

## 私的プラスチック工業史一人と技術とプラスチックと一〈XIX〉

## PART2 米国の留学時代

金井俊孝\*

## 1. 渡米

結婚式を2月28日に済ませ、その2週間後の3月15日に渡米した。渡米前に英語の研修を海外でという予定であったが、出発前の慌たしさで、結局国内での2カ月ほどのプライベート・レッスンだけになってしまった。英語に自信がなく不安な気持ちで、アンカレッジ経由のニューヨーク行き飛行機に乗り込んだ。これまで海外に行ったことがなく、日本から遠く離れたアメリカの田舎町で生活をしていけるのだろうかという心細さばかりが膨らんでいった。

J.F.ケネディ空港で、出光ニューヨーク事務所石油化学部門の責任者である仲田氏が迎えてくれていたので、ホッと安心した。その日は、日本料理店「吉兆」で事務所の方々が歓迎会を開いてくれた。マンハッタンは、なんと忙しい町なんだろう、という印象を受ける。

2日間ほどロックフェラーセンタービルのなかにあるオフィスで事務手続きの研修を受けた後、アトランタ経由でノックスビルに行ったが、幸いにも仲田社員が同行してくれて、ありがたかった。ノックスビルに近づくが家が見えなかった。飛行機が降下しはじめるが、見えるのは森、湖と川だけ。

町らしいものを確認できないまま、ノックスビルのタイソン空港に着陸した。飛行場には、留学先のテネシー州立大学高分子工学科White研究室の学生である箕島さんが出迎えてくれた。彼が乗ってきたのは、5,000ccのアメリカの典型的な大型車であった。今まで、1,200ccのサニーに乗っていただけに、その大きさに驚く。ガソリンをふりまいて走っているように見えた。学生の話ではアメリカの大型の中古車は値段が安く手に入るとのことだった。

車で20分ほど走るとノックスビル市の中心にあるテネシー大学へ着いた。アメリカ南部の典型的な大学の町で、市の人口は18万人だが、その内、テネシー大学関係者は学生が約3万人、教職員を含めると4万人以上がいるとのことだった。

この町は1933年にアメリカ大統領フランクリン・ルーズベルトが、世界恐慌の対策として実施したニューディール政策の一環として、テネシー河流域の総合開発を目的として作られ、テネシー河流域開発公社（TVA）の本部がある街である。

ホテルに荷物を置いて、大学の研究室へ行きWhite教授に挨拶に行く。自己紹介をしたが、思うように言葉が出ない。研究室を案内してもらったが、意外と日本人が多いので驚く。当時、White研究室には私を含めて、8名の日本人学生と研究生がいた。

その後、仲田さんはニューヨークへ

戻り、私は取り残された感じで急に一人になり寂しさを覚えた。果して、一人で見知らぬ田舎町で、言葉もろくに話せないのに暮らしていけるのだろうかかと不安になった。

とりあえず、ホテルに戻る。その日の夕方は日本人留学生の箕島さんと近くのレストランへ行った。アメリカに来たのだからと、ステーキを食べたが、焼き方が硬かったのか、疲れていたのか、あまり美味しくなかった。

次の日、これからの留学生活で重要な研究テーマについてWhite教授と話し合う。英語が良く聞き取れず、なかなか思っていることが英語にならないもどかしさを感じる。White教授はアメリカの企業からのファンドがあるフッ素系高分子の研究をして欲しいような話をされており、どうも事前に出光の会社側と研究テーマの件での交渉が充分されていなかったようだった。

しかし、プラスチックの成形加工の理論解析を研究するつもりで留学したので、2年間の研究テーマが当初の予定と全く異なることになってしまったことに不安を感じた。

英語はすべて理解できている自信はなかったが、フィルム成形の理論研究という希望していたテーマとは程遠く、予想外の話であったので、驚いた。英語で良く表現ができないため、黒板に自分のやりたいことを書き並べた。White教授からは、今、君が書いた研究に近いことを研究している学生がいるので、すぐには決められないと言わ

\* Toshitaka Kanai  
KT POLYMER 代表  
Tel. / Fax. 0438-62-4411



図17 テネシー大学妻帯者用のアパートから大学キャンパスの風景



図18 2年以上通っていたテネシー大学高分子工学科の建物

れる。それでもテーマがあまりにもか  
け離れては研究できないと主張し  
た。

結局、一週間後のミーティングでテ  
ーマの調整が終わり、当初予定してい  
たテーマである“インフレーションフ  
ィルム成形の動的挙動解析”にしても  
らった。

アメリカでは、当時、高分子量  
HDPEを用いたレジ袋はまったく出回  
っていなかったが、大学の研究室では  
HDPEフィルムの成形研究を行ってい  
る博士課程の学生がいた。その成形を  
見ていると、バブルが膨らみ始めてか  
ら終わるフロストライン高さまで、強  
制的にバブルの形状に合わせたバブル  
安定体形状を入れてバブルを膨らます  
成形をしようとしていた。過去に苦労  
してもまったく成形できなかった方法  
で、同じような検討をしていたため、  
いくら検討してもうまくいかないこと  
を教え、教授にもそのことを伝え、結  
局その博士課程の学生は研究手法を変  
えた。

