



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

板材成形シミュレーションを通して得た出会い

Treasures Obtained Through Sheet Metal Forming Simulations

浜 孝之

Takayuki Hama

京都大学 大学院
エネルギー科学研究科
准教授

1 はじめに

筆者は2004年3月に早稲田大学大学院理工学研究科を修了後、同年10月から現在に至るまで京都大学大学院エネルギー科学研究科でお世話になっている。本報文を執筆する機会をいただいたのを機にこれまでの研究生活を振り返ってみたところ、真っ先に思い出されたのが節目節目でお世話になった多くの方々だった。私の研究は、むしろこういった出会いに導かれるように進められてきたと言って過言ではないように思う。本稿では、筆者にとっての三つのエポックメイキング的な転機に焦点を当てながら、筆者の研究の過去・現在・未来を綴ってみたいと思う。

2 第一の転機

筆者はこれまで金属板の塑性加工、なかでもその数値シミュレーションを軸とした教育・研究に従事してきた。この分野に携わる最初の大きなきっかけとなったのは、やはり学部生のときに浅川基男先生の研究室に配属されたことであろう。当時浅川研究室では主に棒線材を対象とした研究が中心だったが、その中でたまたま筆者が選んだテーマが高張力鋼板のスプリングバックと割れ発生に関する研究^{1,2)}だった。当然のことながら、ここで金属板の成形性に関する研究に携わったことが自分の将来にこれほど大きな影響を及ぼすことになるとは当時は想像すらしていなかった。このテーマは、当時退職されたばかりの林郁彦先生が企業との共同研究で長年続けてこられた研究でもあり、右も左もわからない中、浅川先生、林先生、企業の技術者、そして諸先輩方にご指導いただきながら実験と初等解析を通してスプリングバック特性や最適成形条件の検討を行った。このとき、非常に単純化された理論ながらスプリングバックの定性的な傾向を再現できたことに大きな驚きと感動を感じたことを覚えている。

修士課程1年では、研究室の諸先輩の影響もあり、自然と弾塑性有限要素法に関する勉強に取り組んだ。教科書を読んで有限要素法の基礎から弾塑性力学、非線形連続体力学、そして非線形有限要素法を勉強し、それを少しずつプログラム化していく作業は大きな困難を伴うものだったが、研究室内で切磋琢磨しあう環境、そして諸先輩に追いつけ追い越せという雰囲気が大きく後押ししてくれた。

そして修士課程2年のとき、第一の転機が訪れた。修士論文として板材成形シミュレーションに関する研究を理化学研究所（理研）で行う機会が得られたことである。当時理研の牧野内昭武先生の研究室では、板材成形シミュレーションのための弾塑性有限要素法プログラムの開発を進めておられ、まさに実用化しようというところであった。そのなかで筆者は、プログラムを拡張してチューブハイドロフォーミング解析プログラムを開発するテーマを与えられた。理研での日々は、筆者が勉強してきた内容をはるかに上回る熟成された解析理論、自作プログラムとは比較にならないくらい完成されたソフトウェア、直接ご指導下さる第一線で活躍する研究者たち、そして産業界との深い連携と、それまでとは大きく異なる環境にまさにカルチャーショックの連続だった。このような環境に大いに刺激され、また理研が筆者の実家から目と鼻の先だったことも手伝って、ほとんど大学へも行かずに理研にこもって勉強したことを覚えている。そして理研での研究活動を深めたいと強く感じるようになり、博士課程への進学を決意した。後述のように博士課程でも引き続きチューブハイドロフォーミングの研究を行い、博士論文をまとめる頃までには実部品の成形プロセスを高精度に予測できるようになった³⁻⁵⁾。

このように理研で自由奔放に研究する機会が得られたのも、当然のことながら浅川先生の深いご理解があってこそであった。浅川先生はよく、「人生で経験する三つの大きな選択は、大学の研究室、卒業後の就職先、そして人生の伴侶だ」と

仰っていた。筆者は一つ目の大きな選択が大成功だったと確信している。また理研では、牧野内先生は半人前以下の筆者に大変目をかけて下さり、丁寧な指導と素晴らしい研究環境を与えて下さった。この時のご縁により、理研とは現在でも継続して共同研究をさせていただいているが、これも一重に牧野内先生のご配慮があつてのことであり、深く感謝している。

