

研究読本

Ver 1.7

植松 友彦@東京工業大学

uematsu@ss.titech.ac.jp

平成13年7月3日

東京より日本は廣い。日本より頭の中の方が廣いでせう。困われちゃ駄目だ。(夏目漱石：三四郎)

1 研究を始めよう – 研究は楽しい

世の中には、良い文章の書き方を指導する文章読本と称する本がある。そこで、良い研究の仕方を指導するものがあるかもしれないと思って記述したのが小文である。

まず、研究を始めるにあたっての心がけについて述べる。

1.1 ノートを用意しよう

研究を行なっていく途中の経過を記録できるようにノートを用意すること。もちろん、紙に書いてそれをファイルに綴じるのもよいが、このやり方ではメモを時系列的に並べるのに手間がかかるので、なれない間は専用のノートを用意するのが便利である。また、混乱を避けるため、原則として一つの研究には一冊のノートを用意し、複数の研究で一つのノートを共有しないこと。

ノートの表紙には、このノートの使い始めた最初の年月日を記入しておくこと。また、ノートの各ページには、そのページに書き込みを行なった月日を必ず記入しておくこと。人間は、時系列的な順番に対しては記憶が明確なので、このようにしておくことで、その研究に対して既に行なったことや(失敗したことを含めて)必要なことが、1冊のノートを見ることですぐ分かる。また、失敗したことも必ず書き止めて置くこと、そうしないと、解けない問題を何度も考え直すという無駄を繰り返すことになる。

女の子がよくやりがちなことだが、別の紙に書いたものをノートに清書するという方法は勧められない。書くだけで2倍時間がかかるし、最初の紙の隅に書き

た発想が(たとえ役に立たなかったとしても)失われてしまう。このような発想は、別の問題を解くときに使えることもあり、いったん失われてしまうと、なかなか思い出せないことも多い。このような書き方をしていくと、ノートは、一見すると雑記帳やらくがき帳のような体裁になるが、人に見せる訳ではないので、私はそのようにして使っている。

1.2 文献整理の為のファイルを用意しよう

研究を行うにつれて、コピーした文献が溜っていく。この文献を上手に整理することは研究において重要な役割を果たす。必要な文献を探すのに、1日もかかっていたのでは、せっかく魚を見つけても、つり上げない内に逃げられてしまう。

最初の内に文献を整理する方法としては、クリアーファイルを用意して、1ページに1つ文献を入れて、文献の題名が見えるようにして整理するのが簡単である。論文が増えてきたら、分野を細分して、細分した分野毎にファイルを用意するのが鉄則である。この場合、複数の分野にまたがる文献は、その分野の数だけコピーを取って、各々の分野のファイルに入れておくと探す時間が短時間ですむ。

クリアーファイルを用いた整理法では、探すのは比較的早いが出し入れがやや面倒である。これを改善する方法としては、同一分野の文献がある程度集まったら、製本してしまうという方法がある。このようにすれば、出し入れする必要はなくなる。製本する場合は、必ず目次とタグをつけて、短時間で文献が引き出せるように工夫すること。

数年経つと、相当数の文献を保有するようになる。このような状況では、もはやクリアーファイル等では分類は不可能であるし、時間と共に分類も変わっていく。この段階では、A4サイズの内紙が横にして入る整理用の箱(商品名はボックスファイル)を用いて整理する方法をお勧めする。このような箱を用いた場合、箱の外側には大分類を書いておき、箱の中の文献は仕切りを利用して小分類するのが便利である。

更に現代的な方法としては、HTML等を用いて、コンピュータ上で論文を整理する方法がある。この方法では、1論文についてHTMLファイルを1つ作成する。ファイルには、アブストラクトや抄訳を記入し、関連論文や論文相互の関係をリンクによって明示的に示す。このようにすることで、全文検索ができる他、作成者の頭の中での論文どうしのつながりが他人にも見えるようになり、特定の研究者の知識を研究室で共有することが可能になる。この方法については、まだ試験中であるが、将来的には有望な方法だと思われる。

いずれの方法にせよ、必要な文献が5分以内に見つかるようにすること。そうでなければ、その文献は持っていないのと同じであり、いざという時に役に立たない。

1.3 研究の心構え

トランペット奏者のウィントン・マルサリスが出演したTV番組「怪物に挑む」において、マルサリスは「練習は楽しいものではないが、進歩し、偉大になるためには他には方法はない。ただし、誤った練習は害があるばかりで利もない。」と述べている。次に述べるのは、マルサリスによる練習の12条である。この12条は音楽の練習のみならず、研究や他のスポーツ等にも当てはまる。何度も読み返してほしい。

