鉱物処理と機械的操作の間（Ⅱ）

——プロセス設計を志したころ、そして米沢への転勤——

八 嶋 三 郎*
Saburo YASHIMA

1. 試練のとき

恩師大山正先生には昭和32年4月1日付で岩手大学工学部教授に転出され、そのあとには兄弟子の下飯坂潤三先生と私の2人の助教授が残されて、応用鉱物学の鈴木廉三九先生が講座を兼担されることになった。専任教授がいない講座はまことにみじめなものである。それまであまり意識しなかった、といえいい過ぎのようにも思うが、いわば教授の威力というメガトン級の核のかさの下でぬくぬくと勉強だけに打ち込んで来ることでできたわれわれにとってはまさに浮き世の風が身にしみる仕儀となった。大山先生が残して行かれた講座費の赤字もそっくりそのまま相続させられた私達は、助教授二人に配当される乏しい講座費の中からおやじの残した借金を返済しつつ研究を進めなければならなかった。随分と大砲の玉や鉄砲玉も飛んで来たが古参助教授と新米助教授といういわば軽巡洋艦と駆逐艦クラスの豆鉄砲では到底太刀打ちなんかできるものではない。廊下もなんとなくすみの方を上目使いに歩いて、という感じになってしまった。

しかし最も痛切に感じたのは、このような浮世の風的なことではない。そんなことは耐え抜けばよいことであった。それまでは研究のテーマを先生からいただいて勉強して来たのに、今後は自分自身でテーマを考え出して勉強して行かなければならない、そのむづかしさだった。研究者にとって最も大切なこと、それは研究テーマの選択である。テーマが決まってしまうばもう研究の大部分はできあがったも同然である。それと、助手のころは学生実験や卒業研究、あるいは大学院学生諸君の勉強を手伝っていればよかったのだが、今度は講義も持たなければならぬということで、まことに目の回るように忙しい助教授生活が始まった。講義で私が受け持ったのは

鉱物処理工学のうちの主として物理的な操作で、破碎、粉碎、ふるい分け、分級、比重分離、磁気分離、静電分離などであった。当時は学生向きの手ごろな教科書もなく、いろいろな文献を集めたり、図や表を作ったりということで、結構講義の準備にも時間を費やした。今はゼロックスもあり、コピーをとるのはいとも簡単であるが、当時は講義用の図面や表は大先生でも講座の技官に日光写真の青焼きを作らせて準備していただくから、われわれ駆け出しの助教授はとてもそのような準備をすることもできない、いきおい講義の前日は家にまで謄写版を運び込んで夜ふけまでガリを切ったり印刷をしったりして間に合わせるが多かった。なぜそんなことをしたのだったろうかと思ひ返すことがあるのだが、東北大学には本多光太郎先生以来、学校では机に座って本を読んだり計算したりしてはいけない、学校ではひたすらひたすら実験をして、計算などのデータの整理や文献を読むのは家に帰ってからにしろなさいという、いわば“おしん”的な伝統があって、もちろん今もそれはそうなのだが、われわれも必然的にそれに沿った生活をしてきたからようで、事実研究実験をやっていると時間がなくて、講義の準備は家に帰ってからでもやらないと間に合わなかったように思う。そういえば学会での研究発表も、今はスライドを使って講演するのは当たり前になってしまったが、当時はそんなものではなく、もっぱら大版の模造紙に図や表を書いた、いわゆるビラを使っていた。学会が近付いて来ると実験が忙しくなってくるので、学校でビラを準備する時間がないときは夜家に帰ってからビラを書いたこともあった。私は演壇に立つとどうも上ってしまうたちなので、学会に出掛ける前には少なくとも10回くらいは練習して決められた時間内に講演が終るようにしないと落ち着かなかった。家に帰って部屋中にビラを張り巡らして、小学校に上がったばかりの息子や幼稚園に行っていた娘を二人並んで座せて、その前で何度も練習したりした。子供らには何が何んだかわからない話だったろうに、でもよく我慢して付き合ってくれた。

