粉体工学，結晶学的材料設計法から鉱物資源百科辞典， 技術者倫理学へ

－粉体工学の優れた人たちとの出会いを糧として－

牧野 和孝*

Kazutaka Makino

1. 私が粉体工学を研究していた時（1950から80年代前半）－粉体工学の興隆期－

日本の状況（1950から60年代前半）は，大山先生をはじめ井伊谷先生，上滝先生，吉田哲先生，大塚先生，久野先生，沢畠先生，上田先生，三輪先生，奥田先生，田中達先生，八嶋先生，梅屋先生，荒川先生，神保先生，外山先生，菅沼先生，山口先生，砂田先生ら，そうそうたる研究者たちが粉体工学という新しい学問領域の創造に燃え，立ち上がった時代でした。私たち若き研究者を目指す者にとっては，非常な知的刺激と知的興奮を受けたものでした。

一方，海外の状況（1950から60年代前半）は，ダラバラが「マイクロメトリックス」を刊行し，粉体工学という学問分野の体系化が始まろうとしていた時代でもあり，ルンプが粉体層中の1個粒子周りの接触点数と粉体応力との関係を示すルンプの式を提出，デービスやフリードランダーがエアー・フィルターの

単一繊維の捕集効率と総合捕集効率との関係を表す対数透過式として単一繊維の捕集効率を理論的に検討，アシュトン・ファーレイ・バレンティンが粒子配列モデルと粉体粒子間相互作用を導入して四つの粉体粒子からなる粉体層崩壊モデルを提出した時代でもありました。

我が国では「粉体工学という新しい学問領域の創造に燃えた研究者が立ち上がった時代」と前述いたしました，本当に，文字通りそのような時代でありました。例えば，井伊谷先生が「集塵装置」という名著を著し，研究領域をサイクロンからエアーフィルター等集塵装置，粒度測定，空気輸送等の分野に幅を広げた時代であり，以下のように様々な進歩がありました。

上滝先生が「粉粒体空気輸送」に関する名著を著し，粉粒体空気輸送に体系的な研究を展開し，吉田哲夫先生が「振動場における粉砕メカニズムに関する研究」という著名な論文を提出，大塚先生，砂田先生が薬学分野の粉体現象を基礎的に体系化され，他分野の粉体研究に影響を与え，田中達夫先生の「粉砕に関するいわゆる田中の法則」が提出され，それまでのキック，ボンド，リッティングの3法則に新たに田中の法則が加わった時代であり，三輪茂雄先生が「ふるいの研究」で独創的な成果を出され，その後粒度測定，石臼，鳴き砂等の分野で独創的な研究を展開し，八嶋先生がその後の粉砕に関する八嶋の相関式の提出につながる単一粒子の粉砕の系統的な研究に取り組み始め，梅屋薫先生がその後のレオロジーに関する梅屋の相関式の提出につながるスラリーについて系統的な研究に取り組み始めた時代でもありました。また，荒川正文先生が粉体工学発展史上目を見張る貢献をした沈降式粒度分布測定機を実用化され，粒子間相互作用解明のための様々な独創的な測定方法を開発し，神保元

第41回粉体に関する討論会（2003年10月，米沢）にて発表
2004年3月24日受付
秋田大学副学長

（〒010-8502 秋田市手形学園町1-1）TEL 018-889-2288

* 現 〒010-0871 秋田市千秋中島町4-8

< 著者紹介 >

昭和14年10月30日生まれ，昭和38年3月名古屋大学工学部化学工学科卒業，昭和39年3月名古屋大学大学院工学研究科化学工学専攻中退，昭和39年4月京都大学工学部助手，昭和47年1月京都大学工学博士，昭和49年4月京都大学工学部助教授，昭和58年3月秋田大学・鉱山学部教授，平成10年4月秋田大学工学資源学部教授，平成12年4月秋田大学工学資源学部長，平成14年4月秋田大学副学長，現在に至る。

主な業績：鉱物資源百科辞典の刊行，日本素材物性学会の設立

二先生が世界に先駆けてジェットミルの実用化を達成し、粒度分布測定、粉体物性、粉粒体プロセスへと粉体工学の分野を広範な領域へと広げ、菅沼彰先生が粒子の沈降、接触点と引っ張り強度の関係、粉体の凝集、粉体の分散等いわゆる粉体の基本現象を体系的に取り上げ研究を活発に展開された時代でありました。