1. 教え手は船のキャプテンと同じ。航路をしっかりと知っている人を選び。
2. 基本をしっかりと学び取る計画表を書け。
3. リアルスティックでしかも挑戦できる目標を立てろ。
4. 1ヵ月でこの基本を、2ヵ月でこの壁をという具合に練習せよ。
5. 集中することを学べ。練習の時間を自己の矯正に使い。集中できなかったら、止めてやり直しの時間をもて。
6. リラックスせよ。(学ぶときにゆったりしろ。早く上達したくても、上達するための練習は急げない。)
7. 難しい個所に時間をかける。
8. 全ての音をきちっと表現してプレーせよ。
9. 誤りから学べ。誤りをおそれるな。
10. 見せびらかすな。(一時的な名声を得るために、大切な、音楽自体を犠牲にしてはならない)
11. 自分で工夫しろ。
12. 楽観的になれ。
13. 共通点を見出せ。

2 研究分野の見つけ方 – 分野探しは恋人を見つけるのと同じ

長年つきあえる研究分野を見つけることは、恋人探しと同じようになかなか難しい。研究分野の選び方の秘訣は、自分の好きな分野を選ぶということである。自分の嫌いな分野を研究した場合、研究しているうちにたまたま好きになることがなければ、大半の人は、卒業するためだけにその分野を研究しただけに留まり、すば

らしい研究成果がでることは稀である。従って、たとえ教官が勧める分野であっても、自分の気に入らない分野は、素直に「いやです」というのがコツである。「好きこそもの上手なれ」という諺の通り、好きな分野を研究せずに、よい成果が得られるはずがない。

2.1 指導教官の選び方

研究分野の選び方の第一歩は、適切な指導教官を選べることである(マルサリスの1条)。もし、自分の研究分野がはっきりと決まっている場合、その分野に最も近い指導教官を選べばよい。やりたい分野に近い指導教官がない場合、他分野の教官の中から、好きなことをやらせてもらえる教官を指導教官として選ぶ必要がある。しかも、この場合、教官によっては、「君の面倒はみないから自分でやってくれ」と引導を渡される場合も多いので、それなりの注意と覚悟が必要である。

指導教官の専門分野と自分の研究分野がほぼ同一の場合、常に適切な助言が期待できる。この意味で、どんな研究をしても、あまりハズレを引く心配はない。しかし、これでは、「お釈迦様の掌で遊んでいる孫悟空」であり、自分は指導教官とはやや違う分野を研究したいというならば、指導教官にゴネられない範囲で、やはり道は自分で切り開くしかない。

最後に、そしてこれが最も重要なことだが、指導教官と自分との相性を考えておくこと。指導教官とは年中顔を会わせることに加え、就職その他の相談に乗ってもらうことも多い。そのため、配属したい教官の研究室の学生から、予め指導教官の性格を聞き、自分と折り合いがつかかを調べておく必要がある。いくらその分野では著名な研究者であっても、殺気がみなぎっており、話をするだけで息が詰まるようならば、指導教官として選ぶべきではない。また逆に、どうしても適切な指導教官が見つからない場合は、「この教官ならば卒業(あるいは修了)までつき合っていけそうだ」と思う人を選ぶこと。

「こうして私は山内先生を師として選んだわけであるが、いま一つの理由は、この先生のもとであればきっと自由な研究ができるにちがいないと思ったからである。田辺先生は実にすぐれた哲学者であるが、その弟子は、先生の厳格な哲学の概念の中で身動きのとれないような状況であった。山内先生のもとならばそんなことはあるまい。

予想通り、私は先生の学問とは全く異なる学問をしたが、それでも先生は何もおっしゃらず、私の『水底の歌』を読んで、「梅原君もよくやった」とほめてくださった。」(梅原猛：私の履歴書)

2.2 就職との関係

研究分野の選び方でよく見えない所が就職との関連である。どのような職種に就職するつもりかによっても、研究分野は実は微妙に関連してくる。例えば、通信機器メーカーの研究所に入社したいと思うなら、当然、関連する分野を選び、その分野の指導教官を選んだ方が、教官と関連企業との関係もあり将来的に有利になる。他方、電気情報系以外の業種(例えば流通や金融)や地域産業を志す場合あるいは地方公務員になりたいという場合は、どの研究分野を選んでも就職には直接的に関係はない。

気を付けなければならないことは、研究分野の選択が、ときとしてはあなたの一生を決めることになるかもしれないことである。研究室紹介を聞いて、面白そうだからというだけで、安易に研究分野と指導教官を決めてはならない。自分が何をしたいのか、将来何になりたいのかを自問自答して、真剣に考えて決めること。

2.3 研究分野の選び方のヒント

以下の項目は、実際に研究分野の選び際のヒントを与えるものである。

2.3.1 流行の違い

1. 現在流行している分野

某K大学のN先生の言に、「何を研究したらいいかわからないときは、みんながやっている研究をしなさい。」というのがある。この言葉は、流行している分野の選択を勧めていることに他ならない。研究室で皆が研究している分野や学会・シンポジウム等で多くの発表がある分野がこれに該当する。このような分野を選択した際のメリットは、研究の必然性が明確であり、文献が集め易く、議論をする相手に事欠かないことである。その反面、研究は多くの研究者との競争となるので、成果を出すのに時間をかけることはできず、研究はスピードが命となる。