## 2. 見知らぬ田舎町で生活の不 安

研究のテーマが決まり、落ち着いた  
頃、ホテルから大学の妻帯者用のアパ  
ートに引っ越し。家具付きの2 Bed  
roomで、家賃は月180ドルだった。当  
時、1ドル240円の時代だった。私一

人では十分な広さで、大学まで歩いて  
行けるので便利であった。

次に、銀行口座を開設。しかし、小  
切手を使ったこともないのでChecking  
Accountのシステムがわからず、それ  
に加え、早口で沢山の口座の種類を説  
明されてパニック状態になったが、結  
局、Standard Checking Accountという  
最も簡単そうな口座を開設することに  
した。

次に、日用品などの買い物だった。  
しかし、アメリカは、車がないと話に  
ならない社会であった。同じ研究室の  
当時修士課程の学生だった山根さん  
(現在、京都芸繊維大学教授)の奥  
様をお願いをして、一緒に買い物へ出  
かける。アドバイスを受けながら、ト  
ランカー一杯になるほど、食料や生活用  
品を買う。

電話の開設やSocial Security Number  
(ID)(日本のマイナンバーカードに  
相当)の取得やもろもろの雑事を、同  
じ研究室の学生さんに助けしてもらっ  
た。

ここ南部に住んでいる人は、南部な  
まりが強く日本で習った標準的な英語  
には、ほど遠かった。日本で勉強して  
きた英語とは、別の言語のような気す  
らした。家具屋では、いくらゆっくり  
話してもらっても聞き取れず、買うそ  
ぶりをすると、普通の英語を丁寧にゆ  
っくり話してくれた。なんとゲンキン  
な…と思った。

それでもなんとか一週間もすると生  
活に必要なものが揃い、同じアパート  
に日本人の学生が3家族もいることが  
わかり安心した。銀行の口座にも、会  
社からwireでお金が届き、研究室の学  
生さんに助けってもらいながら、アメリ  
カ生活はスタートし始めた。

ただし、食事には困った。なにしろ、  
出光の寮生活では食事は毎日用意され  
ており、大学時代は自宅から通ってい  
たため、自炊の経験全くなかった。悲  
惨な日々の始まりだった。

## 3. ジャンクフードづけの日々

一人で食事をするとなると歩いてい  
ける所は、大学の学食のカフェテリア  
であったが、味がイマイチだった。サ  
ラダは鳥の餌のようだし、ハンバーグ  
もわらじみたいで焼きすぎているし、  
デザートは人工着色料がたっぷり入っ  
ていますよ、という毒々しい色のゼリ  
ー、甘すぎるケーキ。でも飲み物はお  
代わり自由で嬉しいが、日本食のよう  
な繊細さはなかった。朝食は、ともか  
く一日三食、同じような所で食べなく  
てはならないのでうんざりだった。白  
いご飯が食べたかったので、早く家内  
が来ないかなと思った。

スーパーマーケットも歩いて行ける  
距離になかったため、2週間もすると、  
閉口してしまった。近くのマクドナル  
ドやケンタッキーにも行ったが、毎日

ではほんとに飽きる。そんな時、White教授ご夫妻がレストランでの夕食に招待してくれた。大きなロブスターが出てきて感激した。日本で食べたら高いよなあ、と思いつつ味わう。溶かしたバターが添えられてあって、それにディップしながら食べるのだが、これでお醤油があったら最高ののだが、と思った。毎日変わり映えのしないメニューだっただけに、久しぶりに食事らしい食事をしたような気がした。奥様が日本人であったということもリラックスできて良かったし、一人よりは大勢で食事した方が美味しいのである。

#### 4. 会議で大恥

毎週一回、研究に関して30分間のミーティングが行われることになった。White教授、Spruiell教授の2人に私一人のミーティングが毎週行われた。ディスカッションする内容がないと厳しい顔に変わる先生達だった。英語力の不足もあるが、研究に対する基本的な考え方の曖昧さ、知識量の不足などから、教授らのアドバイスを理解できないことに気がついた。文献と本を沢山紹介されるが、どこから手をつけて良いのか、茫然となる。

まず英語の聞き取りからと思いテレビを買うが、何を言っているのかわからず、子守り歌のようになり、すぐ眠くなる。それに加え、同じ研究室の部屋に、同じResearch Associateの立場で50歳くらいのブレンドの研究で有名なポーランド人の研究者Plochocki氏から発音に厳しいチェックが入る。rとl、thとsの発音が難しく、取り違えることもしばしばだった。彼からは「君はいつもI sink that ~ (私は沈む...)だね。thの発音をしなければいけない。liceとriceとは全然違うよ」と、いつもからかわれた。

そのポーランド人から私の研究に近い面白いMeetingがあるからWhite教

授に頼んで行かせてもらったかどうかとの誘いがあり、会議のテーマも興味深いものであったため、出席することにした。どういった趣旨でどのような方々が集まる会議かも良くわからないまま出席したが、これが間違いのもとだった。

