



都井 裕 (東京大学名誉教授)

都井研の博士たち



略 歴

1974年 東京大学工学部船舶工学科卒業
 1979年 東京大学大学院博士課程修了、工学博士
 1979年 東京大学工学部船舶工学科専任講師
 1980年 東京大学工学部船舶工学科助教授
 1981年 東京大学工学部総合試験所助教授
 1984年 東京大学生産技術研究所助教授
 1997年 東京大学生産技術研究所教授
 2017年 東京大学名誉教授

1 まえがき

1986年12月4日、神田学士会館において、恩師の川井忠彦先生(1926~2014)の、還暦退官記念パーティが、200名を超える来客を迎えて開催された。司会進行は都井が務めさせていただいたので、当日の記憶は鮮明である。

パーティの前半では主として、来賓の方々からご祝辞をいただいた。この種のパーティに通常、主賓の先輩にあたる方はお見えにならないが、この日は大先輩お二方が、ご高齢を押してご臨席下さった。お蔭様で当日の参会者は、エンジニアとして最高峰を極められたお二人の大先生の聲咳に接する幸運に恵まれた。

一人目は、建築構造学者・シェル構造デザイナーとして著名な、東大名誉教授の坪井義勝先生(1907~1990)である。国際シェル・空間構造学会(IASS)会長を務められた。

坪井先生は川井先生とのご交流について話されたが、そのご挨拶の中に、印象的なフレーズが含まれていたのご紹介させていただく。「川井先生にLove、Timoshenkoの匂いが無かったら、お付き合いしなかったと思う」。LoveとTimoshenkoは、言うまでもなく弾性論あるいは材料力学の泰斗であり、下記の教科書がよく知られている。

A. E. H. Love: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity (Dover Book on Engineering)

S. Timoshenko: Strength of Materials, Part 1 (Elementary Theory and Problems), Part 2 (Advanced Theory and Problems)

応用数学を武器とする理論構造解析がお得意な坪井先生と、数値解法である有限要素解析法の開発・実用化に尽力された川井先生の共通の土台が、LoveとTimoshenkoであったということであろう。坪井先生から唐突に「Hilbert空間で、何?」と聞かれた。関数解析ベースの構造解析理論を構想しておられるのではないかと敬服した。

二人目は、造船工学者、東大名誉教授の吉識雅夫先生(1908~1993)である。東大工学部長、理科大学長、

学術振興会理事長などを歴任され、文化勲章を授与された。

ご希望により、吉識先生には乾杯の音頭を取っていただけることになった。ビール片手に「これまで弟子たちのパーティには出席してこなかったが、どうやら川井君が最後のようなので、今日は参上した。ただし、若いときのようにボキャブラリーが豊富でないので、スピーチは止めて、乾杯の音頭にさせていただいた。弟子というのは息子のようなもの、人様に褒めていただくのはよいけれども、親が自分の息子を人前で褒めれば、これは笑い者になってしまう。かと言って、悪口を言えば双方に言い分があるので、親子喧嘩になる…」とユーモアたっぷりに話された。

都井研では、計算固体力学の教育と研究の一環として、博士の学位取得を奨励してきた。その結果、21名の博士が誕生した。

彼らの多様な研究業績は公表されており、論文、講演などを通じ、広く知ることができるが、彼らは人間性の点からも個性豊かな面々である。

本稿では、都井研における比較的初期の学位取得者7名をモデルに、計算固体力学分野の博士の人物像を紹介したい。都井研の研究推進に多大な協力をいただいた学位取得者の皆さんに、敬意を表して称賛の言葉を述べさせていただこうと思うが、吉識先生に笑われないように、節度ある賛辞を心掛けたい。

紙面の制約もあるので、人物像の描写は一面的、類型的に過ぎるかも知れないが、ご容赦いただきたい。なお、本文中では仮名扱いとしたが、各章の冒頭と末尾に以下の情報を記載している。(冒頭:博士タイプ、末尾:学位取得年、主な勤務先。)

2 7人の博士たち

2.1 パワータイプ

都井は1979年3月に大学院博士課程を修了して工学部専任講師に就任、翌年には助教授に昇任、81年には工学部附属総合試験所に転籍した。都井が在籍した工学部附属総合試験所の構造方面研究室・大型構造物試験

室には共同利用設備として2000トンまで載荷できる構造物試験機が設置されており、都井は通常の教育・研究の傍ら、マネージャーとして学内外の共同利用の管理業務に携わっていた。