2. 流行していない分野

この分野を選択する際、なぜ研究者がいないのかを考えておく必要がある。例えば、古典回路理論におけるLCR回路の構成の分野のように分野自身が渴れた為か、多端子情報理論の分野のように、重要にもかかわらず解けない問題ばかりある為か、その原因を突き詰める必要がある。ここで、もし前者の理由で研究者が少ないならば、その分野を選ぶべきではない。これは、この分野での問題設定が既に時期を逸しているに他ならない。従って、そのような分野で、どんなによい成果を出しても相手にはされず、「古くさい問題を研究したんですね。」と言われるのがオチである。しかし、渴れた以外の理由で研究者が少い場合は、議論の相手を探すのに苦労があるが、宝の山が

隠されている可能性もある。宝の山の例として、木村君が切り開いた相関を有する情報源の可変長符号化という問題がある。この問題では、可変長符号化という概念を新たに導入することで、始めて多端子情報理論で達成可能領域の拡大が可能であることを示した。

2.3.2 伝統の違い

1. 新たな分野

まったく歴史のない研究分野、すなわち新たな分野の開拓である。分野の開拓は荒野を切り開くことになるので、多大な努力が必要であり、他の研究者から「なぜそんな研究をやるんですか?」という研究の必然性の説明の必要がある。しかしながら、一度画期的な成果が上がれば、他の研究者が参入してくることになり、一躍分野のトップとなれる。博士課程まで進学を考えている者ならば、この分野の選択を考えても良い。実際に、私が切り開いた分野としては、当時、慶応大学の博士課程学生だった山崎君(現玉川大学 助教授)といっしょに研究した光通信における誤り訂正符号の理論がある。このときも、最初の数年は、「なぜ信頼性の高い光通信に誤り訂正符号が必要なんですか?」という迫害に耐えざるをえなかった。

2. 新興分野

歴史が5~10年の研究分野に対応する。この分野では、先人の研究に対して道をつけることが主要な仕事になる。すなわち、先人の研究に対して、その本質的な部分を見究め、分かり易い解釈を見い出したり、より簡単な証明法を見い出したりすることが主要な成果となる。文献等を読みこなすのが大変ではあるが、分野自身をポピュラーにすること、すなわち宝島への航路開発に貢献するので、やり方によっては、この分野の開拓者以上の評価を得ることが可能である。現在では「情報スペクトル」や「量子情報理論」がこの分野にみなせる。

3. 伝統ある分野

歴史が20年以上にもなる研究分野では、文献(特に単行本、how-to マニュアル本といってもよい)が揃っているので、学習するのはさほど困難ではない。しかし、意味のある問題はほとんど解かれていて、問題の設定が困難なことが多い。例えば、「2元の誤り訂正符号の構成」や「代数的符号理論」等がこの分野に属する。従って、指導教官がこの分野を研究しているなど、強力な水先案内人がいない限り、修士論文の対象としては、この分野は避けた方が無難である。しかし、積年の難問が解ければ、学会賞の受賞も夢ではないので、他の分野で自分の勉強したものが応用できるなどの機会があれば、このような分野への参入も是非行なって欲しい。

3 文献の集め方

さて、研究分野が決まったら、まずその分野の文献を集めなければならない。この段階での秘訣は唯一つ、「名論文と名著を集めること」である。各々の名論文や名著はオリジナルのものを手に入れること。例えば、情報理論の研究を行なうには、まず情報理論の優れた教科書を読めば良いが、ある程度、情報理論の概観が掴めた頃に、この分野の最初の名論文すなわち Shannon の “A Mathematical Theory of Communication” を読んでおく必要がある。なぜなら、アイデアの創始者の哲学とか考え方が現れているのは、オリジナルの論文だけであるからである。他の人の書いたサーベイ (動向調査) とか解説本や解説記事などでは、それを書いた著者の色あいが出ており、創始者のアイデアではなく、その著者のメガネで色づけされた概念が伝わるだけである。

卓抜したアイデアが書かれた「名論文や名著」を読むことによって、その卓抜したアイデアを開発した研究者の思考を学ぶことができ、それが新たな理論の展開や発展の為に重要な精神 (スピリッツ) となる。従って、早い時点からオリジナルの文献を手に入れる癖をつけるべきである。

文献を集めるには図書館を利用するのが普通である。好運にも、東京工業大学の図書館には、質的にも量的にも十分な雑誌のバックナンバーや単行本が揃っている。有効に活用して欲しい。また、必要な文献で図書館にないものは、図書館司書に頼めば学内あるいは学外を探してもらうことができる。図書館がうまく利用できるようなれば、研究者として一人立ちの日も近い、そうなるように頑張ってもらいたい。