ウェストヴァージニア州パーカーズバーグという小さな町のホリデーインで、参加者は9カ国、29名で、皆40歳後半から60歳の大学の教授や企業のトップクラスの研究者達の集ったIUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) のクローズドミーティングだった。企業と大学が共同で研究しているテーマの進捗状況の報告と、これからの原料組成、レオロジーとインフレーション成形などの成形加工性や製品物性などを関連づけた研究テーマの方向性を決める内容の話もあった。私のような20歳代の研究者は、他にいなかった。初日にあったウェルカムパーティーでは皆顔見知りの様子、なぜ私はここにいるのか…。英語は駄目、専門的知識も不足…。3時間のパーティーだったが、なんと長く感じられたことか。

2日目、3日目は、円卓テーブルでの本格的な会議。各自の報告が終わると出席者に全員に意見が求められ、活発な討論となる。私の番になると、しばし「……」のあと、簡単なコメント。会議とディナーパーティーが終わると疲れて、部屋のベッドにバタンキューの状態だった。

これは、なんとしても英語力をつけなければならないと思い、ミーティングから戻ると、テネシー大学のヒアリング&スピーチセンターの大学院生を紹介してもらい、週2回の英会話の個人レッスンを受けることにした。1時間5ドルで、言語学を専攻している学生が教えてくれた。アメリカ人が良く使うイディオムの練習から教えてもらったが、自分の発音をテープにとって聞いてみると、なんとひどいことか…。

これでほんとに上手くなるのだろうか？不安が入道雲のように広がっていった。

研究も実験も開始できるようになり、高分子工学科の教授に許可をもらって、一部の学部及び大学院の授業にも出席することにした。化学工学の授業には、女性の学生が全体の40%もいて驚いた。私が卒業した東京工業大学では、当時は同じ工学部応用化学系には、160人中一人しか女性はいなかった。

5月中旬になるとパーティーシーズンとなり、大学の先生方の自宅でのパーティーに招かれる機会が多くなった。郊外にあるWhite教授の家にも招かれたが、バックヤードが200坪くらいあり驚く。

そこで、バーベキュー・パーティーが開かれたが、こちらでのパーティーは自分の好きな時間に出かけ、帰るのも自由、親しい人とフリーに話して、それぞれ楽しむ。もちろん自己紹介のようなものはなく、日ごろ、話をしない人とも、この時にコミュニケーションをとり親しくなる。服装もラフで居心地が良くて嬉しい。

#### 5. 車を購入、しかし新車なのに…

6月初めに家内が渡米することが決まり、一人の場合は適当な食生活で良かったが、二人となれば、そうもいかない。あちこち買い物するのに、車は必要ということで購入の準備を始める。

日本人の友達に車のディーラーを何軒か連れていってもらう。価格が安いのは、5,000ccくらいのアメりカの中古車。でも大きすぎるので、日本車でもう少し小さいのと思ったが、日本車は故障が少なく、性能が良いので値段が高く、特にホンダ車は人気があり半年待たないと手に入らないとのことだった。

結局、GMのオメガという2,500ccの新車を購入した。車内が広い割にはエンジンが小さく、負担がかかっているように感じたが、新車なら故障もないだろうと思い予約した。8,000ドルだったが、会社が一括支払いで、その金額を月賦で払うシステムになっていた。新車なのに、塗装のはげている部分を発見!!

文句を言うと、「車の運転に何の支障があるのか」と逆切れされてしまった。それでも粘り、上から同じ色を塗ってもらったが、日本では考えられないことだ。そう言われてみれば、ドアの色やボンネットの色が違っていて、まるでパッチワークのような車を町のあちこちで見かけた。

バンパにいたっては、縦列駐車の時、前や後ろの車の位置をバンパに当てて確認するため、へこむのを気にする人はいない。気にしているのは日本人くらいだった。合理的といえば、そうなのだが…。なにはともあれ、車も購入した。

## 6. 白いご飯に感激

私がアメリカに来て3カ月たった時点で、アメリカでの生活に慣れてきたことを確認後、会社からの許可が下り、家内がアメリカに来た。ノックスビルの空港は、周りになにもなく、空港ターミナルビルがあるだけだった。空港に迎えに行ったが、家内もどのようなところなのか心配そうだった。14階建てのアパートに到着し、13階の部



図19 テネシー大学のキャンパス内で家内と

屋へ。部屋は家具付きの2 Bed Roomと台所とリビング、その他に小さなStorage roomとバス・トイレはもちろん付いていた。家具は付いていたが、床はPタイルで寒々しく、ソファもゴワゴワした塩ビレザーだった。

家内が来るので私としては万全な体制で準備していたつもりだったが、調理用のレンジは、ガスではなく電熱のコイルが3つあり、その下に大きなオープンと大きな冷蔵庫が備え付けられていた。

私が和食に飢えているように思ったらしく、到着してすぐに、家内が航空便で送った炊飯器が届いていたので、一緒に送られた米を使って炊いてみる。おかずは、買っておいた缶詰のミートボールをあけ、スープも缶詰。しかし、久しぶりの白いご飯に感激し、美味しく食べた。家内が結婚して初めて作ったご飯だった。もう少しなんとかしたかったようだったが、材料がなかったので仕方なし…と言っても、あんまりレポートリーはないので、ボロが出なくて良かったとも思ったようだった。翌日、車で不足していた食料品や小物などたくさんの買物をした。