3 第二の転機

博士課程へ進学した頃、牧野内先生が理研内でものづくり支援を目的とした新しい形状モデリング手法とそれを援用した数値解析技術の開発に関するプロジェクトを立ち上げられた。筆者は其中で加工成形シミュレーションチームに所属することになった。そしてそのチームリーダーに着任されたのが、Christian Teodosiu先生（当時パリ13大学名誉教授）だった。これが第二の転機である。Teodosiu先生の下では、チューブハイドロフォーミングに関する研究と並行して、新しい形状モデリング手法を用いた板材成形シミュレーションにおける接触解析技術について研究することになった。Teodosiu先生は連続体力学、各種数値解析理論、材料学、数学など様々な分野に精通した研究者で、その豊富な知識量とアイデア、実験から理論まで自由に行き来できる体系化された知見、そして本質を見抜く鋭い考察に筆者は圧倒された。当時Teodosiu先生は毎年半年程度を日本で過ごされたが、滞在中は少なくとも週一回、多いときは二日に一回のペースで数時間にも及ぶミーティングをさせていただいた。当時のミーティングではとにかく議論に勝てず、こちらから新しい成果やアイデアを提出してもTeodosiu先生にはすぐに問題点・欠点を見抜かれ、悔しい思いをする日々であった。どうすれば納得してもらえるのか、どうすれば議論に勝てるのか、そればかりを考え続けた博士課程3年間だった。この時に学んだ“Teodosiuイズム”が、現在の私の研究に多大な影響を与えていることは言うまでもない。ちなみに、拙い英語ながら議論に勝ったことが3年間で一度だけあった。この時の興奮は今でもよく覚えている。

4 第三の転機

博士課程修了後は縁あって、板材成形シミュレーションによる延性破壊予測に関する研究を進めておられた京都大学の宅田裕彦先生の研究室で、助手としてお世話になることになった。これが第三の転機であり、現在でも引き続きお世話になっている。京都大学着任後は、まず理研で行ってきた接触解析技術の開発を継続して行った。具体的には、理研で開

発されたNagataパッチ⁶⁾（離散化された曲面を高精度に形状補間する手法）を用いた新しい接触解析手法を定式化およびプログラム化し、また実際の板材成形解析への応用を通してその有効性の検証を行った。最終的には、従来に比べて信頼性の高い解析が実行できることを示すことができた^{7,9)}。

続いて、それまで興味があつた板材の対向液圧成形に関する研究やマルチスケール解析を援用した研究に着手した。前者は高精度な解析プログラムの開発を目的とした対向液圧成形における潤滑特性の実験的な解明¹⁰⁻¹²⁾を、また後者は特徴的な塑性変形特性を示すことで知られる六方晶金属（マグネシウム合金）を最初のターゲットとして、その加工硬化特性を実験および結晶塑性有限要素法により明らかにすることを目的とした研究¹³⁻¹⁶⁾である。筆者自身が本格的に実験を行うのは卒業論文以来のことであり、非常に大きな挑戦だった。また結晶塑性解析についても、原著論文を読んでプログラムを一から作成する作業は多くの困難を伴った。そのため、数年がかりで使い物になる実験ツール、解析ツールが完成したときには、非常に大きな喜びであった。結晶塑性解析については現在筆者の研究において大きな柱となっており、鉄鋼材料をはじめとして様々な金属材料への適用とその加工硬化特性予測、そしてマルチスケールの視点に基づく変形メカニズムの解明を進めている。

以上のように京都大学着任後の研究でも大小様々の困難に直面したが、それらを乗り越えることができたのも、ゆっくりと少しずつ、かつ自由に研究を進めることのできる環境があつてこそだったと思う。これについては、次のようなエピソードがある。京都大学へ着任する際、宅田先生から次のように言われたことがある。「大学にいる時間の90%は教育・研究に使いなさい。」要は、大学にいる時間のほとんどを学生とともに研究する時間に当ててよいということである。当時この話を知り合いにすると、皆が口をそろえて「それは最初だけだから（笑）」と言っていた。しかしながら、筆者が助手（助教）としてお世話になった最初の数年間、この状況が変わることはなかった。このような環境なくしてこれまでの研究は展開しえず、浅川先生の言われるところの二つ目の大きな選択についても大成功だったと感じている。

