

# 先達からのお便り

## 蒼い軌跡

東北大学名誉教授 石田 清仁

大学の同期生を中心に「異分野新素材研究会」の活動をかれこれ20年以上続けており、その一貫として10年前に技術開発に関するエッセイ集を東北大学出版会より発刊している。その時の本の題名が「蒼い軌跡」であり(図1)、命名者はヤマハ株式会社の元研究所長の飯島健三郎氏であるが、著者はこのタイトルが好きである。若い頃は未熟な青二才だが、情熱を持った青春時代でもあり、この「蒼」という字はこれを象徴したタイトルである。本稿の執筆依頼をいただいた折、無趣味な筆者であるのでお断りしようと考えたが、50年余の研究生活の一端をご紹介することでお許しいただきたい。

1965年に東北大学工学部に入学したが、当時は教養二年次に専門学科が決定される。化学が好きだったので志望も考えたのだが、父が化学工学を専門としており、比較されるのが嫌だったので金属系を選んだ。当時の金属系建物は、片平地区にあり、3年時の3月に現在の青葉山に移転した。

4年生で各研究室へ配属となるが、講義が最もわかり易く、かつ一番若い教官であった西澤泰二先生の研究室を選んだ。青葉山へ移転した新しい研究室の部屋は備品や装置など何もなかったため、壁にドリルで穴を開けて本棚を作製したり、ニクロム線で電気炉や真空封入装置を手作りで用意することから始まった。

4年生前期はこのような大工仕事で終わり、後期からやっと卒論研究に着手することになった。与えられたテーマはFe-Cr系の $\gamma$ ループの決定と $\alpha/\gamma$ 界面移動度である。拡散対を用いて決定した $\alpha/\gamma$ 平衡組成が真の値から偏倚する現象を解析する内容であるが、当時はまだ良く理解できず、助手の方(現 千葉 昂 熊本大学名誉教授)の指示通り実験を行った。ただ、Fe-Cr系の $\gamma$ ループはA4点近傍ではCrはフェライト安定化元素であるが、A3点の温度では変態点を下げて、オーステナイトを安定化する特異な元素であることに興味があった。そこで、A4点以上の温度からFe-Cr合金を焼き入れたらフェライトをそのまま保持できると考え、実際にやってみると予想は見事に外れた。水焼入程度でもフェライトは $\gamma$ ループのオーステナイトに変態にし、さらなる冷却によってマルテンサイトに変態したのである。この様な実験は失敗に終わったが、初めて自分の頭で考えた実験であった。さらに調べると、フランスの雑誌に全く同じ実験がすでに行われたことを知り、愕然とはしたが、「世界は広い、同じことを考えている人が必ずいる」という教訓を得た。

卒論も終わり、春休みになったのでのんびりしていると西沢先生から呼び出された。

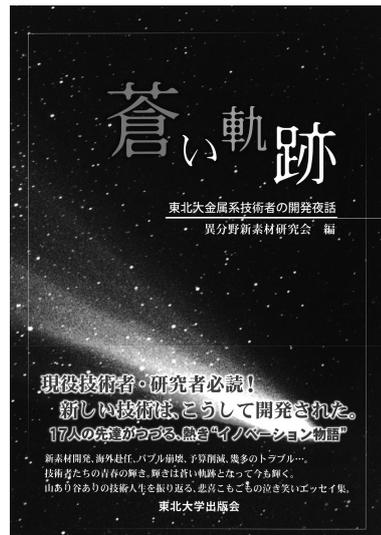


図1 東北大学出版会から発刊した“蒼い軌跡”の本の表紙。

「大学院に進学することがわかっているのに、何もやらずに居るのは何事だ！早く装置を設計して業者に依頼しろ」とこっぴどく怒られた。急いで本多式熱膨張計を設計し、発注したが、これは先生からの最初で最後の叱責となった。おかげで、それ以来研究は甘くないとの認識を持って望むことができた。

修論も終わり、研究を続けたいこともあって、博士課程に進学したいと先生に伝えると、オストワルド成長のテーマはどうかと助言された。しかし、ドクターのテーマは少なくとも自分で決めたいと常日頃思っていたので即答はしなかったが、なかなか良いアイデアは思い浮かんでこなかった。2、3か月悩んだ末、卒論、修論を通じて、鉄の相安定性について研究していたので、特に鉄のhcp相についてFe-Mn系を中心に、合金元素の影響も含めて調査したいと申し出て了承していただいた。地球の内核にはhcp相の鉄として存在することは知られているが、最近bcc構造を保っているとの報告もあり、多くの謎を含んでいる。