家内は結婚前まで家から離れて住んだ経験はなく、ノックスビルに来てしばらくは、話す相手もなく、寂しい思いをしていた。しかし、2週間もしないうちに、同じ研究室の学生の奥様方とも友達になり、またアパートの近くにあるテネシー大学のインターナシヨ

ナルハウス（通称I-House）に毎日通うようになり、多くの友人ができ、ほとんど話せなかった英会話は私よりも上達していった。

## 7. 突然の一時帰国

渡米して4カ月ほど経った頃、留学先のWhite教授が日本に出張し、その折に会社にも訪問することになり、急遽会社から要請があり、日本に一時帰国することになった。帰る間際になり、なにやら留学の中間報告をすることになっているらしいという連絡が入り、そのための資料も一部作成することになる。

慌ただしく帰国の準備をした。約1週間の予定で私だけ帰ることを実家に連絡。私だけ帰国するので、結婚前は実家から離れて生活したことのない家内は帰れず寂しそうであった。往復するだけでも、当時の金額で一人60万円近くかかるので、仕方ないと我慢してもらった。すぐに、市の中心部にある旅行業者のAAAの事務所で航空券を購入する。

ノックスビルからアトランタ→ニューヨーク→アンカレッジ経由で成田へ。研究所の主任が成田まで迎えに出てくれていた。とりあえず、千葉の研究所に向かう。研究所では研究所長と室長に会って留学の報告をした後、翌々日の本社の役員会で留学の中間報告会をやることになっていることを聞



図20 一次帰国の講演会での質疑応答中のWhite教授と私

く、社長をはじめ、役員が揃った所で発表することなど考えてもいなかっただけに、びっくり。時差ほけもなやから飛んでいってしまった。

それからがたいへんであった。その日に、所長、室長の協力も得て、留学の資料の作成にかかり、留学先の研究テーマ、目的、研究計画及び進捗状況を10枚くらいにまとめる。翌日、東京本社に行ってあいさつ周り。その後、研究所で作成した資料をもとに、本社の合成樹脂部門の課長、主任とで役員にもわかりやすい資料にまとめ直す。専門用語を使わず、かついかに高度で重要な研究をやっているかをアピールする資料に再整理した。社長以下、役員全員への報告となると課長もかなり神経を使っていて、結局、資料を作り終わったのが、夜の11時過ぎ。横浜の実家に帰ると連絡していたのに、横浜の実家に着いたのは次の日になっていた。

朝、9時からの役員会での発表であった。多少、家に帰った深夜に練習したこともあり、大きな問題もなく、無事発表は終了した。終わってしばらくすると、時差ほけと睡眠不足、緊張が取れ、急に眠くなってきた。そのまま千葉の研究所に戻り、午後から研究所の所員にもっと専門的な内容の報告をする。その後、実家に帰った。

翌日、White教授が研究所に来所する予定日だった。初めての来所のため、品川のプリンスホテルに迎えに行く。昼食の後、2時間の講演会をやっただき、その後技術ディスカッションを開始した。通訳は海外経験者がいたが、私がやることになった。他の研究員の質問事項について、討論の通訳を任されたがその難しさを感じる。あまり通訳の役目を果たしていない私に、数年の海外経験のある先輩にも手助けしてもらって、その場は終わった。

White教授の講演会は役員会より疲れた2時間に渡る講演と討論の通訳だった。海外事務所での長い駐在経験の

ある上司から英語をもっと努力して訓練しないとダメだと忠告される。アメリカに行って4カ月以上経っているのに、まだ十分な通訳ができないことに、自分でも情けなかった。

翌日は研究所の主任や研究員との研究の打合せと研究設備として使用した非接触の赤外線温度計と使用原料を航空便で、早急に日本から送ってもらうことをお願いする。これは帰国したことでの大きな成果となり、その後の研究に大いに役立つことになる。研究所の方々の親切な対応に感謝し、やはり研究所の仲間はありがたいのだと実感した。午後、やっと開放され、夕方横浜の実家に帰ってゆっくりした。

次の日、慌ただしい日程を終え、今回、いっしょに帰国できなかった家内の両親にも挨拶し、成田空港から帰国した。一人で残してきた家内がなんとなく心配だった。どうもアメリカが自分の安住の地になっている気がした。

日本への一時帰国に同行できず、一人ぼつんとアパートに残された家内を心配して、いろいろな方々が誘ってくれていた。同じアパートに住んでいるご夫婦には夕食に招いてもらったり、White研究室の日本人の学生さんたちにピクニックに連れていってもらったり、日本から短期にテネシー大学に滞在していた東京工業大学の清水教授ご夫妻にも面倒をみていただき、家内は思ったより楽しい日々を過ごしていた。一週間だけだったので、お誘いを

受け忙しくしているうちに、あっという間に過ぎてしまい、当の本人は私の日本での苦労話を、ふんふんと呑気に聞いていた。

## 8. バックヤードでピクニック

私の一時帰国も無事に乗り切り、ノックスビルにも秋が訪れ、紅葉の美しいシーズンになった。この季節、所属していた高分子工学科の教授のお宅に学生が招かれるピクニックパーティーなるものが何度か催された。