都井研最初の院生であるY君は、82年4月に入学した。柔道で鍛えたガッチリ体躯のY君は、構造方面研究室の最初の住人となり、弥生地区高台にある工学部9号館最上階の研究室からの眺望を楽しみながら、地道に研究を進めた。

修士論文では非線形構造解析手法の基礎的概念の習得を念頭に、「構造要素の一次元塑性座屈シミュレーション」に取り組み、博士課程ではより発展的なトピックスである「構造要素の衝突圧壊強度に関する基礎的研究」をテーマに博士論文の完成を目指した。

「基礎的研究」とは言え、後者は相当量の実験と解析とを必要とし、Y君は売り物の「馬力」を遺憾なく発揮することができた。すなわち、関連文献を丹念に読む一方で、細部には拘泥せず、大胆に方針を決め、スケジュールどおりに実験と解析を実施し、結果をまとめていった。足取りは常にしっかりしていた。

Y君は後年、ミシガンの菊地昇先生の研究室に留学した。菊地先生が来日の折、「彼はどうですか?」と伺ったところ、「馬力がある」と即答された。Y君の「馬力」は国際レベルのようだ。

87年3月に、Y君は博士課程を修了し、都井研第1号の学位取得者となった。なお、自前のわかりやすいアルゴリズムによるプログラムはその後、都井研内で委託計算等に利用され、広島大学の研究グループなどでも活用された。現在は名門私大の教授として、計算工学の教育・研究を楽しんでいるようだ。(1987 博士、成蹊大学)

2.2 スマートタイプ

82年夏、一人の4年生が総合試験所の都井の居室を訪ねてきた。大学院進学についてのあいさつに来たS君(東大卒)であった。顔をどこかにぶつけたとかで、前歯が欠けて、いたずらっ子のような風貌であったが、やがてS君が非の打ち所のない「秀才」であることが判明する。

83年3月、年度末の成績会議が催され、試験成績と卒業論文ともにS君が学年トップであることがわかった。本来なら、S君は両部門で表彰されるべきであるが、このような場合は、卒論についてのみ表彰するというルールがあり、卒論の表彰のみを受けた。

S君の修士論文タイトルは「構造要素の衝突圧壊挙動に関するシミュレーション」であり、学位論文タイトルは「動的摩擦接触問題の数値シミュレーションに関する基礎的研究」である。

計算力学の研究の標準的スキームは、①問題の設定(偏微分方程式系)、②既存の解法レビュー、③新解法提案、④数値計算による旧解法と新解法の比較、⑤結論、である。S君は研究者としてのセンスがよく、上述のスキームを辿って、新解法の確立に至る道筋を最

速で走り抜け、ゴールインすることができた。

③の内容が画期的であるほど、魅力的な研究となる。修士論文では離散化極限解析法による薄肉材の局所座屈解析、学位論文では改良された処罰法による摩擦接触問題の解析などの新解法に挑み、期待通りの成果をあげた。

S君は秀才青年であるが、いささかもそれを鼻にかけることはなく、謙虚な姿勢で仕事に取り組んでいた。それでもS君の聡明さはすぐに周囲が知るところとなった。(1988 博士、新日鐵住金)

2.3 リーダータイプ

88年11月、都井が1年間の米国留学から帰国すると、I君(東大卒)が翌年度の新院生として都井研に配属されていた。都井は米国でセラミックスの破壊力学の研究、特に強靱化機構の有限要素解析に従事してきたので、取り敢えずその延長上の研究を1本動かしておくことにした。

具体的には、米国で作成したcrack shielding (対象はアルミ単体)の有限要素解析プログラムを、transformation toughening (対象はDZC)に適用できるように改訂する。これは、都井研におけるI君の最初の仕事になったが、黙々と精確にこなし、目的を達成した。

その研究が後に「セラミックスの変態塑性挙動に関する計算力学的研究」と題するI君の修士論文としてまとめられた。また、国際論文誌Engineering Fracture Mechanicsにも掲載された。

都井は、帰国後、骨組構造の新しい塑性崩壊解析法の開発を進めていた。有限要素に塑性ヒンジなどの不連続性を導入する、新設計のアルゴリズムを考案し、骨組構造の様々な崩壊解析に応用しようとしていた。すなわち、①塑性崩壊、②塑性座屈、③動的崩壊、④繰り返し荷重による崩壊(漸増崩壊、シェークダウン)⑤[①~④共通]adaptation(順応型アルゴリズム)の導入。