大学院の博士課程の当時は、オーバードクターに表現されるように、就職は極めて困難な時代であった。父が大学教官であったので、同じ道を辿ることは絶対に避けたく、企業への就職を考えていた。博士課程1年の時に、K社の奨学金を得ることができたので、その会社に就職するつもりでいたが、西沢先生から「それはまかりならん！鉄鋼会社へ行け！」との一言で大同製鋼株式会社(現 大同特殊鋼株式会社)への入社となった。当時の大学院生時代は国からの育英奨学金も受給しており、一生を通じて一番リッチな時代であったが、殆んどが奨学金となった。しかし、企業人となって両方の奨学金を返済しなければならず、ボーナスなどすぐ消えることとなった。妻からは、ボーナス時にいつも文句を言われ、それが10年以上続いた。

就職も決まり博士論文も書き上げ、残り少ない学生生活で

あったが、Fe-Mn系に引き続きFe-Ni系でもhcp相の出現ができないかと考えた。Siは積層欠陥エネルギーを低下させる元素なので、この合金系で幾つか試料を作製した。低温でマルテンサイト変態を生じた試料のミクロ組織は、Fe-Mn系のhcp相と極めて類似しており、予想的中したと喜んだのも束の間、X線を撮るとbcc構造であった。非常にびっくりしたが、このようなマルテンサイト形態はこれまで観たことがなく、ずっと頭から離れなかった。後に、京都大学の田村・牧先生らが報告した板状マルテンサイトであったことを数年後に知ることとなった。ただこの組織は鉄系の形状記憶特性に深く関与するので、後述するように大学での研究テーマの一つとなった。

鉄鋼会社に入社し、最初は研究所に5年間勤め、その後現場の技術課へ異動したが、この経験が後の人生に大きな影響を与えた。最初はJISの鋼種名もよくわからなかったが、1ヶ月も過ぎると慣れ、客先注文(例えば焼入性など)を満足するような成分設計や製造設計を行うことなどの業務であった。ある時、開発合金の製造を担当することになったが、超音波検査で端部に欠陥があることがわかった。通常はこの欠陥部を切断するが、長さが短くなり圧延機にかからなくなってしまおうので特採(新聞紙上を賑わせた言葉である)した。しかし、圧延したら見事に端部から割れてしまい、製品にはならなかった。このことは“材料は正直であり、生きている”ことを実感させ、常に材料に無理を強いてはいけないことを教えてくれた。会社の仕事にも充実感があったが、1981年の夏に西沢先生より突然大学に戻らないかと連絡があった。仕事上、不満もなく迷っていたが、妻の“ここは暑すぎるから仙台に行きたい”との一言で決めてしまった。大学の教官には絶対なりたくなかったが、結局父と同じ道を歩むことになった。

大学での研究生生活が始まったが、学問とはしばらく遠ざかっており、果たして伝統ある学科の重責を担えるか大変不安であった。迷っていても仕方がないので、少しでも早く取り戻すべく、しばらくは朝4時から5時頃に大学に行った。すでにそのような早朝に来られている先生もあり、皆さん努力されていることを痛感した。丁度中国から留学生が来ており、その博士論文のお世話をすることになった。卒業論文で拡散対による相平衡の決定についての経験があったので、Ni基合金の $\gamma/\gamma'$ 相平衡に応用しようと考えた。Ni基スーパーアロイの $\gamma'$ 相は冷却中に析出するため、通常の方法で精度良く相平衡を求めることが困難であったためである。このNi基合金の研究が後のCo基スーパーアロイの開発に繋がった。

初めて国際会議に参加したのが1985年の北京で開催された低合金高張力鋼の会議である。北朝鮮からの研究者も参加した時代である。当時の中国は人民服を着ている人も多く、女性のスカート姿も珍しい時期であった。会議終了後、夜行列車で桂林まで行き、観光を楽しんだ後香港経由で帰国した。香港で書店に立ち寄った際専門書を探し、丁度3元系の状態図集を見つけ購入した。その中に、ホイスラー相(H

相)の出現で有名なCu-Al-Mn 3元系の等温図が載っており、高温ではH相が不安定で出現しないことに変驚愕し、帰国後にその相平衡と機械的性質との関連についての研究に取り掛かった。本研究は、後に新しいCu基形状記憶・超弾性合金として実用化に成功したが、その誕生は本3元系の1枚の状態図によるものであった。またホイスラー化合物の相安定性についての系統的研究へと繋がった。