昭和59年7月18日受付

* 東北大学選鉱製錬研究所（〒980 仙台市片平2-1-1）

TEL 0222-27-6200

2. 気ほうと球面における球の充てん

そのころどうしても解決しておきたい研究テーマが一つ浮かんで来た。それは球面における球の充てんにかかわる問題であり、これは大山先生がおられたころからしばしば話題になっていたテーマでもあった。なぜそんなことが問題になって来たかという、現在も鉱物処理において主流の分離操作となっている浮選法に関して、これを速度論的に扱う浮選速度論のほうで、最大浮選速度を理論的に求めようとするとうとうしても一つの気ほうの表面に鉱物の粒子が最も密に並んだ場合何個並ぶかという問題を解いておかねばならないことになる。気ほうと鉱物粒子とを双方ともに球形と考えれば、これは取りも直さず球面における球の最密充てんの問題である。両者の直径比が大きいときには、この問題は平面における球の最密充てんと同じこととなるはずだが、直径比が小さいときはどのようなのだろうか。そこでまず始めに、いろいろな球を集めて実験をしてみることにした。デパートのがん具売場に行っているいろんな大きさの手まりを買ったり、軟式テニスのボール、ピンポンのボール、各種のサイズのベアリング用鋼球を集めた。こんなことをしているときに、当時手軽に入手できる球のうちで最も小さいものは仁丹、それに子供の気付け薬の救命丸であることを知った。しかしこのような薬類はぬれるとくずれてしまい、救命丸などというものは高価だしそれに校費で仁丹や救命丸を購入するのも変な話だし、ということで、小さいほうはベアリング用鋼球の一番小さいのまでとし、あとは適当に直径比が変わるように球を組み合わせて、とにかく球面に球を、溶かしたパラフィンでできるだけ密に充てんするように固定してみて、その個数を数えたり、写真を撮影して気ほうに相当する球の直径が同じになるように引き伸ばして焼き付けた写真を作ったりした。後に米沢でサンドミルの実験をすることになり、再び小さくてかたい球を手に入れなければならないときにはタングステンカーバイドのメーカーに知人がいたので、ボールペン用のボールのおしゃかになったのをたくさん譲っていただいた。はっきりとは覚えていないが直径が0.7mmくらいだったように思う。しかしこれも正式な値段で所要量をそろえるとなると可成りの金額になるようだった。なにしろこんな小さい球はたとえばキャベジンのあきびんに一杯といっても膨大な数になるし、なにしろ一個幾らというのだから。一方球面における球の充てんの理論的な解を求めるのを学位論文のときにご指導をいただいた枝本勇雄先生にご相談した。結局半理論解のような計算式を求めることが

図1 球面における球の最密な配列

図2 球面における球の最粗な配列

できた。それは球面における球の充てんの配列状態をよく観察すると、図1に示す平面の場合の交角 60° に相当する最密充てんと、図2に示すような交角 90° に相当する最粗充てんとを交互に繰り返すので、球面に球が全部交角 60° で最密充てんしたと仮定したときの個数 N_e と、全部が交角 90° で最粗充てんしたと仮定したときの個数 N_r を求めて、それらの算術平均 N を求めるというものであり、つぎの計算式が求められた。 E_e と E_r

$$\left. \begin{aligned} N_e &= \frac{6A}{E_e} \\ E_e &= 3 \sec^{-1} \left\{ 1 + \sec \left(2 \sin^{-1} \left[\frac{r}{R+r} \right] \right) \right\} - \pi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} N_r &= \frac{2(A+B+C)}{E_r} \\ E_r &= \tan^{-1} \frac{\sin^2 \left(2 \sin^{-1} \left[\frac{r}{R+r} \right] \right)}{2 \sec \left(2 \sin^{-1} \left[\frac{r}{R+r} \right] \right)} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(2)$$

$$N = \frac{N_e + N_r}{2} \quad \dots\dots(3)$$

はそれぞれの球面過剰であって、この式で計算すると実験値とよく一致することが認められた。この結果は、大

山正, 八嶋三郎: 浮選における最大気ほう負荷の研究, 日本鉱業会誌, Vol. 77, No. 872, pp. 94~100 (1961) として掲載してある。

このごろはダイアログなどでいとも簡単に文献の検索ができるようになった。われわれがこのような研究を行っていたころのようにウンウンいいながら Chemical Abstract と首っ引きで, という方法は今もあるにはあるが, それに比べると文献の検索がとても手軽に行えるようになった。しかし古い文献にまでさかのぼって調べることはむずかしいようで, この点はなんとかならないものかと思うことがある。というのは最近, 同じ問題と取り組んでおられる方があるのを知って私の古ぼけた別刷を送って差し上げたことがあったので。