次に、植松研究室でよく用いる雑誌と単行本について述べる。

- 電子情報通信学会 (図書館、CD-ROM)
論文誌には、(A) から (D) と英文論文誌があるが、よく利用するのは、分冊 (A) (赤の背表紙) と英文論文誌の Trans. on Fundamentals (やはり赤の背表紙) である。日本における情報理論の成果は、ほとんどこの論文誌に投稿される。卒業までに、是非ここに論文を投稿できるレベルになってほしい。
- 電子情報通信学会 技術報告 情報理論
電子情報通信学会の情報理論研究会での発表のレジメを集めたもの。玉石混合だが、ホットな話題も多い。
- 情報理論とその応用シンポジウム資料 (植松教官の書架)
年に1度開催される情報理論とその応用シンポジウム (SITA) のレジメ集。これも玉石混合だが、捨て難い論文も多く発表されている。
- IEEE Transaction on Information Theory (図書館、CD-ROM)
この雑誌は、情報理論における世界的な論文誌である。かなり内容的にも難

しいものも多いが、優れた研究は必ずここに掲載されている。これが自由に読めるようになれば、研究者としての一人立ちの日も近い。

- IEEE Transaction on Communication (図書館)
IEEEの通信に関する論文誌である。これは、上記のInformation Theoryに比べて読みやすいものが多い。英文論文誌の入門に向いている。
- Proceedings of International Symposium on Information Theory (植松教官の書架)
1年半に1度(2000年以降は毎年)開催されるISITのレジメ集。ここで発表されても最終的な論文がIEEEの論文誌に採択されない場合も多い。
- Proceedings of ISITA
2年に1度開催されるInternational Symposium on Information Theory and Its Applications(ISITA)のレジメ集。玉石混合だが、IEEEの論文誌に比べて読みやすいものも多い。
- 今井秀樹著: 情報理論、昭晃堂
日本の情報理論の代表的教科書。情報理論を勉強したことのない人は、一読を勧める。
- 今井秀樹著: 符号理論、電子情報通信学会
日本における符号理論のランドマーク的な書物。
- 有本卓著: 確率・情報・エントロピー、森北出版
大学院向けの情報理論のアドバンスコース。
- 韓太舜、小林欣吾著: 情報と符号化の数理、培風館
情報源符号化に関する日本語で書かれた最も充実した書物。
- 植松友彦: 現代シャノン理論、培風館
CsiszárとKörnerの名著(後述)に、砂糖をまぶして咀嚼しやすくしたつもりだが、やはり難しい。大学院生向き。
- R. G. Gallager 著: Information Theory and Reliable Communication, John Wiley and Sons,
情報理論を代表する教科書。通信路符号化を研究する者には手放せない本。
- T. Cover 著: Elements of Information Theory, John Wiley and Sons,
現在の情報理論の入門書。新しい分野と新鮮な書き方が魅力。
- N. J. A. Sloane 著: The Theory of Error-Correcting Codes, North-Holland,
ブロック符号の百科辞典的な書物。

- W. W. Peterson 著: Error-Correcting Codes, MIT Press,
誤り訂正符号の入門書だが、最も充実している。
- E. Berlekamp 著: Algebraic Coding Theory, Aegean Park Press,
代数的符号理論を志す者は、一度は読まなければならない名著。
- A. J. Viterbi 著: Principles of Digital Communication and Coding, McGraw Hill,
ディジタル通信方式の入門書。
- I. Csiszár and J. Körner: Information Theory, Coding Theorems for Discrete Memoryless Systems, Academic Press,
組合せ論的情報理論の代表的な著書。難解。しかし、もし情報理論の研究者になるのなら、必読の名著。

4 文献の読み方

集めた文献の読み方には、研究の段階によって幾つかの読み方がある。そこで、次に文献の読み方を示す。

4.1 初級レベル

このレベルでは、速く大意を掴むことに重点をおく。まだ文献を読み慣れていない人は、まず文献にざっと目を通すこと。このとき、本ならば「まえがき」と目次、論文ならばアブストラクトを熟読し、文献全体の流れを理解しておくこと。次に、できるだけ速く全体を読んで、論文の流れと大体の内容を頭に入れる。この段階では、証明の詳細などはまだ分からなくて良い。本当にその論文が利用できるのならば、証明を読む時間は後で十分にある。

この読み方によって、日本語の本が1章あたり1日、英文で書かれた論文が3日で1本読めるようになれば、このレベルは卒業したと考えられる。

4.2 中級レベル

このレベルでは、読んだ文献に出てくる道具や手法を自分のものにするを目的とする。そのためには、著者の不本意な間違いや誤植などを見つけることが出来、証明や記述の正当性を自分でチェックできなければならない。これを実行する最も簡単な方法は、文献を1章あるいは1節読み終える毎に、書かれた結果を文献を見ずに自分の力で導いてみることである。ここで、もし、つまずくところがあれば、そこがあなたの分かっていないところである。文献を再び開いて、分か

らなかった場所を特定し、理解を深めていこう。この作業を繰り返すことで、その文献で使われている道具や手法を自分の武器にすることができる。

この読み方をして、1つの論文が1週間以内に読めるようになれば、このレベルは卒業したと考えられる。

4.3 上級レベル

このレベルでは、文献の著者と自分との知恵くらべをしながら読み進める。具体的には、文献を読みながら、次に何が書いてあるか、次にどんな手法を使って証明をするか、準備した手法からどうやって証明をするか等を予測しながら読むことである。このような読み方をすると、著者と自分との考え方の違いが明らかになると共に、文献の行間までが読めるようになる。

