

◆平成 24 年度 第 4 回（通算第 30 回） 蔵前ゼミ 印象記◆

日時：2012 年 7 月 13 日（金）

場所：すずかけ台 J221 講義室

鉄のさびと戦って

鹿毛 勇（1993 金属, 08 Dr 材料工学）JFE スチール(株)スチール研究所 耐食材料研究部 主任研究員

鉄にまつわる格言は多い。「鉄は国家なり」はその代表だろう。ところが「鉄は水より安い」というのだ。1 kg_100 円というのは驚きだった。アルミで 400 円、チタンで 4000 円だそう。安く、丈夫で、湯水のように使えて、申し分のない鉄だが、唯一の欠点が錆（さび）ることだ。この鉄のさびと戦いつづけているのが鹿毛さんだ。静かな語り口だったが、近代国家の屋台骨を支えているのが鉄ゆえ、「さびを制する者は世界を制する」という鹿毛さんの使命感がよく伝わってきた。ペンキを塗るなど力づくで さび を抑え込む手もあるが、良質のさびを利用して鉄を守るうまい手もあると聞いて感心した。まさしく「毒を以て毒を制す」だ。

鹿毛さんは神奈川県出身で厚木高校を経て、本学の 2 類に入学し、金属工学科に進んだ。卒研配属では、水流 徹（1969 金属, 2012 定年）研究室にスカウトされた。理由は、留年組だったからだ。水流（つる）さんは 変わっていて、留年好きだった。「留年したヤツは元気があっていい」が口癖で、本気で留年した学生を集めていた。学生にも感ずるところがあったのか、皆、留年で蓄えたエネルギーを研究に注ぎ込み、遊びで身に付けた“得意な夜更かし”は 真夜中まで続く徹底的なディスカッション（研究戦略の立案）として実を結んだようだ。皆のパワーが研究に向かっているのを実感できたのは幸せだったに違いない。この頃の卒業生には 大学教授や大手企業の研究所トップとして活躍している人が多く、他大学の人たちからも数年の間にこれだけの人材が出るのは珍しいと言われるそうだ。

水流研究室で鹿毛さんが取り組んだのは、チタン合金を得る方法の開発だ。チタンは軽くて強く、腐食しにくい上に、資源量も多いという魅力的な金属だ。チタンの電気化学的精錬法が開発され、チタンめっきが可能になれば、その恩恵は計り知れない。しかし、チタンのイオン化傾向は強く、水溶液中では電気メッキの方法（電析）が使えな

い。そこで鹿毛さんは、熔融塩状態で電析する方法を試み、手掛かりをつかむことに成功した。残念ながら完成前に修士卒業となり、日本鋼管（後の JFE スチール）に勤めることになった（1993）。やり残した仕事は後輩が仕上げてくれた。何の問題もなかったはずだが、ある日、水流さんから呼び出しがかかった。恐る恐る研究室を訪ねると、「そろそろ博士号を取りなさい」という夢のような話だった。「自分のことをここまで気にかけてくださっていたとは！」本学に入って水流さんに出会えて本当に良かったと思えたそうだ。水流さんのような人のために「恩師」という言葉があるのだろう。

このドラマ化できそうな事件が起きたのは、会社での仕事に生きがいを感じ、鉄のさびとの戦いに没頭していた 2006 年で、卒業して 13 年目のことだ。水流さんの思いやりと期待に応えるために、そして何よりも自分の将来のために、博士課程の社会人コースに入学することにした。会社勤めをするかたわら、週に何日か（土日や夜を含め）大学に通い 3 年程かけて学位論文を仕上げるのは大変だが、挑戦してみることにした。水流さんは、頑張り屋だった学生のことをずっと気にかけており、会社でも頑張り続けている人には、水流さんの定年前に博士号を取らせてやる心づもりでいたのだ。普通は、卒業生側から元の指導教員に無理やり頼み込むケースが殆どゆえ、私もこの話を聞いて水流さんの教育者としての人柄に打たれた；教育担当副学長の総括補佐（2000.4～2002.9）を頼まれるわけだ。もちろん、鹿毛さんの学生時代の研究態度と会社での研究成果が評価されての話だが、忘れてならないのは、13 年たった後も連絡が取れるように音信を絶やさなかったことだ。転勤や転居を機に連絡が取れなくなる卒業生が多いゆえ、気を付けよう。