この研究の一環として浮選槽の中の気ほうのサイズ分布と, それが界面活性剤(鉱物処理工学では起ほう剤とっている)の濃度でどのように変わるか, 浮選槽の中の気ほうと水との相境界面面積はどれくらいか, などを求めた。そのころ樋口盛一先生にお目にかかったことがあって, 今このような研究をしていますとお話したところ, 先生がお若いころ宮城音五郎先生のもとで気ほうの実験をしたことがあったがその時工夫して作った気ほう発生用のノズルをどこかにしまっていると思うので探しておいてあげようといってお下された。その後調べたところこのご研究は, Otogorô Miyagi: Theory of the Air-Lift Pump with Special Reference to the Slip of Air Bubbles in Water, Technology Report of The Tôhoku Imperial University, Vol. 4, No. 2, pp. 51~69 (1924) として掲載されていた。おそらくわが国での気ほうの研究の草分けであったろうと思う。この気ほうの問題は後に東北大学の化学工学科の前田四郎先生と只木楨力先生によっても詳しく研究されている。私が実験した当時もやはり気ほうの写真を撮影して測定した。使用したカメラは私が持っていたプリモフレックスという二眼レフと, ペンタックスK型といって初めて1/1000秒の速度のシャッターが付いたペンタブリズム付きのカメラだった。ストロボを発光させて, 横に取り付けた顕微鏡を通して, めくらでシャッターを押し, 現像してみてもちょうど焦点のところに位置して, はっきり写っている気ほうを捜してサイズを測るという根気のいる仕事だった。この実験には現在東北工業技術試験所の企画課長をしている岡田豊明氏が卒業研究として従事してくれた。この研究は最大浮選速度についての考察と共に, 八嶋三郎: 浮選における分散気ほうのサイズ分布について, 日本鉱業会誌, Vol. 79, No. 905, pp. 930~934 (1963) として掲載してある。

3. 鉱物処理の設計に研究の重点を移したころ

このような研究を進めているうちに, 私はいわゆる選鉱設計をどのようにして行えばよいのかということに興味を持つようになった。選鉱設計ではたとえばウィルフレテーブルの所要台数を決める場合でも, 処理量は1台当り0.5 t/h が基準だから, それで全処理量を割って所要台数を決めて, 用水の量も洗浄用に鉱石1 t 当り3~4 t, 鉱石の輸送用に鉱石1 t 当り2~3 t とデータが出ているから全所必要水量を決めるのもきわめて簡単である。またたとえば浮選系統を設計する際の浮選機の所要台数を決めるのにも比較的簡単な方法で計算している。選鉱学の著名なハンドブックの A. F. Taggart: Handbook of Mineral Dressing を見ても非常に多くの実際的なデータが掲載されていて, これを見ると選鉱設計は実際的なデータによって行うような方法をとっているように思われる。考えてみれば天然産の鉱石は, たとえば同じ黄銅鉱を含む鉱石でも, その性質は鉱山によって異なるし, このような方法が最も安全な方法であるのかも知れない。またもっと本質的には, 気体や液体のような均一な性質を持った物質を取り扱う場合に比べると, 固体あるいは固・液混相系を取り扱う場合には未解決のきわめてむずかしい問題が含まれることも大きな理由かも知れない。しかしもっと何んとかならないものだろうか考えるようになった。磁力選鉱に関しては私の手元には既にいろいろな実験データがたまっていたし, 昭和28年ころから大山先生の研究室では砂鉄選鉱研究会を組織していて, 毎年東北地方の砂鉄鉱山のある地域で研究会を開催していたので, 数多くの現場のデータも手に入れていたし, また東北地方には磁力選鉱のメッカである日鉄鉱業鞍山石鉱業所もあったし, ということで実際のフルスケールの装置でとった操業データにも事欠くことはない。それに磁力選鉱はいわゆる物理的分離法であって, 現象も比較的単純である。こんなことから, いろいろと思考を巡らして少しずつデータを整理し, 組織的に勉強を進めて行った。そのうちにとても面白い現象があることに気が付いた。磁選機の磁石の配列には二とおりあって, 横方向にN, S両極を並べる方法(これを異極並列, arrangement of alternate polarity という)とN, S両極が向き合っている配列(これを異極対向, arrangement of opposite pole という)とがある。2000 Oe 程度までの弱い磁界を発生するには異極並列型を用いていて, N極S極を多いものでは25対くらい並べ, その下面に接して移動する非磁性のベルトあるいは非磁性のドラムの面に円弧の房状に吸引された磁性