一般に、優れた著者が書いた論文ほど、途中まで読めば、後に書いてあることが予想できるものである。北陸先端大におられた飯島先生は、他人の論文を読んで問題設定まで分かったら、その先を読まずに自分で答を考えて、その論文と異なる結果が得られたら、そのまま発表したといわれる。是非、このレベルまで修練を積んで欲しい。

4.4 英文論文の読み方

英語の論文をうまく読みこなせるようになるのはなかなか難しい。事実、筆者が英語の論文が参考文献として利用できるようになったのは、修士課程2年のときである。英語の論文が日本語の論文に比べて扱いにくいのは、ナナメ読みができないため、後でどこに何が書いてあったかを振り返るのが難しいからである。そこで、英語の論文を読むときには、ラインマーカや赤ペンの活用をお勧めする。新たな概念や定義または主要な定理や結果が出てきたら、マークしたり、赤で囲むなどし、どこに何が書いてあるのかを探しやすくし、本に「しおり」を入れたのと同様な効果を狙う。また、読んでいる間に考えたことや自分なりの解釈を欄外に日本語で書き込むことによって、さらに参照のためのランドマークを増やす。こうすれば、これらの書き込みを参照することで、ナナメ読みするのと同様な効果を得ることができる。とにかく、英語の論文を読むコツは、単語の日本語訳以外の書き込みを入れて論文を汚すことである。

「名文はわれわれに対し、その文章の筆者の、そのときにおける精神の充実を送り届ける。それは、気魄であり、緊張であり、風格であり、豊かさである。われわれはそれに包まれながら、それを受取り、それを自分のものとする。われわれはおのづから彼の精神の充実を感じとって、筆者が文章を書くことを信じてゐる信じ方に感銘を受け、や

がて自分もまた文章を書くことの意義と有用性とを信じるのだ。これこそは名文の最大の功德にほかならない。」(丸谷オー：文章読本)

この一節において、「名文」を「名著」に、「文章を書くこと」を「研究をすること」に置き換えれば、名著を読むことの意義が分ると思う。

5 問題設定の技法 – 研究は努力だ

研究分野が決まったら、今度はその分野の中に問題を設定することが必要である。ここでは、読んだ文献から問題設定を行なう方法についての私論を述べる。

まず、文献を読む基本的態度として、「文献のアラ探し(もちろん誤植等を含めて)」をするつもりで批判的態で読むことが重要である。そして、各々の結果がどのような依存関係にあるのかをよく考え、問題やその対象について、最小限の道具を使い、必要かつ十分な成果が得られているかについて追求する必要がある。もし、上記の点において無駄なところや余分なものが発見できれば、その点を改良するだけでも、修士論文としては十分な内容のものができることも多い。

さて、上記の考察を体系的に行なう為に、私がよく用いるのが以下の方法である。中でも、最後の2つは、本質的な研究を行なうための鍵とっており、最近よく用いている。

5.1 結果が成り立つ条件を緩める(拡張)

- 対象とするクラスの拡大
パラメータを増やしたり、対象を含むような大きなクラスを考えて、同様な結果が成立しないかを調べる。

クラスの拡大としては、単一の誤り訂正しかできない Hamming 符号を拡大して BCH 符号を作ったり、Reed-Solomon 符号を拡大して、代数幾何符号を作ったりすることが挙げられる。

- 定義や尺度の変更
定義や尺度の一部あるいは全部を変更をしても同様な結果が成り立たないかを調べる。但し、これらの変更の妥当性を示す必要がある。

例えば、低域通過型の信号について成立している標本化定理が、帯域通過型の信号については、どのような形式で成立しているかを調べる事が挙げられる。

5.2 対象を狭めることでより強い結果を導く (特定化)

対象とするクラスを狭めることで、高速化や計算量の減少などの特別な性質を導く。この場合、クラスを狭めて得られる利益の大小が問題となる。

実例としては、92年から93年にかけて私が提案したZ通信路の最ゆう復号法が挙げられる。そこでは、一般の通信路に対して適用可能な最ゆう復号法のあるアルゴリズムを特定の通信路に適用することを考え、アルゴリズムをその通信路に特定して最適化することで、その通信路に対して、従来の方法よりも、少ない計算量を有していることを示した。

5.3 結果が成り立つための必要十分条件を導く (完全化)

- 必要十分になっていない条件を必要十分に作る。
- 変数の数やその自由度をなくす。

これの好例は、岸先生が行なったキルヒホッフの電流則、キルヒホッフの電圧則、電力保存則の従属性が挙げられる。岸先生は、これらの法則が従属であることに気が付き、どの2つの法則が与えられても、他の1つの法則が導けることを示した。このことは、電力保存則がキルヒホッフの電流則およびキルヒホッフの電圧則から導かれるという従来の視点とは逆に、これらの3つの法則は、回路の記述という点からは、等しい重要性をもっていることを示している。

5.4 古い問題を新しい手法で解き直す (re-analysis)