上記は格好の博士論文テーマであり、I君の堅実な作業は何ら滞ること無く、計算結果は次々と蓄積され、Int. J. for Num. Meth. in Engng.、Computers & Structures、日本造船学会論文集などに順次掲載された。成果は「順応型Shifted Integration法による骨組鋼構造の非線形有限要素解析に関する研究」と題する博士論文としてまとめられた。

博士取得後、I君は公募により筑波大学に採用された。上述のとおり、I君の研究業績は質、量ともに水準を超えていた。

筑波大学に着任後は、教員としてのアイデンティティを確立する一方、様々な研究活動、学会活動に献身的に取り組んだ。多くの研究者・技術者の支持を得て、現在は学会会長の要職にある。米国生まれの帰国子女であり、近未来における計算分野の日本を代表するリーダーにふさわしい。(1994 博士、筑波大学)

2.4 クレバータイプ

企業等から、委託研究、共同研究の申し込みがあった場合、その時点での院生の研究課題、進捗状況などを考慮して、適当な学生にその仕事を割り振ることがある。その課題が、実験結果などの提供も受けられ、修士論文の研究テーマとして適当と考えられる場合は、院生丸抱えで取り組むこともある。92年のKo君(東大卒)の修士論文「溶融亜鉛めっき時における構造部材の熱弾塑性挙動の有限要素解析」は当にそのような例である。

解析対象は450℃の溶融亜鉛めっき環境下での鋼構造部材の熱弾塑性変形および液体金属脆化という複雑な現象であり、修士一人の手には余る課題である。

Ko君は人当たりがよく、器用で理解力があり、「柔軟」な考え方ができるので、企業側担当者との定期的なミーティングに参加し議論を深めながら、次第に核心に迫っていった。国際論文誌Computers & Structuresに成果が掲載されている。

95年のKo君の博士論文「骨組および補強板構造の高精度有限要素解析」でも、共同研究例として住宅屋根材の強度解析結果が報告されている。

さてKo君は現在、北海道大学医学研究院内科系部門放射線科学分野の特任准教授という異色のポジションにいる。専門分野は医用システム工学、放射線科学、コンピュータ支援統計学、計算工学である。

北海道大学HPによれば、Ko君は博士を出てから、日立製作所でコンピュータを援用した電力機器の設計技術の開発、Yale大学医学部で医用画像解析、日立製作所で放射線画像診断機器の研究開発および研究マネジメント、北海道大学と共同で、ITを活用した診療判断支援技術などの様々な業務を経験し、2016年度から現職にある。「柔軟」博士の面目躍如といったところである。(1995 博士、北大医学研究院)

2.5 スーパープログラマタイプ

材料破壊の研究はマクロからミクロ、すなわちマクロ連続体モデルからメソ不連続体モデル、ミクロ分子動力学モデルへと進展しつつあり、マルチスケール解析に関心ももたれていた。Ki君(東大卒)は、大学院の5年間(91年から96年)をこの領域の研究に費やし、得意なプログラミング技術を武器に斬新な成果をあげた。

セラミックスなどのマイクロクラッキング脆性固体の材料破壊のモデリングを、マクロ連続体モデルとメソ不連続体モデルの枠内で考える。

マクロ連続体モデルにおいては、損傷力学の概念に基づく三次元連続体が仮定され、損傷体の弾性定数式、損傷発展方程式などを用いて、損傷体構成方程式が定式化される。

メソ不連続体モデルとしては、直感的に仮定できる次のような物理モデルを採用した。すなわち、三次元ボロノイ分割メッシュにより多結晶体をモデル化し、結晶粒は剛体要素近似とする。要素間ばね定数を適宜制御することにより、個々の結晶粒界における粒界割

れ、亀裂粒界閉鎖、界面摩擦、粒界残留応力の影響などを容易に考慮できる。

材料実験に代えて、メソ不連続体モデルによるシミュレーション結果を用いることにより、損傷体の弾性定数式、損傷発展方程式、および損傷体構成方程式(等方性および異方性)などを決定、改良することができる。

これを実施するためには、3次元ボロノイ多結晶体の結晶粒間相互作用および任意断面における粒界割れ可視化などに対する高度のプログラミング能力と集中力が必要であり、沈黙思考タイプのKi君は最適であった。

このようなアプローチの有用性を訴えた論文をとりまとめ、機械学会論文集、国際論文誌Engineering Fracture Mechanicsなどに投稿したところ、高く評価された。(1996 博士、新日鐵住金)