粒子が、それと同時に移動するようになっている。なぜこのような方式になっているかというと、磁極に吸引された鉱石が、N極、S極交互に配列している多数の磁極対の下を通るうちに、房の中に抱き込まれた非磁性粒子が振り払われて次第に品位が向上して行くことを期待したからであろう。この作用のことを Gaudin は彼の著書の中で“winnowing action”といている。[A. M. Gaudin: Principles of Mineral Dressing, p.451 (1939), McGraw-Hill, 後に 久保 秀正と衛藤重孝は 1944年に小学館から出版された訳本の中で、これを“吹き分け作用”と訳している] 比重分離でも浮選でも、脈石粒子の抱き込み（あるいは迷い込み）現象は見られるが、磁力選鉱ではこの抱き込み作用がことの外に顕著なのが特徴である。ところが多数の磁極対を配列することによる精選効果が本当に期待されるのだろうかという疑問が生じて来た。そこで当時金石鉱業所で磁鉄鉱の選鉱に使っていたベルト型の Crockett 湿式磁選機、もう一個所は青森県の日本高周波鋼業株式会社代官所で砂鉄の選鉱に使っていた同じく Crockett 湿式磁選機について現場の分離操作を瞬間的に停止して磁選機を分解し、磁性粒子が房状に無数に磁着している大きな磁極構造をチェインブロックでつり上げて、各々の単位の磁極対に吸引されている鉱石を採取して品位の分析を行って見たところ、どの磁極対の磁着鉱も品位はほとんど同じであり、多数配列された磁極対のもとを通過させても期待されるような精選は全く行われていないことがわかった。要するに磁極群は磁着物を単に運搬しているに過ぎなかったのである。このようなことから後に研究を進めてみたところ、磁選法では効果的に精選を行うには、いったん磁着した鉱石をパルプに戻して再び磁選機で分離するというように繰り返し処理を行うのが最も効果的であり、繰り返し処理する回数も、途中で粉碎などの鉱石の性質に手を加えるような操作が入らなければ、3回、多くとも4回の処理で充分で、到達しうる最高の品位の磁選精鉱がえられることがわかった。このように磁選機の分離特性がはっきりして来ると、ベルト型の代表的機種の一つであった Crockett 湿式磁選機は次第に第一線から姿を消し、繰り返し処理が容易な多段ドラム型が弱磁界磁選機の主流を占めるようになって行った。

このような現象に気が付いたことにも力づけられて磁選の設計に必要な基礎的關係をまとめあげていった。磁選機にはいろいろ興味ある特性がある。N極S極一対の並列磁極が保持できる磁着鉱の量の最大値は決まっている。だから磁選機への給鉱の質量速度を増大させて行くと、磁着鉱の量は次第に増加して、やがて一定量に達し

図3 ドラム型分離機の特性曲線

て頭打ちとなる。その状態に達するまでは磁性粒子の収率はほとんど一定であると考えてよい。これから実操業のときの実収率もほぼ推定できる。また磁気分離では給鉱中の磁性粒子が一個ずつ単独で磁極へと吸引されるのではなく、磁界が作用している空間内に給鉱パルプが流入すると、その中の磁性粒子が磁気的に凝集して、大きいフロックを形成しながら磁極へと吸引されて行くから、磁着鉱の品位もそのフロックが形成されるときに決まってしまう。このようなことから給鉱の品位とパルプ濃度が一定であれば、磁着鉱の品位は容易に推定できることになる。磁鉄鉱や砂鉄程度の磁性を持った鉱石の分離に用いられる磁選機の磁界の強さやその配はほとんど同じ値を示すから、磁気分離の設計に必要な基礎的關係は比較的容易にまとめることができた。