この方法は、現在、私が主に行なっている方法の一つである。例えば、DersarteとPiretが82年に、通信路に対して、任意に小さい復号誤り率を達成する符号をReed-Solomon符号を利用して構成した。私は、93年に初めてこの論文を読んだとき、代数幾何符号の方が符号長の点で、Reed-Solomon符号よりも高性能な符号であることを知っていたので、代数幾何符号についてDersarte-Piret符号の構成法を適用することで、より優れた誤り率を達成する符号を構成することができた。

このように、過去の論文で取り扱った問題でも、それ以降に発展した新しい手法を用いることで、新たな成果が得られることがある。但し、この手法を使うためには、幅広い勉強が要求される。

5.5 問題を再定式化して解く (re-formulation)

この方法は、問題の定式化を変更することで、新たな成果を見出すというものである。これは、2.1で述べた条件を緩めることとも関連している。この場合、再定式化して得られた問題が意味のあるものであるかが重要である。

再定式化の例としては、Ahlschwede の行なった Identification via Channel の研究がある。シャノン理論では、 M 個のメッセージを通信路を通じて送り、受信者は M 個のメッセージのいずれかが送られたかを特定するという問題を考えた。これに対し、Identification では、受信者 (の 1 人) は、ある特定のメッセージ 1 つが送られたかどうか判定問題を考えた。このように、Ahlschwede は、問題を定式化し直すことで、どのメッセージが送られたかを識別するというシャノンの枠組よりも、受信者にとってあるメッセージかどうかを判定するだけなら、より多数のメッセージを通信路を通じて送ることが可能になることを示した。因みに、この論文で Ahlschwede は IEEE の論文賞を受賞した。

他の例として、韓先生と Verdú は、エントロピーの定義を出力分布の近似に必要な精度として再定式化することで、非定常、非エルゴード的な情報源に対してもエントロピーの概念を拡張し、Shannon 理論の新たな展開を見出した。

別の例として、岩田君が行なったユニバーサル符号の研究の例がある。ユニバーサル符号によって圧縮された系列に、1ヶ所でも誤りがあれば、元の系列に復元することができず、1 ビットの誤りが最後まで波及する可能性があることが知られていた。そこで、岩田君は、この誤りの影響が有限長で済むようなユニバーサル符号は構成できないかと考えたところ、驚くべきことに、圧縮性能を犠牲にすることなしに、誤りの影響を有限長で済むようなユニバーサル符号が構成できることを示した。

5.6 発想法的な手法

上で述べたオーソドックスな方法の他に、次のような発想法的な手法もある。これは、読んだ論文のテーマを何枚かのカードに分けて書き、適当に 2 枚を引き出してその 2 枚を関連づけてテーマとする方法である。例えば、1 枚目のカードに Ziv-Lempel 符号、2 枚目のカードに VF 符号とあれば、VF 符号となる Ziv-Lempel 符号は作れないかと問題設定することである。この方法では、自分の盲点となっていて、思い付かないような問題を設定できる。行き詰まったときに使ってほしい。

6 どうやって問題を解くか

研究テーマが決まり、問題を定式化したら、次にその問題を解かねばならない。ここで問われるのは、問題解決能力である。

新しい問題を解く為には、次のステップに従うのが効果的である。

1. (例題を解く) 問題が自然数 n をパラメータとして含んでおり、 n が大きくなるにつれて問題が複雑になる場合などは、ごくやさしい場合 (例えば $n=1$) について解いてみる。また、問題が一般的なものならば、その特別な場合や

限定した場合のみを解いてみる。力づくで解いても良いし、計算機を使って解いてみる方法もある。

2. (解法の糸口を探す) 一つでも例題が解けたら、より複雑な場合を解いて見る。この一連の解答操作を繰り返すうちに、一般的に成り立つ性質や、帰納法を利用する方法を見出すことが多い。

この段階では、「偶然は必然なり」という原則を常に頭に入れて、勘を働かせて問題解決を行なうこと。しかし、いつまで経っても、うまい性質等を見い出せない場合は、例題を解きつつ、次のステップを併用する。

3. (類題の解法を調べる) 簡単な場合や特別な場合に問題が解けることが分かって、一般の場合に解く方法が見い出せないときは、類題の解法を調べる。既に例題を解いているので、どのような問題が類題になるかは自ずと明らかであろう。そこで、図書館で本や雑誌を調べたりして、類題が解けていないかを調べる。そして、類題の解法テクニックが利用できないかを調べる。この際、必ずしも同じ問題が解けている必要はないので、調べる範囲はかなり広がるが、解法の武器が増える訳だから、徹底的に調べた方が自分の為になる。事実、研究成果を大量に出す教官は、この類題の解法を上手に利用している。

尚、博士課程に進学する学生および博士課程の学生は、この段階では、先輩や教官に相談したりしてはいけない。あくまでも自分一人の力で解くこと。さもないと、助手や助教授になったとき、学生に解けそうな研究テーマを与えることが困難だし、学生に問題が解けないと泣きついて来られたとき、自分で解くことができず恥ずかしい思いをするかも知れない。研究者として一人立ちしようとする者は、自分だけを頼り、誰の力も借りずに問題を解くことである。