2.6 アドバイザータイプ

L君(釜山国立大卒)の現職は、釜山国立大学造船海洋工学科教授(PhD.)であり、“Continuum Damage Mechanics Laboratory”を主催している。専門分野は連続体損傷力学、構造力学、非線形解析、有限要素解析などである。

L君は1996年に釜山の修士を出て、東大の博士課程に入り、学位取得をめざした。来日したばかりの頃は、日本語および研究上の若干のカルチャーショックを感じたようだが、すぐに克服した。温厚篤実、素直な性格で、韓国人の先輩に可愛がられ、後輩に慕われる人間性は、L君の強力な武器であろう。

研究テーマは、有限要素法による熱弾塑性解析に損傷力学の構成式を取り込み、めっき時の鋼材亀裂などを解析できるようにしている。他の解析例も含め、博士論文のタイトルは「構造要素の熱損傷問題の計算力学に関する研究」とした。

博士課程修了時に、釜山国立大学の公募ポストに応募した。Impact Factorに関する応募条件があったが、JSME International JournalとInternational Journal of Damage Mechanicsの掲載論文により、条件を満たした。

帰還後は、材料、構造の計算モデリングと実験的検証に関する研究を幅広く行っている。学生の面倒見のよいL君の研究室には研究成果も多く蓄積されており、教授としての責務を立派に果たしている。(1999 博士、釜山国立大)

2.7 エキスパートタイプ

H君(北大卒)は、修士から博士まで5年間(2001年から2006年)都井研に在籍したが、その間の仕事ぶりは傑出していた。H君は初めから博士課程進学を考えているようには見えなかった。修士課程のときに計算力学の面白さに目覚めたのかもしれない。

H君は博士論文審査の際に副査の先生から、研究者としての姿勢、能力を激賞され、就活の面談でも、際立った印象を与えたようだ。

H君は固体力学、有限要素法、プログラミングなどが大好きで得意である。クリーブ損傷、自己修復など物理的にも興味深い、高度の課題もこなせるので、計算機シミュレーション技術のエキスパート、さらには統轄的なポジションにおける計算技術の牽引役としての期待は大きい。

修論題目は「数値材料試験法の開発と材料損傷・構造寿命への適用」、博論題目は「金属構造要素のクリーブ損傷および自己修復課程の計算モデリングに関する研究」であり、十分な成果を取めた。(2006 博士、新日鐵住金)

3 あとがき

本稿では、都井研で博士の学位を取得した21名中の、比較的初期の学生7名について、優れた研究内容とともに、能力的、性格的な個性について合わせて記述した。

研究を成功させるためには、①学生の個性と研究テーマの相性、②学生の個性と指導教員の相性、が非常に大切である。指導教員は個々の学生の能力と性格に配慮し、彼らの個性を踏まえた指導を行うことによって、学生にとっても、指導教員にとっても快適な学究生活となり、大きな成果も期待できる。企業で若人を育てる際にも同様のことが言えるであろう。

なお、都井研究室の研究・教育内容の全貌をわかりやすく書いた電子書籍として文献[1]を出版している。

■参考文献

- [1] 都井裕、計算固体力学ギャラリー(構造、損傷、機能に関する計算事例集)、アマゾンキンドルブックス(電子書籍)、2021。

有用かつ発展が期待されるテーマを厳選し、
基礎理論からプログラミングまでを丁寧に解説したシリーズ。

計算力学レクチャーコース

一般社団法人 日本計算工学会 編



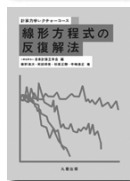
可視化入門 MicroAVS体験版付

宮地英生・荒木文明・鈴木喜雄 著
A5判・224頁 定価(本体3,500円+税)
ISBN978-4-621-08583-7



フェーズフィールド法 入門

小山敏幸・高木知弘 著
A5判・140頁 定価(本体3,200円+税)
ISBN978-4-621-08658-2



線形方程式の 反復解法

藤野清次・阿部邦美
杉原正顯・中嶋徳正 著
A5判・240頁 定価(本体4,200円+税)
ISBN978-4-621-08741-1



トポロジー最適化

西脇眞二・泉井一浩・菊池昇 著
A5判・198頁 定価(本体4,200円+税)
ISBN978-4-621-08634-6

丸善出版株式会社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 2-17 神田神保町ビル6階 書籍営業部 TEL(03)3512-3256 FAX(03)3512-3270
<https://www.maruzen-publishing.co.jp>