図3は一例として示したドラム型磁気分離機の分離特性で、横軸の f は給鉱中の磁性部分の含有%すなわち磁着品位で、縦軸の ϵ は給鉱の品位に比べて精鉱の品位がどれくらい上昇したかを表す富鉱比 (ratio of enrichment) である。全部現場の操業成績をプロットしたものである。 F は基準処理量で、この場合はドラムの単位有効幅当り、単位時間当りつまり $[t/h/cm]$ にとつてある。磁鉄鉱と砂鉄の両ほうの操業データをプロットしてあるが、それにもかかわらず、そして各種のドラム型磁選機を用いた、しかも異なる現場での操業成績であるにもかかわらず f と ϵ の関係は見事な一本の曲線であらわされている。 E は実収率であり、その磁選機の有効処理能力の範囲ではほとんど一義的に給鉱の品位 f によって決まるようである。給鉱中の磁性粒子が磁極に磁着しようとしても、その中の非磁性粒子が邪魔をして磁着を妨害する。このようなことから f の値が低いと E の値も低下する傾向にある。

図4 繰返し処理による磁着産物の品位の上昇

一方前述のように磁界内において磁性粒子が磁気凝集を起す際に生ずる抱き込みについてはつぎのような関係が求められた。

$$\frac{q}{Q} = 0.247 \left\{ \frac{\alpha}{\sqrt{\frac{3}{\pi} \frac{3}{6} \frac{\gamma \sigma_m}{1-x(1-\gamma)} \cdot \frac{1-p}{p} + 1 - 1}} - 0.260 \right\} \quad \dots\dots(4)$$

これは磁鉄鉱と石英とから成る給鉱を 1000 Oe の磁界で処理したときの結果であって、 Q は給鉱中に、 q は磁着鉱中にそれぞれ含有される非磁性部分の重量%であり、 q/Q は磁選によりどのくらい非磁性部分が排除されたかをあらわす値である。 σ_m は磁鉄鉱の比重、 γ は石英の比重を σ_q としたときに $\gamma = \sigma_q / \sigma_m$ 、 x は原料の磁着品位を $X\%$ としたときに $x = X/100$ 、 p は供給パルプ濃度を $P\%$ としたときに $p = P/100$ 、 α は原料の平均粒径を $\bar{d}$ 、その中の非磁性部分のみの粒径を d_q としたときに $\alpha = d_q / \bar{d}$ である。図4は前にも述べた繰返し磁選の効果を上式を用いて調べた結果であって、3回の処理ではほぼ最高の品位に到達してしまう様子がわかる。事実現場で用いられている多段ドラム型磁選機は3台のドラムを装備しているのが普通である。

つぎに前にも述べた非磁性粒子の磁着妨害作用であるが、この作用は給鉱の品位 x とパルプ濃度 P とに密接な関係がある。 x が大で P が小さいときと、その逆のときとでパルプ中の磁性粒子の絶対量 Px が等しくなる場合がある。図5はそのような意味の等 Px 線である。

図6はこのようなパルプを磁選したときの結果で、縦軸に磁選機の単位磁極面積当りの磁着物の重量 W/A をとって整理してある。同じ Px の値を持った給鉱でも磁着品位 X が低くなるほど非磁性粒子の磁着妨害作用が顕著となり磁極に吸引される量が減少している様子を知ることができる。多少荒っぽい面もないでもないが、この

図5 等 Px 線図

図6 非磁性粒子の磁着妨害作用

ような関係をまとめておくことによって、ある原料を特定の条件のもとで磁気分離した場合の産物の品位、実収率などを可成り具体的に計算によって求めることができるようになった。

くどくどと述べてしまったが、この時期に私は報文の数でいえば、今までのうちで一番多く書いている。なんだか自慢めいて気が引けるが、平均してみると年間に3.5報も書いたろうか。業績の評価はむづかしいもので、報文の数だけでもいけないし、質も問題となることは当然である。私がこうだから他人もそうあるべきだなどとは少しも思わないが、どうも若いうちはあまり寡作でないほうが、私は良いように思うし、私の研究室の人にはそのように勧めている。人によって考え方は違うだろうが。

以上に述べた磁選関係の研究の成果はいろいろなところに投稿したが、井伊谷鋼一先生が編集された“粉体工学ハンドブック、昭和40年、朝倉書店”の第15章磁気的性質 (pp. 177~193) と第19章磁気分離 (pp. 640~655) に一応まとめてある。この本は既に絶版となってしまう