閑静な住宅地にあるお住まいの裏庭(バックヤード)での、堅苦しさの全くない気楽なパーティーで、バトミントンをしたり、いくつかのグループに別れてお喋りしたり、みんな思い思いに楽しんでた。ハンモックもつるしてあって、それに寝そべっている人もいた。

全部で60人くらいのゲストを招いてのパーティーなので奥様のご苦労は大変だったと思う。教授の奥様が日本人だった関係で、研究室の日本人学生の奥様が手伝いに何うことになり、猫の手くらいなので家内も手伝いをしていた。キャセロール、サラダやゼリーなどなど何種類ものお料理を準備されていて勉強になったようだった。

こういったパーティーに限らず、アメリカでは、それぞれが互いに紹介しあい、自己紹介というものは一切なし。飲み物にしても自分の好きな物を好き



図21 White教授の自宅での懇親会(写真中央が筆者)

なだけ飲んで「お酌」などいうものもない。日本のように一気飲みを強要されることなど皆無である。お酒にしても、飲めない人に、飲め飲め言うことはなく良い習慣だと思う。

何かの集まりがあっても、自己紹介だけで時間を取られ自由に話せる時間はわずか、というのではお互いに深く知り合えない。この人とは気が合いそうだなと思ったら、個々に自己紹介などしてアピールすれば良いと思った。その後も何度かWhite教授の自宅に招かれた。

## 9. 涙、涙の実験助手

大学に来てから半年ほどが過ぎ、研究室の状況にも馴染んできた。研究に必要な文献調査も終え、必要な設備も揃い本格的な実験を始めることになった。内容は、レジ袋やゴミ袋、各種包装用のフィルムなどを製造するインフレーション成形のプロセス解析だった。前半の1年間は実験による動的解析を行い、後半の1年間は理論解析を行うことになっていた。

薄くて高強度なフィルム、縦と横の強度バランスのあるフィルム、高生産性、小さな試験機から大きな実用機へのスケールアップの予測、成形中の破断等の不良現象のメカニズムなどが解明できる解析技術を作る研究だった。

理論式を作る前に、充分実験で製造過程の様子を把握しておく必要があった。フィルムの成形中の過程で、溶融樹脂が成形過程のエアリングからの冷却風によって冷やされる状況をダイス出口からフロストライン高さまで、1cm間隔で風の速度分布を風速計で細かく測定し、同時にバブルの薄膜の表面温度を赤外温度計で細かく読む必要があった。これには一人が測定器を測定位置に正確に当て、もう一人がそれを読んで、記録するという実験が必要だった。

そこで、家内の出番となった。二人

でないと、とてもできない実験で、二人で大学の実験室に通い、何日もかけての実験が続いた。この実験結果をやったお陰で、世界中の多くの研究者が後に活用することになった。家内は私に頼まれ、わけもわからず付いて行ったら、大変なことになったと思ったようだ。素早く、温度計や風速計を読まないで怒られる。こんなことはやることがないし、目盛りは安定しないし、とても神経を使う仕事だった。こんなことなら手伝うなんて言わなければ良かったのにと後悔したことを、後から聞いた。

## 10. 忘れてはいけない研究のこと

テネシー大学に留学してから、一年が経ち、研究もかなり進んで実験結果もまとめられるようになった。インフレーション成形で、この成形過程を動的に解析する実験を行ってきた。プラスチック材料の種類や成形する条件を変化させながら現象の把握を行ってきた。英語の言葉の問題もあったが、これもどうにか克服し、また設備は大学のものを使い、不足しているものは会社から送ってもらって揃えていった。照明用のライトや超高速8mmカメラは大学から費用を出してもらい、自分で町の電気屋で購入した。

フィルムの変形過程を超高速8mmカメラ、成形中の冷却過程を赤外線温度計で、また冷却の風を風速計で、成形中に加えられた引張力は張力計、バブル内圧はマノメータを用い、使用可能な計測器をすべて使用して、いろいろな角度から成形過程の現象を計測し、インフレーション成形の動的な挙動を詳細に解析した。研究を始めてから一年が経過したのを期に、60頁ほどの英語の実験レポートを作成した。先生方からも少しずつ研究成果について期待をしてもらえ始めた時期でもあった。

大学のオフィスは、8畳ほどの広さに私一人、時おり海外からの客員教授がいっしょになることもあったが、静かな落ちついた環境で研究成果をまとめたり、文献を読んだりしていた。

ただし、物事をじっくり考えるには、私は歩きながら考えた方が新しい発想ができる時もあり、広い大学のキャンパスを歩きまわりながら考えることが多かった。

## 11. Bobさん家族との出会い

アメリカの生活にも慣れてきたので、アメリカ人とお付き合いをしてみたいね、いろいろ教えてもらえると助かるし勉強にもなるし、ということで、日本人のテネシー大学の先生でアメリカ人と結婚されている方に、ホスト・ファミリーを紹介していただいた。Robert Mallowさんといい、奥様と二人の女の子がいた。奥様の名前は、キャシーさんで、二人とも、かなり太っていた。東京の久留米に何年か住んでいたことがあり、Bobさんは日本語を少し話せたので、びっくりした。

