してみると、命題の設定や知識化の過程で最も必要なものは、従来の知識であり、従来の実験データであることに気付く。高い評価を得る論文は、新しい実験データに加え、様々な分野の従来の知識を総動員して新しい知識を導く。このような効率的なアウトプットを実現するためには、幅広くインプットを増やすための不断の努力が欠かせない。結局のところ、学問に王道はない。

#### 5. 知識化

- 論文執筆では、序論・方法・結果・考察・結論の標準的な構成を遵守せよ。読者がその構成を常に期待している。執筆者の独りよがりな構成は、読者を混乱させる。
- 序論はトップダウンで、考察はボトムアップで書け。
- 新しい知識とは、新しい実験データを用いて初めて説明できるものごとの共通性・本質・原理である。新しいつもりでも、従来の知識に含まれていれば意味がない。新しい実験データを取り込んだ知識でなければ意味がない。
- 従来の知識なくして、新しい知識は創出できない。勉強しろ。学問に王道なし。

#### 蛇足

本文では偉そうなことを書いたが、実はすべて筆者の失敗談であると、一人前に論文を書けるようになった今だから言える。しかし、これらの失敗を一通り経験しないかぎり、まともな論文を書けるようにはならないと思う。

### よもやま話

大学ランキング、企業ランキング、給与ランキングなど、最近は、何でも一様な尺度で格付けされる世知辛い時代である。論文もこれらの例に違わず、格付けされている。論文の価値は、引用回数を一つの尺度にできる。例えば、ノーベル賞の対象となるような論文は、他の論文に数千回は引用されている。しかし、この尺度で論文の価値を測るためにには、数年、あるいは、数十年かかってしまう。これでは、公募や人事で研究者の業績評価に使えない。そこで、便宜的に、Thomson 社による *Journal Citation Report (JCR)* という年次報告が、*Impact Factor* と呼ばれる尺度で学術雑誌（論文そのものではない）を格付けしている。*Impact Factor* は、その雑誌に掲載された論文が、他の論文に一年間で引用される平均回数を示す。*Impact Factor* は、Nature や Science など、世界的に権威ある雑誌で約 30 点（一つの論文が、年間で平均 30 回引用される）、日本機械学会の国際誌で 0.1 – 0.2 点（10 年に 1 度ないし 2 度引用される）、また、国際的な基準なので、和文雑誌では残念ながら 0 点である。業績主義の時代に、研究者は、少しでも *Impact Factor* を稼ごうと、自分の実験結果を少し曲げてでも、インパクトがある結論を導こうとする。これが、最近の社会現象となっている論文捏造の背景である。

総合科学雑誌の Nature や Science は、全科学分野を対象とし、最も注目に値する成果を厳選して掲載しており、研究者の憧れの的である。スポーツでは、タイトルを奪取した選手を賞賛して「Title holder」と呼ぶが、Nature に論文を発表した研究者を「Nature holder」と呼ぶ研究所もある。しかし、実際にノーベル賞の対象となる論文は、専門誌であることが多い。総合誌と専門誌の性質は、互いに異なり、どちらが学術的に価値があるかは、一概に言えない。実際に、*Impact Factor* 至上主義に異議を唱える研究者も多い。Nature や Science は、広範囲な素人読者を対象としているため、結論の分かりやすさとインパクトに最も重点を置く。したがって、これらの論文では、紙面の制約（枚数制限）から方法・結果の詳細までわからないことが多い。一方、専門誌は、紙面の制約を考えることなく、詳細な内容を必要なだけ自由に議論できる。したがって、同じ内容を論文にすれば、専門誌は総合誌よりも多くの情報量を発信でき、しばしば高い評価につながる。しかし、専門誌は、玄人（その分野のマニア）を対象とするため、その雑誌の平均引用回数はどうしても伸び悩む。これは、エッセンスを抽出し明快な畠村洋太郎著の縦書きの本が、泥臭く小難しい「実際の設計研究会」著の横書きの本よりも、比較にならないくらいよく売れるという事実と同様である。

研究業績の適切な評価は大切である。評価では、従来の学問分野にとどまらず、新しい学問分野を開拓するための研究者個々の資質が重視される。*Impact Factor* は、その目安となるにすぎない。どんな時代でも、論文を執筆するときも、業績を評価するときも、論文の要求機能を決して忘れないようにしたい。

### 畠村コメント

*Impact Factor* が低い雑誌には、投稿したくないという風潮が出てきているが、それは正常なのだろうか、それとも、いびつなのだろうか。実際に、日本語の論文には *Impact Factor* がつかないので、日本語で論文を書くこと自体、意味がないと信じ込んでいる人たちが多くなっている。そうすると、優れた日本語の論文はなくなっていく。それでいいのだろうか。優れた研究成果を日本から発信しようと、日本機械学会は国際誌を発刊している。そこに掲載されれば、*Impact Factor* はつくものの、日本機械学会の会員は果たしてそれを読むだろうか。0.1 点という *Impact Factor* の低さは、誰も読まないことを意味している。日本の学会には、英語の雑誌を発刊するよりも大切な役割があるようだ。

管理する側にとって、評価基準は大切である。研究者が他の研究を評価するだけの力量がなくなってきたから、*Impact Factor* に頼らざるを得ないのかもしれない。それでは、著名

な研究者は、他の研究の質を判断できるのだろうか。「研究者による事後評価は、研究者同士で高い点をつけあつていいだけで、何も客觀性がなくてよくない」という批判は、昔から枚挙に暇がない。結局、評価を一律の基準に頼ろうとすると、必ず社会はいびつになる。現代社会では、このような「評価に対する矛盾」が至る所で起きている。