こうして先達の方々に眺めさせて頂き、こうして思いを3、40年さかのぼらせて頂いただけでも、今日の世界に冠たる粉体工学の発展の土台を構築された方々に囲まれて、私は若き時を研究者として過ごさせていただいたことを感じるものです。個人的に大変恵まれた環境を与えられていたのです。

しかしながら、その私が後で述べさせていただきますが、粉体工学の分野から徐々に離れて今日に至ってきたわけです。

私としまして、今思うことは、このような先達の学問的資産を引き継いで、私以外の同世代の方々がそれをさらに世界に冠たる粉体工学へと導いてこられたわけでした、この機会をお借りし、同世代の先生方の偉業に対して心から深甚なる敬意を表させていただきます。

粉体工学という学問の体系化のために、こうした若き優れた才能が日夜学問研究に没頭して新しいアイデアを創造していました。私は日々圧倒されるばかりでした。

1960年代前半から1980年代前半

こうした優れた才能の一端をかいま見れば、その後、粉体工学がどのような方向に展開しようとしていたかを理解できるかと思います。以下、思いつくままに列挙させていただきます。

私が名古屋大学大学院修士課程1年の頃、当時京都大学大学院博士課程の学生であられた江見準先生（現金沢大学名誉教授）が、エア・フィルターの単一繊維の捕集効率を繊維周りの気体の流れ場を厳密に考慮して計算し始めたのには本当に衝撃を受けました。このように本格的に取り組んだのは、世界でも江見先生お一人だと思います。私は、縁あって、翌年京都大学工学部助手として奉職し、京都大学で当時誘電エアフィルターのアイデアを出し、例の対数透過式を用いて単一繊維の捕集効率を実験的に検討し始めた頃でした。

その後も一貫して江見先生はこれに取り組まれ、金岡千嘉男先生とともにエアフィルターの体系化という偉業を完成されましたことを皆さんもご存じのこと

です。

当時私は京都大学におりましたので、大阪府立大学の現在名誉教授である向阪保雄先生ともいろいろ親しくご指導を賜りました。私はその向阪先生から大変大きな衝撃を受けました。向阪先生は限外顕微鏡法というエアロゾルの凝集現象の独創的な測定法を、現在、広島大学の奥山喜久夫先生とともに提出されました。これがその後のエアロゾル研究に大変大きな影響を与えたことは言うまでもありません。

京都大学にいた関係で粉体工学会のお手伝いをさせて頂き、毎月いろいろな先生方とお会いする機会がありました。その中のお一人で、岐阜薬科大学の川島先生がなされた凝集研究の体系化手法には心を奪われました。その後、川島先生は凝集工学におけるモデルと実用的課題とのドッキングという視点から一貫して凝集工学を体系化されたことは多くの方の知るところです。

私はそのころ京都大学の増田弘昭先生と同じ研究室におりました。私は増田先生の粉体現象に対する独創的かつ本質的な着想に当時から敬意を感じておりました。増田先生は粉体粒子が平板に衝突した際の傷のでき方を検討されておりました。私はこの着想が粉体粒子同士に展開され、粉体現象の本質的解明に今後極めて重要な役割を果たして行くのではないかと考えております。粉体現象の熱力学的な解明が増田先生の研究から発展して行くのではないかと考えているのであります。これについては後述させていただきますが、私が秋田で、20年間、粉体工学のことを何もせず粉体工学について考え続けてきた結論に極めて近いものとなるものでございます。

それまでは遠く離れておりましたが、私が秋田大学に赴任以来親しくご指導を賜っている神田良照先生の粉碎に関するデータベースの構築は、学問的に極めて高い価値があるものだと思います。おそらく世界的にみても、これほどデータを系統的に集積させておられる方はいないのではないかと思います。今後、粉碎に関する八嶋先生のデータと神田先生のデータ・ベースが、粉体の熱力学的解明のための重要な情報として引用されることになるでしょう。

以上、他にも優れた多くの先生方がいらっしゃいますが、そのなかでも特に、私が若い頃から現在に至るまでに直接的あるいは間接的に大変大きなインパクトや影響を受けた5人の先生について、特に私の印象を述べさせていただきます。

これら粉体工学の第一世代を継承された第二世代の

5人の先生方の生き方にも、粉体工学の応用から基礎にわたる領域に対して一貫して学問的体系化という観点に立ってその発展の基盤を確実にされる、と同時に、粉体工学の国際的協力の実現という偉業を達成されたということができるのではないかと感じます。