Bobさん一家には、たいへんお世話になった。週末には、いっしょに晩ご飯を食べたり、ピクニックに連れて行ってもらったり、親戚にも紹介され、クリスマスにも招いていただきクリスマス・ツリーの飾り付けなどいっしょにして楽しい思い出をした。Bobさんのお祖母さんが入っている老人ホームなどにも連れて行ってもらい、アメリカの高齢者の姿も垣間見ることができた。

それまでは、ただアメリカに居るといっただけで、アメリカ人の生活を身近に感じることはなかったが、家族ぐるみのお付き合いをさせてもらうことによって、アメリカの中流生活を知ることができたと思う。英語が良く話せない私たちの面倒を良く見てくれ、感謝の気持ちで一杯だった。やはり日本にいたことがあるので、日本人に親しみ



図22 アメリカ留学中に家族付き合いをしていたボブさん家族

を持ってくれたのかもしれない。

1998年に15年ぶりにノックスビルを訪れた時にも、遊びに行った。当時、幼稚園と小学生低学年の女の子達にすでに子供さんがいたのには、私たちがいつのまにか年をとっていることを実感した次第である。ほかに、英語の家庭教師の方たちから英会話を学び、また日常の世間話をしていた。背が高いスティーブさんや女子学生で楽しい方のホリーさんから楽しく英会話を学んだ。

## 12. 研究のまとめ

研究も2年目に入り忙しくなってきた。留学中の研究テーマであるインフレーション成形の動力学的研究をまとめる時期になった。レジ袋は日本での開発が最初であり、技術的なノウハウも先行していた。特許での優先権も持っていた技術であり、出光としても当時はかなり事業の収益性の良い分野であった。その成形中の挙動を数々の測定機器を組合せ変形する過程を解析することを繰り返した。その成形する工程でバブルへの力のかかり方、応力変化、温度の変化と変形挙動などが、種々な実験を通じて明らかになり、フィルムの生産性、品質で重要な物性との関係を把握することができてきた。この実験及びその解析の労力が、今思い出してもかなりすごい実験量だったと思う。担当教授であるWhite教授も、当

初は私の英語の問題や基礎知識の欠如などで、かなりイライラされていたようであったが、成果がでてきはじめ、かなり突っ込んだディスカッションをするようになった。一週間に一度の先生との個別討論はかなりつらいものがあった。一週間に一日は郊外の湖に出かけたが、それ以外は実験と解析を行う日々が続いた。

2年目はその現象を理論的解析により予測し、物性、品質、連続生産性を決めている主因子を定量的に把握し、各種樹脂や成形条件にも適用可能な技術に作り上げることであった。

そのためには理論解析するための理論式、コンピューターソフトを作る言語の知識、プログラム化の知識とコンピューターを動かす知識が不可欠であった。コンピューターソフトは大学時代にやった少しばかりの知識しか持ち合わせていなかった。

留学の大きな目的は、未解決な現象を理論的に解釈できないかということ、解析によって成形性やフィルムの品質改良ができないかということだったので、なんとかやり遂げたいと思った。数値解析概論の英語の専門書や大学の関係する授業の受講、またコンピューター会社に勤務していた兄に頼んで日本からプログラム言語の本を数冊送ってもらった。

その頃、ちょうど入力形式がキーボードしたカード式からCRT画面上から入力できる方式に変更されてきた時

期であった。テネシー大学のメインコンピュータもDEC10のCRT入力方式に関する授業に参加し、理解を深めた。テネシー大学には、たくさんの端末が配置されたコンピュータセンターがあり、自由にプログラムを作成、変更できる環境にあった。ただし、実際に動かすには分からないことが多く、同室の研究者もポーランド人から台湾人の湯(タン)さんに代わり、当時ドクターコースのこの学生にコンピューターの操作方法をいろいろ教えてもらった。

夜も遅くまで開いていたので、家内といっしょに、プログラムを組みに行くこともあった。しかし、実用的なプログラムが完成するまでには、プログラミングや微分・積分を用いた連立微分理論式の構築、ベクトルやテンソル表示など、試行錯誤の日々が続く。自分のオフィスだけでなく、大学構内を歩きながら解決策を考えることも多くなり、まだまだ多くの苦労が伴った。

後半の1年間は実験から理論解析に主流が移ったこともあり、体を使ってデータを出す時期から、一日16時間以上、理論式、実験結果の理論的解釈、新しい理論式の構築、結晶化式の導入、ソフトの構築との戦いで、頭を使って考える研究に移っていった。

なかなか良いアイデアが思い浮かばず、大学のオフィスから出て、広大な大学キャンパスの中やそばにあるテネシー川沿いに歩いたりした。その頃、ノックスビルではWorld Fairといって、国際エネルギー博覧会がキャンパスの道を隔てた隣で開催されていたので、年間パスポートを購入して、展示館にも行った。大学は日本の大学の広さとはおおよそ比較にならない広さがあり、学生は3万人が在籍し、医学、農学なども含め、ほぼ全学科があり、オフィスのそばのフットボール競技場は10万人弱が収容できる大きなものだった。

理論解析開始からの初めの2カ月は



図23 SPEのANTECに参加した後に訪れたヨセミテ国立公園



図24 ディズニーワールドのエプコットセンター前



図25 フロリダのデイトナビーチで新車のGMオメガと筆者

いろいろな内容を習得する時期，その次の3～4カ月はプログラムなどの作成で少しずつ見える形で進んでいったが，その後，なかなか研究進捗は上がらず，この研究の難しさを実感した。