5 おわりに

以上のようにこれまでの研究を振り返ってみると、冒頭でも述べたように板材成形シミュレーションを軸としてその節目節目で素晴らしい先生方やここでは挙げきれなかった多くの方々にお世話になり、そしてその時々々の環境に応じて研究を進められたことが改めて実感できた。今後もういった出合いを大切に、研究活動を推進していきたいと思ってい

る。一方でこれまでの研究内容は、大樹の幹となり末永く活用されるような研究だったとは言い難いのが本音である。とりわけ塑性加工分野の研究は産業界における実用化がゴールとして最重要であり、その観点からは筆者が為しえたものはほとんどない。今後は、これまで同様に基礎研究を大事にする一方で、その研究をどう発展させるか、どう社会に役立たせるかといった大局的な視点も重視しながら研究に臨んでいきたいと考える。また同時に大学教員である以上、学生に対してこれまでの筆者の経験を伝える、また有意義な経験をさせていく大きな責務を担っている。学生の個性を生かしたオーダーメイド教育は半人前の筆者には大変難しく、お世話になってきた諸先生方のようにうまくできず四苦八苦の毎日であるが、研究を通して学生と一緒に少しずつ成長していきたいと思っている。

結果的に本稿は研究紹介というよりも筆者の自分史のような内容になってしまったが、自分の来し方を振り返る良い機会となった。最後になるが、浅川先生の言われるところの三つ目の大きな選択についても無事成功しており、家族のためにも引き続き教育・研究にまい進していきたい所存であることを付記して筆を置くこととする。

参考文献

- 1) 浅川基男, 阿部琢磨, 錦織智, 浜孝之, 桑山勲, 藤城良夫, 林郁彦: 塑性と加工, 42 (2001), 720.
- 2) 浅川基男, 桑山勲, 浜孝之, 細田寛之, 藤城良夫, 林郁彦: 塑性と加工, 43 (2002), 71.
- 3) 浜孝之, 浅川基男, 淵沢定克, 牧野内昭武: 塑性と加工,

43 (2002), 35.

- 4) T.Hama, M.Asakawa, H.Fukiharu and A.Makinouchi : ISIJ Int., 44 (2004), 123.
- 5) T.Hama, M.Asakawa and A.Makinouchi : J.Mater. Process.Technol., 150 (2004), 10.
- 6) T.Nagata : Comput. Aided Geom.Des., 22 (2005), 327.
- 7) 浜孝之, 高村正人, 牧野内昭武, Cristian Teodosiu, 宅田裕彦: 日本機械学会論文集A編, 72 (2006), 60.
- 8) 浜孝之, 高村正人, 牧野内昭武, Cristian Teodosiu, 宅田裕彦: 塑性と加工, 48 (2007), 61.
- 9) T.Hama, T.Nagata, C.Teodosiu, A.Makinouchi and H.Takuda : Int.J.Mech.Sci., 50 (2008), 175.
- 10) T.Hama, K.Kurisu, K.Matsushima, H.Fujimoto and H.Takuda : ISIJ Int., 49 (2009), 239.
- 11) T.Hama, K.Matsushima, T.Kitajima, H.Fujimoto and H.Takuda : ISIJ Int., 49 (2009), 1736.
- 12) T.Hama, T.Kitajima, Y.Nishimura, H.Fujimoto and H.Takuda : Mater.Trans., 53 (2012), 826.
- 13) T.Hama, Y.Kariyazaki, K.Ochi, H.Fujimoto and H.Takuda : Mater.Trans., 51 (2010), 685.
- 14) T.Hama and H.Takuda : Int.J.Plasticity, 27 (2011), 1072.
- 15) T.Hama, Y.Kariyazaki, N.Hosokawa, H.Fujimoto and H.Takuda : Mater.Sci.Eng.A, 551 (2012), 209.
- 16) T.Hama, N.Kitamura and H.Takuda : Mater.Sci.Eng.A, 583 (2013), 232.

(2014年10月17日受付)