たが、磁気分離関係でも20年も経過すると原理的にも技術的にもいろいろな発展がある。今度同じ編集で日刊工業新聞社から出版される予定の“粉体工学便覧”にはその後の磁気分離の変遷についても述べてある。またこの間出版された久保輝一郎先生他の編集になる“粉体、理論と応用、昭和54年、丸善”の pp. 601~606 にもこのような内容のことを簡単に述べた。

このようにして私は大げさにいえばだんだんとプリンシプルよりもプロセス設計の立場に立った研究に興味を持つようになって行ったが、これが後に山形大学に移って化学工学科の機械的操作の講座を担当するようになったときに大変役に立った。

4. 世の中との結び付き

昭和36年から私は通産省の中小鉱山合理化指導員を委嘱されるようになり、毎年指示された鉱山に出向いていろいろ困っている問題について相談に乗る仕事を引き受けることになった。

この仕事は現在まではほとんど毎年継続している。大手企業の系列の鉱山とは違って中小規模の鉱山では実に多様な問題をかかえているが、このような実際の問題と取り組んでみることも私にとってはよい勉強になった。大学にいと、とかく経済的な観念を伴わない議論に明け暮れることが多い、それはそれで構わないことではあるのだが、いわゆる“もうけ”なければならない実際の仕事はほんとうに厳しいものがあつた。

話は前後するが師匠の大山先生は毎年夏や冬の休暇の時期になると私を鉱山の選鉱の現場に出張させて、現場での測定や実験に可成りの長期間従事させた。そのうちの一つで今も思い出すのは千葉県飯岡にある砂鉄の現場に夏季休暇中40日くらい出掛けたことである。総武本線飯岡駅から銚子の方に街道沿いに行った所で九十九里浜の海岸に近い一帯に大きな砂鉄の鉱床があり、各社の鉱業所が集中していて、どこも大規模な採掘をしていた。海岸の防風林の松林を許可をえて伐採し、補償費を払って民家を移転させて採掘にかかるのだが、特に大規模に採掘している所では、地表から深さ 30 m くらいのすりばち状の穴を掘り下げ、大容量のポンプで水を土壁面に吹き付けて斜面をくずす、いわゆる水力採掘を行い、すりばちの底にたまつたスラリーをサンドポンプで地表まで押し上げて磁選機で砂鉄を選別し、廃砂は別のヤードに小山のようにたい積しておいて、鉱床を採掘し尽くしてから埋め戻し、ブルドーザーで整地した跡に植樹し、民家を再度移転して元の状態に戻すというものであり、もちろん全部野天の風雨にさらされての仕事である。こ

のような現場には選鉱の高級技術者もいないし、サンドポンプから吐き出されるスラリーの固体濃度も決して一定はしていない。もちろん、すりばちの底でホースを握って作業している係員に、サンドポンプの吸込み口付近をいつもジェットでかくはんさせてできるだけ一定濃度のスラリーが吸込まれるように工夫させてはいるのだが。こんなわけで分離操作に不可欠の定量給鉱ができないのであるが、そのような状況のもとでも充分な選別効果があがるように工夫された磁選機が開発されていた。三菱電気の DA ドラム型、そして今は会社を閉じてしまったが東和選鉱機の TY ドラム型などはどれもすぐれた性能を持った世界に誇りうる多段ドラム式（DA 型は 3 段ドラム、TY 型は 3 段ドラムに清掃用——scavenger——の 1 ドラムの計 4 ドラム）の分離機であつた。

このような現場には必ずといってよいほど老練実直な係員がいて、われわれの指導するとおりに実に几張面にデータをとり続けてくれた。飯岡の現場は威勢がいい、作業員の中には可成りの年輩で、入れ墨をした人も幾人かいて、中にはサンドポンプの回転羽根の回転方向を逆にしたほうがもっとうまく輸送できそうに思うのだがととっ拍子もない意見を持ち込んで来る人もいた。遠心力でスラリーを圧送するのだからこれでよいのですと説明すると、ともかくも納得してくれて、よく手伝ってくれた。九十九里浜の波打ちぎわにほど近い所に建っている浜富士という大きな日本旅館に逗留させてもらって毎日毎日真夏の砂山で陽に焼けて真黒になりながら仕事をした。40日も滞在するとぜい沢なようだが旅館の食事がとてもものを通らなくなって来て、味そ汁にたくわんというような家の食事が恋しくなる。だんだんに旅館の女中さんのほうから、今夜は何にしましょうかと食事の献立を相談に来るような仕儀になってしまった。この現場には東北大学を卒業した私の後輩達も何人かいて、いろいろ実験の相談に乗ってくれたので、とてもよい操業データをとることができた。やっと目標を達成して荷物をまとめて仙台に戻るころは半そでのシャツでは涼し過ぎるような初秋の気配が漂うころとなっていた。こんな長期の出張がしばしばあつた。個人的なことになるが二番目の子供が生まれたときは群馬県の大間々にある電気炉工場に出張中で父が電報で知らせてくれたのを思い出す。しかし苦心して自分で集めた操業成績だったので、後に充分の信頼性をもってまとめることができたように思う。だから図 3 の曲線なんかにはいい知れぬ愛着がある。この飯岡では後に通産省の試験研究費をいただいて熱間磁選機を試作し、キュリー温度の低いチタン鉱物を除いて、精鉱の Ti 品位を下げる熱磁選 (hot magnetic