2000年頃であったかと思うが、当時の院生が「面白い成果が得られたのでNatureに投稿したい」と申し出てきた。Natureの雑誌は父が単独で論文を発表しており、その時の査読者は“Mixture”の著者であるGuggenheimであったなどと聞いていたので知ってはいたが、Letterなのが気になっていた。これまで論文は速報を除き、ちゃんとしたfull paperで投稿すべきということを教えられてきたからである。ましてや材料の専門誌ではないので内容を理解してもらえないか不安であった。しかし、一度は挑戦しても良いかもしれないと投稿したが、査読に回されることなく一発で却下された。流石にこのようなことは今まで経験したことがなく、大変ショックでありリベンジを誓った。今のように、引用回数やインパクトファクターなどがそれほど重要視されていなかった時である。その後、Nature, Scienceには9編か10編の論文を投稿し、6編が受理された。採択率約60%はまあまあであろう。

さて1993年から西沢研究室を引き継いだが、研究内容は状態図と組織制御が主である。しかし、何らかの研究室の特色を出したいと2~3ヶ月悩んだ末、基礎研究の他に企業の勤務経験を生かして東北大学の理念でもある本多光太郎先生の実学を2割程度行うことを決めた。

実用化には特許が不可欠であり、これまで150件以上出願しているが、大学の研究成果を出願した最初の特許は1986年である。原案は全部自分で作成し、特許が成立しても個人で年金を払い続けたが、結局日の目を見ることはなかった。特許を出願すると儲かると思っている方が多いが、全く逆で費用ばかりかかる。現在は産学協同の重要性も認識されているが、当時は企業側も大学との共同研究に積極的ではなかったように思える。

さて、研究室を立ち上げて運営するが、中でも研究テーマの設定が極めて重要である。何をやるかを考えるのは好きなので楽しく、常に頭の中はそのことでいっぱいであった。しかし、教授会を始め、会議やその他の雑務も多く、集中できない面もあった。そのような中でテーマを考えるに良い機会であったのが出張である。特に海外出張では会議を途中で抜け出し、自然と向き合いながら何をやるか集中して考えた。手帳に2~3ページの研究テーマが生まれ、帰国したら学生さんにやってもらうことが続いた。海外だけでなく、国内出張時も同様であり、やはり時には“気分転換が良いアイデアの創出には重要である”。

さて前述したように、企業に就職する直前の1974年の2~3月に実験を行ったFe-Ni-Si系の板状マルテンサイトは頭

から離れなかった。4年生や大学院生のテーマに取り上げ、組成も Fe-Ni-Al 基系へと10年以上継続して実験を行った。そして2010年に板材として鉄系で初めて超弾性合金を得ることができた。実に36年もの時間を要した産物であり、“研究に終わりはなく、諦めずに研究を続けるべきである”。この研究は最も長期間に亘って行ったテーマであるが、残念ながら未だ線材の作製に成功していないのでまだ研究を続けている。

卒論時の Fe-Cr 系  $\gamma$  ループのフェライト域からの焼入れ実験は、その後同様の  $\gamma$  ループを形成する Fe-Mn-Al 基合金へと引き継がれ、フェライト bcc 母相から fcc マルテンサイト変態の生成とそれに伴う超弾性の出現の結果を得ることができた。鉄の持つ磁性の効果が様々な特性を引き起こしており、その奥の深さは他金属を寄せ付けない。

実学を志してその困難さを身にしみて感じた。死の谷を何

度も経験したが、Pb フリー快削鋼、形状記憶・超弾性 Cu 合金、高強度・高導電性 Cu 合金、Co 基超耐熱合金など6件ほどの実用化も達成できた。研究し始めてから早いものは6年程度で、遅いものは10年以上かかったものもあり、実用化寸前のものも現在幾つかある。基礎研究だけでなく、実用化研究にもスタッフやポスドクの研究者、並びに学生諸君の貢献なくしては成果が得られなかったのは言うまでもない。数多くの失敗を繰り返したが、その失敗を通じて材料研究の奥深さ、面白さ、楽しさを痛感した。今後 AI などの手法の進展に伴い、どのような材料が生まれるのか期待もあるが、心配でもある。

最後に好きな言葉で終わりたい。

**努力，挑戦，飛躍。**

(2019年5月15日受理)[doi:10.2320/materia.58.792]