鹿毛さんが就職した時（1993）には バブル景気（1986～1991）の余韻がまだ残っており、さほど苦勞せずに日本鋼管に決まった。今の状況を考え

ると、就活中あるいは就活を控えた学生の皆さんには申し訳ない気がするとのことだった。しかし鹿毛さんの就活と入社後の希望部門への配属には学ぶべきことが多い。鹿毛さんは根づめて考えることが好きだった。真理の探究に憧れていたので、会社でもさび(腐食)を追求したいと考えていた。日本鋼管の技術研究所には松島巖という腐食分野のスター研究者がいた。迷うことなく日本鋼管となった。入社後の配属面接では「オレに腐食の研究をさせないのは会社の損失だ」と訴えた。こうして鹿毛さんの希望はかない、実績を通して会社の期待にも応えることができた。まだ47歳で道半ばだが、これまでの経験を通して後輩に伝えたいことは、「本丸に乗り込め!!」ということだ。鹿毛さんのスライドには感嘆符(!, Exclamation mark)が2個ついていた。その分野でトップのところ(本丸)には最新の情報が入ってくる。接することができる情報の量と質が違う。優秀な人も集まる。仕事をするならば本丸でというわけだ。教育研究でいえば東工大も本丸だ。せっかく入ったのだから、本学の教育研究環境をフルに活用しよう。こう書きながら本学の世界文明センター長 Roger Pulvers の言葉を思い出した: A university is a place of encounter. Here we encounter ideas, people and dreams...

少し専門的になるが、鹿毛さんの会社での仕事にも触れておこう。鉄鋼製品ができるまでの工程を、橋梁を例に、教えてもらった。圧延・熱処理で鋼板を作るところはまさしく「鉄は熱いうちに打て」だ。鹿毛さんが最初に付き合ったのは、0.2 mm 程度の薄い合金だった。ニッケルを 36% 含む鉄 (Fe-36%Ni Invar^(注1) 合金) は熱膨張率が極端に低く、温度によって寸法が変化しにくいので精密機器には不可欠だ。ノーベル賞を授与されたほどの貴重かつ高級な材料だ。これがテレビのブラウン管のシャドーマスクとして使われていた。シャドーマスクには数十万個の微細な穴があげられており、そこを通過した電子ビームが画面の蛍光体にあたることにより画像が描き出される仕組みで、画像の分解能(綺麗さ)を決める重要なものゆえ、電子ビームで熱せられても伸び縮みしないよう Fe-36%Ni Invar 合金が用いられたのだ。薄い金属板に無数の小さな穴をあけるのは機械的には難しいので写真の原理を利用するフォトエッチング法が採用されていた。この方法では表面は均質でなければならぬが、薄膜を得るために熱をかけて圧延すると表面がすぐ酸化され、鉄酸化物等がで

きて不均質となってしまう。これは避けようがないので、しかたなく表面の酸化物等を砥石で削り取っていた。そうすると高級品である Fe-36%Ni Invar 合金のかなりの部分を捨ててしまうことになる上に、砥石の粉が表面に残り、これが歩留まりを悪くしていた。そこで鹿毛さんは考えた。邪魔なさびを削り落とすのではなく、洗い流せないかと。種々の溶液を根気よく試すことにより、塩酸(HCl)と塩化第二鉄(FeCl₂)の混液が目的にかなうことを見つけ、実用化に成功した。鉄の価格の14倍もする素材(Fe-36%Ni Invar 合金)ゆえ、入社早々、会社に多大な貢献をしたことになる。根づめてとことん考えるのが好きだった鹿毛さんの本領発揮だ。

次に担当した自動車用表面処理鋼板では、大口需要家の自動車業界相手の仕事ゆえ緊張を強いられたに違いない。企業秘密も満載ゆえ、本印象記では深入りを避けたい。車の次は、住宅躯体用亜鉛めっき鋼板の規格化の仕事に携わった。当時の建築基準法では、耐久性の観点から、2.3 mm 以下の鋼材を構造躯体として使うことはできなかった。そこで、辻川・篠原・元田らが開発していた ACM (Atmospheric corrosion monitor) 型腐食センサーを用いて、大気環境中における鋼板の腐食性を電気化学的に定量的に評価する方法を確立し、亜鉛めっき鋼板を用いたスチールハウスの建設に道を開いた。