separation あるいは thermo-magnetic separation) の試験も行った。振り返って見るともう日本でも二度とはとることができない操業成績だったので、実によいときにまとめて記録に残しておくことができたのだと感慨深いものがある。飯岡の砂鉄鉱山は今は閉山してしまっているが、機会をえて若い頃に希望に燃えて勉強したところをもう一度おとずれて見たいものと思っている。どんなにか変わっていることだろうに。

5. 米沢への転勤、そしてそこでお目にかかった先輩達

こんな研究に没頭しているうちに、米沢への転勤の話が次第に具体化して来て、前田四郎先生の教室で当時山形大学学長だった篠崎平馬先生にお目にかかったりした。これは要するに面接みたいなもので、ちょうど前に述べた粉体工学ハンドブックの原稿を書いているところだった。何度か打ち合せがあった後昭和39年7月1日付で東北大学助教授から山形大学教授に転出することになった。私は大正15年2月11日の生れで当時38歳であった。

ここで山形大学工学部化学工学科でお目にかかった先輩の方々に触れよう。私が担当することになった機械的操作の講座は篠崎平馬先生が学長になられるまで担当しておられた講座である。もっとも私が赴任する前に約3年間、本年4月横浜国立大学工学部化学工学科を退職された山本一夫先生が教授としておられたから、私はそのあとに伺ったわけである。篠崎先生は蔵前の東京高等工業学校の応用化学科を卒業されてから東北大学工学部の化学工学科に進まれた大先輩で、戦争中保土谷化学郡山工場長としてアンチノック剤の四エチル鉛の生産を手掛けられ、終戦後日本大学工学部教授を経て山形大学工学部教授となり、工学部長を経て山形大学学長となられた。元東京大学学長の茅誠司先生とは東京高等工業学校、東北大学で一緒に、茅先生は蔵前では電気科、東北大学では理学部の物理学科を卒業されているが、茅先生の妹さんが篠崎先生の弟さんのところにとついでおられるので両先生はご親せきである。私は茅先生の書かれた本で磁気の勉強をしていたが、篠崎先生のご令息の結婚式のときに先生にお目にかかる機会があった。篠崎先生は東北大学を停年退官された八田四郎次先生と一緒に山形大学の化学工学科を設立された。そんな関係で八田先生は私が山形大学に転勤した当時も千代田化工機から非常勤講師として講義に見えておられた。千代田化工機からは森八蔵、溝口憲吉の両先生も非常勤で見えていた。山形大学の化学工学科には東北大学理学部化学科の古い卒業生である高木外次先生もおられた。先生は保土谷化学で

結核の薬のパスの生産に成功された方で、私が米沢に勤務していたころこの業績によって紫綬褒章を授与された。このほか東京大学から森芳郎先生、東京工業大学から伊藤四郎先生、大阪大学から大竹伝雄先生が非常勤講師で見えておられた。応用化学科の非常勤講師として東京工業大学の河嶋千尋先生が見えていた。現在山形大学工学部共通講座教授の高坂彬夫氏は日大時代の篠崎先生のお弟子で、私が山形大学に赴任した当時数年間私の講座の助教授を勤めていただいたが高坂先生は河嶋先生のご指導で学位をまとめた。高坂先生が共通講座に移った後に助教授の神田良照君が東北大学大学院工学研究科博士課程（後期課程）を終えて戻って来て私の手助けをしてくれることになった。山形大学にはこのように大先輩がキラ星のようにおられた。