4. (問題の再定式化) 数週間から1か月に渡って、上記の解法を行なっても設定した問題を解けない場合は、解けない問題を設定しているのかも知れない。そこで、再び問題設定の段階に戻り、問題を設定し直してみることも必要である。修士課程で就職する学生の場合、問題の解法を教官に相談してもよいし、問題の再定式化について教官にアドバイスを求めてもよい。しかし、博士課程に進学あるいは在学の学生は、解法については、教官や他の人と相談しないことを勧める。もし相談して解き方が分かった場合、論文の共著者が増えるかも知れないし、ファーストオーサーが自分ではなくなる場合もあるので、聞かないで済めばその方が良い。

問題解決のより一般的な技法については、Polyaの著書「いかにして問題を解くか」[1]に詳しく書かれている。どうしても問題が解けないときは、一読をお勧めする。

7 どうすれば優れた研究者になれるか – 研究道は厳しい

研究が進むにつれて、また文献を読むにつれて、すばらしい結果を導いている天才的な研究者がいることが分かってくる。このような天才的な研究者に出くわした場合、指をくわえて、「世の中には頭のいい奴がいるんだなあ」と感心するだけでは、自分の頭は少しも良くなる。爪のアカでも煎じて飲んだ方が、行動に反映させているだけましである。

多く人は、「天才にはヒラメキがあるので、凡人にはできない。」と諦めているが、実は我々はヒラメキができるための素壌が出来ていないだけかもしれない。それだったら、彼らと同じだけの土壌に立ってみれば、凡人の我々でも万に一つはひらめくかも知れない。

ここでは、そのようなすばらしい研究者や研究論文にぶつかったとき、どうすれば、「その研究者の爪のアカを煎じて飲む以上の効果」が得られるかについて述べる。それには、なぜその結果や問題をその研究者が必然的に導きだせたのか、その研究の「ところ」について追求することが重要である。

7.1 過去の結果とどこが異なっているのか

まず、どこが新しいのかを明確にし、問題の定式化の方法や結果の位置付けを行なう。

- 問題設定が異なっているなら、なぜその問題設定を考えたのか、なぜその問題設定が意味を持つのか。
- 条件が異なっているなら、なぜその条件を取り上げたのか、また、その条件は意味を持つのか。
- 結論が異なっているなら、異なった理由はなぜか。

以上のことを繰り返していることで、特定の研究者の問題設定のクセが見抜けるようになる。

7.2 どうやって証明できたのか

これは、成果がどのような手法によって導かれたかを調べる。

- 新しい手口の導入
- 過去の同様な問題の解法の利用

7.3 どうしてその手口を思いついたか

これは、その研究者がどうしてその手口(手法)を考えついたかについての必然性を考える。これには、次の調査が有効である。

- 今までの研究歴を調べる
- 師弟関係や所属している研究グループを調べる
- どんな本や文献を読んでいるかを調べる。
- Key Paper を探す。

特に2と3が重要で、その研究者やそのグループが読んだものを読むことで始めて、彼らと同一のスタートラインに立つことができる。また、Key Paper が存在すれば、それを読むだけでかなり有利になる。

7.4 なぜ、その時期に結果が出たのか

これは、その成果についての時間の必然性を調べる。この分析は、「タイムリーな研究」を行なうのに重要である。主な理由としては、以下のことが考えられる。

- 他分野の成果の利用(技術革新を含める)
- 研究者の欠乏
- 問題の重要性の認識不足・クローズアップ

シャーロックホームズ曰く、「まず自分が犯罪者だったらどうするかと考えることで捜査は始まる」。研究もまったく同じである。自分が優れた研究者だったらどうするかを考えることで始めてよい研究ができると私は信じて疑わない。

8 Frequently Asked Question

ここでは、研究上、よく尋ねられることについての答を問答の形で収録する。

Q1 数学は、どのような分野を勉強する必要がありますか。

A1 情報理論でよく利用する数学としては、教養課程で習った程度の初等解析と線形代数は必須です。また、確率論や確率過程の知識があればかなり楽になります。この他、符号理論を研究したい人は、群、環、体などを取り扱う代数学や整数論などをM1のうちに勉強しておくことを勧めます。また、シャノン理論を研究したい人は、確率と関連して組合せ論の勉強をしておくといいかもかもしれません。

Q2 どのようにして必要な資料を探せばよいですか。

A2 最も簡単な方法は、現在読んでいる文献の参考文献を見つけてきてその参考文献をまた探して.... という方法です。この方法は、指数関数的に多くの関連文献を得ることができますが、それらの整理がやや大変です。具体的な整理の方法としては、よく引用されている論文を Key Paper としたり、集めた資料を発表された年月順に並べ直し、相互の関連を調べたりすることで、不毛な論文を読むことを避けることができます。重要なことは、「集めることと整理すること」です。