そして、現在は第二世代から第三世代の先生方によって、より本質的な粉体工学の研究がより活発に展開されているのではないかと考えています。第二世代から第三世代の先生方とは、後述致しますように、私が粉体工学の会合に出なくなったこともあり、多く触れあう機会もなく今日に至ってしまいました。

そのように少ない触れあいではありましたが、私としてはどうしても申し上げておきたい、とりわけ私があるその才能に感じ入っているお二人の先生がいます。

そのお一人は椿淳一郎先生です。椿先生は神保先生ゆずりの幅広い視点から粉体層レベル、粒子レベル、原子レベル、電子レベルと幅広く四つの階層性を考慮したアプローチにチャレンジされています。私は椿先生のアプローチに大きな未来を感じるものです。

もう一人は鈴木道隆先生です。鈴木道隆先生とは、先生が京都大学の博士コースの学生時代に私が助教授で研究と一緒にさせて頂きました。先生は粉体層レベルと粒子レベルとを結びつける研究で先駆的な研究をされ博士論文を提出されました。文字通りその分野の第一人者です。その後の活躍もそのことを物語っているところです。鈴木先生はあの頃一週間に最低一度は何か新しい独創的なアイディアを出されておられました。ある時、鈴木先生が粉体層モデルの基礎となる粒子密度分布を証明するため工夫され、重ねあわせ写真を作られそれを見せて頂いた時の感動はいまも忘れることができません。

以上、私に関係した粉体の分野のいろいろな優れた先生方の研究に関して話をさせて頂きましたが、私が言いたいことは粉体工学の分野もいよいよ本質的段階に入り、私の恩師の井伊谷先生が「21世紀は粉体工学の時代」だと口癖のように言っておられました、まさにそのような時代を第三世代の先生方が担おうとされているのだということです。粉体の本質的解明にチャレンジするという研究者としては大変魅力的な時代を迎えているのだと思います。

2. 私が結晶学的材料設計法に取り組んだ時代 (1980年代前半から後半)

秋田大学に赴任して5年目、当時、TDK会長の山崎貞一さんに出会い、多額の財政的支援を頂けること

となり、秋田に本部を置く日本素材物性学会を設立いたしました。その時、山崎貞一さんから言われたことは、将来秋田からノーベル賞をとるような研究者を出すようにして欲しいということでした。以来、「規模は小さくても、志は高く」を設立の基本理念として地道な活動を続けているところでございます。私は初代編集委員長、第2代会長を経て、現在は顧問をしております。神田先生には現在も副会長をお願いしております。

このような設立理念を有する学会の運営に責任を負うこととなり、自分の今後の生き方をあれこれ考えていた頃、同じ研究室の倉光鋼太郎技官に「先生、今一番大切なことは何もしないことですよ」と一言いわれ、その一言に目から鱗の落ちる思いを感じたのであります。以後、粉体工学から一旦離れ、原子レベルの結晶学的材料設計の分野に手を染め始めた訳です。それを武器に、いずれ粉体工学の分野で再び貢献したいと考えた訳です。

結晶学的材料設計の分野は、結晶中の原子の幾何学的配列を表す対称操作演算子、点群、空間格子、配列の固有値、群論、射影演算子、ハミルトニアン演算子、エネルギー固有値、永年方程式等からなる体系化されている大変魅力的な武器が整備されておりました。そして、来る年も来る年も、卒論、修論でその結晶学的材料設計手法の実際問題への具体的な適用について検討したものでした。卒業生は結晶学的材料設計の分野で世に送り出しました。

そして、これらの武器を集め使いこなせるようになった暁には、それをもって粉体工学に戻るというおおよその方向性を内に秘めていたのですが、最早私には時間がありません。夢は未来に託すという意味で、増田弘昭先生のようなアプローチが大切なのではないかという思いに至った訳であります。

増田先生はあの頃から粒子接触点における機械的エネルギーと静電気エネルギー間の変換に主に注目されましたが、それを私は粒子接触点における機械的エネルギー、静電気エネルギー、磁気エネルギー、熱エネルギー間の相互変換に注目するという観点から増田先生のアプローチを適用し、同時に高精度の実験測定システムを工夫すれば粉体の熱力学的な解明が体系的になされるのではないかと考えた次第です。そして、例えば椿先生や鈴木先生のアプローチが加わればさらに強力な粉体熱力学の解明プロジェクトが構築されるのではないかと考えているわけです。そこでは粉体粒子間、粉体間、粉体・平板間での4種類のエネルギー変