鹿毛さんの成長と共に、扱う鋼材も重厚長大になってきた。シャドーマスク用薄板から自動車を経て住宅、その次は橋梁だった。橋となると風雨にさらされる。しかも100年は持たせなければならぬ。というわけでペンキを塗って保護するのが普通だった。ペンキも劣化するので10~20年ごとに塗り替えなければならない。塗り替え用の足場を組むだけでも大変な費用になる。財政難に苦しむ地方自治体はどこも悲鳴を上げている。そこで開発されたのが耐候性鋼で、鉄(Fe)に銅(Cu)やニッケル(Ni)などの合金元素を微量含ませることにより、無塗装のまま使えるようになった。耐候性鋼では通常の結晶性さびの他に、保護性さびができ、さびでさびを制することができるのだ。しかしこれにも弱点があった。塩水に弱いのだ。実際、沖縄の海沿いに作られた耐候性鋼製の橋が錆びてボロボロになり通行止めになった。こうなると方法は二つ: 一つは塩分に強い高耐候性鋼を開発することで、もう一つは塩害の強そうなどこ

るでは使うなということだが、それには塩害等を定量的に評価する手段が必要だ。

鹿毛さんたちは、まず材料を強くすることを試み、合金元素であるモリブデン (Mo) を耐候性鋼に入れることにより潮風が吹きつける所でも使える高耐候性鋼の開発に成功した。環境条件により通常の耐候性鋼と改良型の高耐候性鋼を使い分ければ、より経済的だ。そこで、耐候性鋼の腐食量を予測する方法の開発にも取り組み、見事予測ソフトを作り上げることに成功した。実際これまでに 100 を超える橋の建設に際して、このソフトが使われ橋梁素材が決められたそうだ。さびの専門家として現地調査も依頼される (そのような仕事も探検心が刺激され悪くなさそうだった)。そんな際に撮影した としておきの写真を何枚か見せてもらった。鹿毛さんのコメントが印象的だったが、「これはオフレコですから、皆さん、いろんなところに書かないで下さいよ」とのことだったので、約束は守らなければならない。とはいえ、年老いた人のための年金と老朽化した社会インフラのための維持費を天秤にかけなければならない状況がすぐそこまで来ている感を強くした；人をとるか橋をとるか。

住宅躯体用亜鉛めっき鋼板以降のさびとの戦いをまとめたのが鹿毛さんの博士論文でもある。学術的な詳細に興味のある方は図書館で参照されたい。鹿毛さんの最後のスライドに書かれていた展望を引用しておきたい：「21 世紀の日本は、社会資本が充実し、維持管理主体の社会になる。アジアの新興国は、気温・湿度が高く腐食環境が厳しいと

推定される。⇒長期の腐食量予測、寿命推定技術は、ますます重要になってくる。種々の分野で腐食寿命予測技術 (主に大気中) を確立・整備し、社会に貢献していきたい」。「さび職人」鹿毛勇の活躍に期待しよう。

余談になるが、鹿毛さんが世話になった水流さんの先代が春山志郎 (1953 化学, 1989 定年) と聞いたので、書き残したいことがある。生命理工学部を作る時に一般教育をどうするかという問題を議論した時の委員長で、私たちはその委員会を「春山委員会」と呼んでいた。学部新設に際しては、専門教育用に学生 5 名あたり一名の教員が純増で手当てされたが、一般教育用には学生 50 名に 1 名の教員しか付かなかった。生命理工学部の学生定員は 150 名だったから一般教育用にはわずか 3 名のみだ。これでは、数学・物理・化学・地学・生物学・語学・人文社会・保健体育など一般教育の負担増にとっても対応できない。そこで どう無理をお願いするかという難しい問題の解決を任されたのが春山さんだ。この委員会には、江頭 淳夫 (ペンネーム: 江藤淳, 1932~1999) も出席していて、相当厳しい注文を付けていた。何とかまとまったのは春山さんのお陰だ。驚いたのは、その発言から本学の一般教育に命を懸けていると思えた江頭さんが、翌年 (1990)、母校とはいえ慶應義塾大学に移ってしまったことだ。事実は小説よりも奇なり。

(注1) Invar という名称は Invariable (不変の) に由来する。

(生命理工学研究科 生体システム専攻 教授 広瀬茂久)