この分野の理論解析は世界的にも，まだ十分に実際の系に適用可能な応用技術にはなっておらず，かなりの困難な理論解析技術でもあった。バブルの形はどうして決まる，破断はどのような因子，MDとTDの強度バランスはどのような因子で決まるのか，バブル安定性はどうか決まるのか，バブル安定体が異なるとなぜ物性が変わり，薄膜の破断頻度が変わるのか，などなど理論解析で説明できる技術を構築していた。

ただし，当時は大型コンピュータといってもまだまだ計算速度も遅く，今では家庭用PCでもすぐに解いてしまう計算を，当時は大型コンピュータでも2時間くらいかかっており，計算条件を入力し，しばらくたってから結果をチェックしていく方法をとっていた。

最も簡単なプログラム，つまり今までの文献で出ている研究範囲のプログラム化はその年の11月頃にできてはいたが，新規な研究分野である実践で使える技術に仕上げ，更にプラスチックの性質である溶融のレオロジー的な性質や結晶化を組みこむことに，悩み始めた。日本帰国まで，あと3カ月に迫った頃の12月は最も苦勞していた時期でもあった。

図書館にも足しげく通った。結晶化の考慮は実験から一定の法則を見つけ，その結果と理論式の関連をつけ，理論の構成方程式に入れ込んだ。すぐに，うまくはいかないものではあったが，1カ月間コンピュータのある計算機センターとオフィスとを行き来し，試行錯誤をした結果，なんとか結果が計算でき始めた。

ただし，今までの理論解析では，あらかじめ成形時の張力やバブル内圧を入れて計算する必要があり，成形する立場の人間にとって，樹脂の性状，押出量，フロストライン高さ，折径，フィルム厚み，樹脂温度やダイスリップ開度などの成形条件を入力するだけで，インフレーションの成形挙動を予測できないと本当に活用できる解析技術ではなく，使用する側にとって，意味がないと思ってきた。

そのため，境界条件，つまりバブルが一定の径になる位置をフロストライン高さとする，その位置において，バブルの最終径が決まり，バブルの軸方向に対する角度も0度で，引取速度に達し，結晶化温度に達しているため，これら条件を境界条件として，バブル張力，バブル内圧，冷却の熱伝達係数，ダイスからバブルが離れる時のバブル初期角度を入力する必要がないシミュレーション技術を構築できないかを悩んでいた。

そんな折，キャンパスにある書店で数値解析の本を見ていた時に，ニュートンラプソン法の数値解析法が目

まった。練習問題の中に，応用例があり，この考え方が応用できるのではないかと思った。

つまり，バブルの引張り張力の式，バブル内圧の式，エネルギー方程式やバブル形状の式である4つの微分方程式と，フロストライン高さにおけるバブルの最終径，バブルの軸方向に対する角度も0度で，引取速度，結晶化温度の4つの境界条件を用いることにより，10回程度，微分方程式を数値解析で繰り返し計算し，4つの境界条件を満足するまでニュートンラプソン法で最適化することで，バブル張力，バブル内圧，冷却の熱伝達係数，ダイスからバブルが離れる時の初期角度を求め，そこからインフレーション成形の動的挙動を理論的に予測することが可能になった<sup>3), 6), 14)</sup>。

この解析によりインフレーション成形の挙動解析結果が出た時は本当にやってきた苦勞が報われたと思った。これができ始めると，今までの苦勞から逆に計算し改良することが非常に楽しくなっていた。

次に樹脂の性状や成形条件を変えたらどうなるだろうか。今までの実験でやって得られた現象の疑問が解けていくことの面白さを感じ，いろいろなアイデアが次々としてきた。帰国を翌月に控えた2月は寒い日が続く，大学と家の歩くのに-20℃くらいに下がる日が何日かあったが，ダウンジャケットを着て，毎日重いコンピュータの計算結果ファイルを抱えて通った。か

なりの計算結果が出はじめ、残り少ない3月にかけて、まとめに入った。ここでのインフレーション成形の解析結果を研究報告書としてまとめた<sup>2), 3)</sup>。

多くの条件変化(樹脂性状、成形条件)によりインフレーション成形の動的挙動がどう変化するかを検討した解析結果から次のようなことがわかった。

- ①分子量分布が広がる(非ニュートン性が顕著になる)とバブルのネック径が狭くなり、バブル安定体の形状を先細りにする必要がある。各社のHDPEの分子量分布が異なるため、バブル安定体の形状を少し変える必要がある。同じグレードでもロットによる非ニュートン性の変化でも同様である
- ②分子量が大きくなる(溶融粘度が大きくなる)とバブルテンションとバブル内圧が上がる、つまり、MDとTDの応力がともに高くなり、バブル張力も上がる。配向が効きやすい
- ③長鎖分岐がある(活性化エネルギーが大きくなる)とバブルのネック径は広がる、また溶融張力が大きくなる  
バブルのネック径 LDPE > LLDPE > HDPE  
HDPE以外はネック径が大きくなり過ぎてバブル安定体は使用できない(溶融弾性の効果の違いもある)
- ④結晶化速度の速い樹脂はネック径