Q3 ほしい文献がないのですが。

A3 まず、CD-ROM と教官の書庫を調べて下さい。そこで見つからなければ、図書館でコピーして下さい。図書館になれば、図書館に頼んで、他の大学から文献のコピーを取り寄せてもらいます。尚、図書館でのコピーや取り寄せの手続きには教官の印等が必要です。図書館に頼んでも、欲しい文献が得られない場合は、教官に相談して下さい。頼める限りのルートを使って探します。

Q4 何を勉強しても全て研究されているようにしか見えないのですが。

A4 多数の論文を短期間で読んだ後によく生じる錯覚です。これは、一般的な論文が、(その論文における)問題提起から始まり、それをある解法で解くという形式で書かれているために生じます。確かに、その論文に書かれている問題には、その論文の解法あるいは解は最適かも知れません。しかし、それ以外の問題について、その論文は、最適性はおろか解けることすら語っていないのです。重要なことは、論文の問題提起に捕らわれずに、論文から一步外に踏み出すことです。読み終わった論文をしまい、もう一度、2章を読み直して下さい、あなたのインスピレーションを最大限に利用すれば、必ず研究すべき問題を見つけ出すことができます。

Q5 何を研究したらよいのかわからないのですが。

A5 優等生的に、良い成果を出そうと考えていませんか。良いとか重要な問題を解こうなんて考えは捨てなさい。それが、あなたの研究テーマの設定の障害になっているのです。まず、読んだ文献の例題になるような簡単な問題を設定し、それを解くことに専念しなさい。次に、それを解いた後で、より難しい問題を考えなさい。これを、繰り返すことが、良い成果を出す最も近道なのです。

Q6 先生はどのような態度で研究するのが好きですか。

A6 研究は勢いです。アイデアが思いついた瞬間、すなわち天の時を得たときに、可能な限り研究を進めておきなさい。人生は思っているほど長くはありません。

ん。ビスマルクは「前進あるのみ」と言っています。「すぐやる。もっとやる。どんどんやる。」が研究の基本姿勢です。

Q7 先生はどのような問題が好きなのですか。

A7 ある問題を数学的に記述して、それを数学的に explicit に解くというのが、自然科学的な真理の探求という面から一番好きです。数学をして神様あるいは仏様の学問とするのはもっともなことだと思います。解の存在定理を示す研究よりは、解の具体的な求め方を示す研究の方がレベルが上だと思います。単に計算機パワーを利用して、しらみつぶしに探索や最適化を行なうという研究は、「この問題を計算機で解いたらこういう結果になりました」というだけで、その研究の過程に、神あるいは仏による真理の啓示を見出すことが困難なので嫌いです。

Q8 どうやったら先生のように見通し良く研究をすることができますか。

A8 まず努力しなさい。人の倍の量の文献を採集し、その定理全てに目を通しなさい(証明は後から読んでも構いません)。各々の文献の間の相互の関係を理解しなさい。そして、文献をしまい、瞑想し、頭の中に入っている(読んだ文献の)内容だけで、何ができるか、そして何ができそうかについて考えなさい。学会などで人の話を聞きなさい。アイデアが思いついたら、再び文献を読み直したり、新たな文献を集めて、その問題が解けるかどうかを判断しなさい。解けないならば、何が欠けていて解けないのかを見究めなさい。そして、この過程をノートに書き留めて、ときどき読み返しなさい。

Q9 ヒラメキとはなんですか。

A9 ある人が数学者の岡潔に、「どうして多変数関数論をやろうとおもわれたのですか」とお尋ねしたところ、岡潔は、直ちに「それはレビの研究があったからだ。それで、これはできると思った」と答えたということです [3]。この話から分るように、優れた研究者は、他人の研究の中に潜む優れたアイデアを嗅ぎ分け、それを抽出して、より純度の高いアイデアに昇華することができます。このような鍵となる他人の研究を見出すことが、いわゆるヒラメキに他なりません。研究や学問は不連続には発展しません。必ず、1歩1歩地道に進んでいきます。次の言葉を、心に留めておきなさい。「天才とは、その人だけに見える新事実を見ることのできる人ではない。誰もが見ていながらも重要性に気づかなかった旧事実を、気づく人のことである」。

Q10 研究の極意はなんですか。

A10 ただ一つ、名著に接し名著に親しむこと、それに尽きる。事実、過去の優れた研究者は皆そうすることによって、優れた成果をあげたので、この場合、

例外は全くなかったと私は信じている。この理由は、われわれは研究を常に伝統によって学ぶからである。研究は才能だという人もいるが、個人の才能とは実のところ伝統を学ぶ学び方の才能に他ならない。[2]

参考文献

- [1] G. ポリア著、柿内賢信訳: “いかにして問題を解くか”、丸善株式会社 (1954).
- [2] 丸谷 才一: “文章読本”、中公文庫.
- [3] 特集/岡潔、数学セミナー 1996 年 3 月号 (1996).
- [4] 梅原猛: “私の履歴書”、日本経済新聞 2001 年 5 月 1 日 ~ 31 日 (2001).