山形大学の化学工学科で私が受け持つことになった講義や実験は、単位操作第3（機械的操作）：4単位、化学機器材料：2単位、レオロジー：1単位、材料力学：2単位、このほかに単位操作実験第3：1単位、機械工作実習：1単位が守備範囲であり、粉体工学：1単位は助教授の高坂彬夫氏が受け持ってくれた。大学院修士課程では化学工学特論3：4単位が私の持分であり、そのほかに卒業論文、修士論文があり、また付属夜間の工業短期大学部で単位操作第3：2単位、鶴岡にある農学部でその年により化学工学：2単位を受け持つことがあった。また非常勤講師として東北大学工学部資源工学科で鉱物処理工学第2：1単位を講義した。もちろん実験、実習は講座の人々が受け持ってくれた。あまりにも多いと思われるかもしれない、事実山形大学でも多いほうだったが、しかし新制大学ではこれくらいはこなせないと勤まらない。材料力学は電気系の学生も含めて120人の講義だった。

転任が決まってから10月初めに後期の講義を始めるまで夏休みも含めて数ヶ月あったので、まず初めに機械的操作と材料力学の講義の準備をした。化学機器材料とレオロジーはつぎの学期からでよかった。機械的操作も材料力学も既成の教科書を用いないで、全部手書きで教科書を作り、青焼きコピーを準備して学生に渡した。この期間出張することが多かったが、大きなスーツケースに参考書、用紙、筆記具など道具一式を詰め込んで出先きの旅館で夜おそくまで教科書作りをし、速達で送って青焼きして準備してもらった。この原稿は今も大切に持っているし、当時の卒業生の中にはこのプリントをとじたものを大切にしていって見せてくれる人もいる。

このような次第で仙台の丸善にはよく足を運んで、化学工学、材料力学、レオロジー、粉体工学、材料関係な

どの教科書や参考書をたくさん求めて米沢に送ってもらった。

材料力学はそれまでもよく使っていたので講義の準備も気分が楽であったが、機械的操作は新しく始めるということもあって講義の準備には心血をそそいだ。まず化学工学の教科書や参考書から機械的操作の部分がどのような項目に分けて述べられているかを調べることから手を付けた。本によって非常に異なるというほどのことはないが、著者によって、いわば興味あるいはキャリアが異なることから重点を置いている部分が少しずつ異なっていることに気が付いた。私が東北大学で講義していた鉱物処理工学の中味と比べてみると成るほどそうか、そうだったのかと考えさせられる両者の相似点、相違点が浮び上って来た。この点は後に粉碎の研究を進めて行ったときにますますはっきりして来たし、また本年8月に秋田で開かれる化学工学関東支部大会の粉碎のシンポジウムでも述べようと思っていることなのだが、要

するに鉱山関係の鉱物処理工学も、化学工学関係の機械的操作もたとえ歴史の長短はあるにしても本質的には同じ性質のものであるが、鉱物処理工学では異なる性質を持った粒子群を選別する、いわゆる separation に可成りの重点をおいているのが特徴で、選鉱システムを設計するときには既往の操業成績に基づいて進めようとするのに対して、化学工学の機械的操作では、ほとんどが単一成分の粒子群を扱うことが多く、処理系統の設計に当たっても、いわば理論化され数式化された方式による。そのような相違がしからしめるのかもしれないが、研究の面でも鉱物処理工学では原理すなわち principle に重点を置いているのに対して、化学工学の機械的操作では本質的に設計、つまり process design に重点を置いているように思われる。話は脱線するが、こんな思考を巡らしながら私なりの特徴を生かした講義の教科書を作って行った。

外国交換雑誌題目紹介

ÉPÍTŐANYAG, 35(11) 401~440 (1983)

Pethő, Szilveszter-Csőke Barnabas:

Hazai közetek Bond-munkaindexének

meghatározása

(いくつかのハンガリー岩石のボンドの仕事指数)

Lám, György:

Állóágys szemcsés rétegszűrő vizsgálata

(粒体固定層による層状フィルタの実験)

ÉPÍTŐANYAG, 36, (5) 134~138 (1984)

Pethő Szilveszter: A rezgőszítával elhajított és visszaeső szemcsék mozgástörvényei

(振動ふるいによって投げ出され、はねかえる粒子の運動法則)