が小さい。PEの密度が小さいとネック径が広がる。LLDPEやHDPEでも、密度が大きいかほどネック径が小さくなる

- ⑤ブロー比を上げるとMDとTD延伸応力がともに大きくなるが、TDの延伸応力がより大きくなる
- ⑥ドローダウン比を上げるとMDとTD延伸応力がともに大きくなるが、MDの延伸応力がより大きくなる
- ⑦フロストライン高さを高くすると熱伝達係数は下がり(冷却風量が下がる)、かつMDとTD延伸応力がともに小さくなるが、MDの延伸応力がより小さくなる
- ⑧無次元数解析すると実機の大型機と試験機の挙動が大きく変化し、フィルム物性も大きく変化する場合が多いが、フィルム物性を一定に維持するにはMDとTDの最大延伸応力を系の大きさに寄らずに一定にするとフィルム物性は変化しない。この理論計算からインフレーション成形のスケールアップ則を確立した(試験機でのフィルム物性を実機でも再現できるように、試験機での延伸応力を実機でも一致するように大型機的设计に応用)など、留学前に疑問に思ってきた多くの課題が明らかになった。

この頃、White教授からあと1年伸ばしたら、PhD(博士)が取得できるので、延長できないかと言われたため、

会社に手紙を書いたが、予定通り帰ってくるようにとのことだった。

Society of Plastics Engineers (SPE)の学会の最盛期の時代で、そのSPE主催の年次大会ANTECがシカゴで開催され、留学中の研究成果の発表として400名近くいる大会場で発表し、発表後、参加者から多くのお褒めの言葉をいただいたことを今でも良く覚えている。

最初の1年間はインフレーション成形機を使った動的解析を行い、あとの1年間はインフレーション成形の理論解析に関する研究を行った。これらの一連の研究成果は、後に1984年～1986年にかけて9報の文献<sup>2)～8), 13), 14)</sup>として発表した。これらのインフレーション成形の実験や理論解析の文献は今でも多くの研究者に引用されている。

この留学は私にとって大きな影響を与えることになった。最も大きなことは研究の仕方であり、当時40歳代であったWhite教授は1週間に1度、研究室に所属していた20名ほどの学生と1対1のミーティングを持っていて、非常にアクティブに活動していた。研究成果に対して、常に適切なアドバイスをしてくれたこと、一から十までを教えず、ヒント的なコメントと参考になりそうな文献を紹介してくれた。すべての文献が頭に入っており、何年の何ページで、誰の文献かを暗記していた、それをミーティング中に教えてくれ、それを参考にして研究を進めるこ



図26 McMaster大学にてVlachoplas教授との写真



図27 McGill大学にてKamal教授との写真



図28 押出理論で有名なKlein博士との写真



図29 清水教授夫妻をノックスビルの空港に見送りに集まったWhite研究室の日本人学生とその家族



図30 清水教授のご家族との夕食

とができた。

当然、嫌いだった英会話も勉強することを強いられたため、徐々に英会話の実力は向上した。更に、当時White研究室には世界から有名な研究者が訪問しており、そのたびに講演会が開催され、紹介していただいた。日本人の著名な研究者も訪問していたため、多くの研究者との人脈を作ることができた。例えば、プラスチック成形加工学会の会長経験者としては、工学院大学の柳康教授、日本製鋼所取締役の酒井忠基氏、山形大学学長の小山清人氏（当時は助手）、White教授がテネシー大学からアクロン大学に移ってからは東京工業大学の鞠谷雄士教授（当時は助手）らがいる。White教授は日本だけでなく、世界中のプラスチック材料及び成形加工分野の研究者の教育・育成者にも多大な貢献をし、世界規模の国際会議である Polymer Processing

Societyの創立者でもあり、私の人脈形成にも大きな影響を与えた。

また、アメリカから日本を客観的に見ることができ、海外の人が日本をどう見ているのかを直接意見を聞くことができ、日本の置かれている位置づけを知ることができた。

親しく家族付き合いできる家族もできた。

留学期間中、学会やクローズドミーティングの参加で各地への訪問、学期末の休みに合わせて、アメリカの国立公園であるロッキーマウンテン、グランドティトン、イエローストーン、グランドキャニオン、ザイオン国立公園やフロリダ半島とその南のキーウェスト、またテネシーから車で行ける有名な場所にも行く機会ができ、アメリカの文化や自然の偉大さを体感することができた。

留学中、日本に帰国する前に、アメ

リカでの国際会議への参加や発表、プラスチックの展示会であるNPEやPACK EXPOなどへの参加も勉強になったし、米国の化学企業や研究機関を訪問し、また有名な大学教授とのコミュニケーションも取れることができたが、これはWhite教授が同行し、まだ20代の私を著名な研究者に紹介してくれたことも人脈形成にはメリットになった。これらの経験から研究成果を発表するには日本語ではなく、英語で発表することの重要性も痛感した。

テネシー大学White研究室に1カ月ほど来ていた東京工業大学の清水教授（繊維学会会長）のご夫婦とも、家内ともども親しくさせていただいた。

テネシー大学での当初の研究テーマを無事終了し、1983年（昭和58年）5月に日本に帰国した。2年2カ月に渡る留学だった。