換機構を表す機械的エネルギー・機械的エネルギー間の変換率を表す弾性コンプライアンス、電気エネルギー・機械的エネルギー間の変換率を表す圧電定数、磁気エネルギー・機械的エネルギー間の変換率を表す圧磁定数、機械的エネルギー・熱エネルギー間の変換率を表す熱膨張係数、電気エネルギー・電気エネルギー間の変換率を表す誘電率、電気エネルギー・磁気エネルギー間の変換率を表す磁気誘電定数、電気エネルギー・熱エネルギー間の変換率を表す焦電定数、磁気エネルギー・磁気エネルギー間の変換率を表す透磁率、磁気エネルギー・熱エネルギー間の変換率を表す焦磁定数、熱エネルギー・熱エネルギー間の変換率を表す熱容量の計10種類の物性に注目して増田先生のアプローチを適用すれば、粉体の接触点現象のエネルギー収支（熱力学第一法則）を解明できると同時に、熱エネルギーを定量的に測定（熱力学第二法則）できる。

このようなアプローチを系統的に種々の粉体現象に適用すれば、学問的に貴重な多くのデータが蓄積できるものと思われます。こうして得られた粉体力学の解明結果の検証に当たっては、八嶋先生のデータや神田先生のデータ・ベースを検証のために引用することができると思います。

3. 私が鉱物資源百科辞典の編集に没頭していた時代（1980年代後半から1990年代後半）

秋田10年目のある時、私は鉱物資源のメッカ秋田大学鉱山学部にて鉱物資源のデータベースの蓄積に目を奪われるのを感じました。鉱物を収集・分類・陳列する当工学資源学部附属鉱業博物館の所蔵するデータベースの学問的価値に目を奪われるのを感じました。その時私は、我が国に鉱物資源百科辞典が出版されていないことに気がつきました。鉱物は工学の生みの親であり、文明の生みの親であり、粉体の生みの親です。私は、我々の学問の生みの親である地球上に存在するすべての鉱物のひとつひとつに対して和名、英名、化学組成、鉱物学的観点、結晶学的観点、光学的観点、化学的観点、物性学的観点、産地的観点、X線回折データ、文献等を原論文から詳細に整理・分類・体系化し、我が国初めてのデータベースとしての鉱物資源百科辞典を刊行いたしました。10年

間という歳月を文字通り没頭致しましたが、真の鉱物資源百科辞典というものは、私のような、全体を総合的にとらえる粉体工学や化学工学という学問も含めて、いろいろな学問の世界を渡り歩いた人間が百科全書概念を創造し、それを一人で何から何まで手を動かして完成したものから生まれるものであると信じてまいりました。

この鉱物資源百科辞典が、今後どのように社会の中で役立って行くかは、私にはわかりません。鉱物資源百科辞典は私の子供として、後は子供の才能を信じて成長を見守っていきたいと思います。

4. 技術者倫理学を始めようとしていたら（1990年代後半から現在（2004年））

鉱物資源百科辞典の刊行を終え、私は環境、生命、情報等に多くの深刻な課題を内包する今日、技術者は環境倫理学、生命倫理学ならびに情報倫理学を中核にし、その周辺に専門知識をキチッと巻き付けた知識を身につける必要があると考えました。そして、このような“技術者倫理学”なる学問を構築する必要を痛感するに至り、体系の構想を考えたり、情報の収集をしたり等の種々の準備を始めました。

丁度、このとき魔がさして私は学部長、副学長に選出されたり任命されたりして管理運営に没頭することになり、技術者倫理学を諦めざるを得なくなりました。私にとっては大変心残りとなってしまったわけですが。

5. おわりに

私が若き時代に情熱を燃やしかかわらせて頂いた粉体工学会の学会誌に、今回投稿の機会を与えて頂いたことに心から感謝申し上げます。

私の恩師である井伊谷鋼一先生が口癖のように言っておられました“21世紀は粉体工学の時代”を、私自身が退官する時になってしみじみと感じ入っております。いまとなっては余りにも気付くのが遅しであります。

最後になりましたが、粉体工学にたずさわる研究者の皆さんのますますのご発展とご健闘を心よりお祈り申し上げます。