

努力はいつか実を結ぶ

マイケル・シュワルツ

私達の仕事を認めていただいたことに心からお礼を申し上げます。認めてもらうということが、私はなによりも重要だと考えております。

まず初めに、私がなぜ高分子化学に興味を持つようになったのかをお話しましょう。私は子供の頃から化学が大好きでした。学校では物理、化学、数学をたくさん勉強しました。私が大学で研究活動を始めたのは第二次世界大戦のあとで、英国のマンチェスターでマイケル・ポラニー教授のグループに参加してからのことです。その時、私は36歳でした。

私は1909年にポーランド南西部の小都市ベンツィーンで生まれました。私が3歳の時、両親はポーランドの首都ワルシャワへ引っ越しました。私はそこで育ち、学校へ通い、18歳の時にワルシャワ理工科大学（ワルシャワ・ポリテクニク）の化学科で勉強を始めたのです。1932年に卒業し、化学工学士の学位を取得しました。ちょうどその頃、冶金工場をいくつか経営していた父が手術を受けましたが、もとのようには回復しませんでした。ひどい時代で、30年代の不況のため、職を得ることは極めて困難でした。結局私は、小さな薬品工場で安月給の仕事に就きました。薬用の純無機塩をつくる仕事です。そして、1933年の秋、当時ワルシャワ大学の学生だった現在の妻と結婚しました。

1935年、熱烈なシオニストだった義父ヒラリー・フレンケルの影響で、当時パレスチナと呼ばれていたイギリスの委任統治領への移住許可を得て、私達夫婦は義父母とともに移住しました。パレスチナの経済状態もひどいもので、ナチス・ドイツの迫害から逃れてきた知識人や医者、科学者などが何人もいて、みんな仕事を探していました。そんな状態でしたから、私の専門分野で職にありつくことはほとんど不可能でした。3か月間職探しをしましたが見つからず、結局、義父の力添えで、エルサレムにあるヘブライ大学の有機物研究所でボランティアとして働く権利を得たのです。おかげで化学者としての仕事を開始することができました。その大学はまだ拡張の途上にあり、化学科もできたばかりで、私が行った翌年に第1期の化学科卒業生を送り出したような状況でした。私は学生達を教えながら、有機物研究所を管理し、有機ヒ素誘導体の合成につ

いて研究していましたが、所長のM・ワイツマン教授がこの研究に興味を示してくれました。その後も研究を続け、私は、1942年に博士号を取得しました。また、お金を稼ぐため、大学で守衛として働き、ライフルを持って警備にあたりました。当時は、ユダヤの施設を焼き落とそうと狙うアラブの暴徒に、いつなんどき襲われるかわからないような状況だったからです。

1936年に息子が生まれ、その1か月後に父が他界しました。父は自分に似た孫の写真を見ることができて幸せでした。10年前に受けた手術の失敗により体調が回復せず、それがもとで心臓発作を起こし、帰らぬ人となったのです。まだ56歳でした。母と妹達がワルシャワに残されてしまいました。一方、妻は両親とテルアビブに住んでいました。私の守衛の給料では、二人が食べていくことができなかつたからです。1年半後、私はやはり給料は安いながらも、やっと大学で安定した職を得て、妻子をエルサレムに呼び寄せることができました。この時ほど幸せな気分になったことはありませんでした。その頃化学科にフォアコシュ教授が赴任してきました。フォアコシュ教授は優れた物理化学者でそれまで英国ケンブリッジ大学のエリック・リディール教授のグループで研究をしていた人です。私は物理化学にたいへん関心があったのですが、この教授のグループに入ることができなかつたため、やむなく有機化学グループで研究を続けました。

1942年、ロンメル元帥率いるドイツ軍が北アメリカに上陸すると、イギリス軍はさまざまな物品の不足に苦しむようになりました。というのは、イタリアとドイツに制海権を取られていたため、本国から船で物を送ることができなくなつたからです。私は産業活動に乗り出して小さな工場をいくつか建て、必要物資を生産しました。一生懸命働いたこともあって稼ぎもよくなり、産業活動のためにエジプトやバイルートへ行ったりしました。終戦時には貯金がずいぶんできていたので、イギリスの著名な大学へ行って、物理化学を研究してみようということになりました。フォアコシュ教授はマンチェスター大学のマイケル・ポラニー教授のところへ行くよう勧めてくれましたが、これはたいへんな好運でした。これで私の人生が変わつたのです。

マイケル・ポラニーは最も刺激的な化学者で、同年代の物理化学者の中で最も才能に恵まれていたといつてもいいでしょう。私は何と奨学金もない大学院生として受け入れられたのです。結局、私は英語をほとんど話せない外国人であり、イギリスのこの恐ろしい戦争ですっかり疲弊していたのです。マンチェ

スターに着いたのは 1945 年の秋。私は 36 歳になっていました。ポラニーが私の研究課題として示してくれたのは、数年前に彼がバトラーとともに考案した熱分解法を使って、ヨウ化ベンジルの C-I 結合解離エネルギーを測定することでした。

数か月研究に励んだのち、私はこの方法では思いどおりの結果が得られないという結論に達し、トルエンの C-H 結合解離エネルギーを研究したほうがいいのではないかと話してみました。ポラニーは私の提案した方法がうまくいくかどうか疑問に思ったようでしたが、「やっでごらんなさい」と言ってくれました。この方法は非常にうまくいき、その成果を見てポラニーは俄然乗り気になりました。数か月のうちに私はトルエンの C-H 結合解離エネルギーを測定し、 $\text{phCH}_2$ -H 結合が  $\text{ph-CH}_3$  結合よりも弱いことを証明したのです。これは当時の一般的見解を覆すものでした。さらに研究を進めてキシレンの C-H 結合解離エネルギーの測定も行い、置換基が結合解離エネルギーに及ぼす影響の研究を試みました。イギリスへ渡って 8 か月が過ぎた頃、私は博士論文に値する研究をしたと言われ（規則により 1947 年に博士号を取得しました）、この時にポラニーは、荣誉ある ICI 特別研究員の職を提供してくれたのです。そこで私は妻と二人の子供（1942 年に娘が生まれた）をイギリスへ呼びました。当時は本当に恵まれた時期でしたが、貯金は底をつきかけていました。

トルエンとキシレンの C-H 結合解離エネルギーの研究成果を発表する準備ができ、私はポラニーのところへ論文の原稿を持っていきました。彼は注意深く目を通し、何か所か直したほうがいいと指摘し、その理由を説明してくれました。論文を打ち直して見せにいくと、ポラニーはまた訂正してくれました。打ち直しと訂正をさらに 4 回繰り返したのち、やっとポラニーから、これで発表してもいいだろうという言葉をもたらしたのです。「どの雑誌に発表しましょうか」と尋ねますと、ポラニーは答えました。「あなたの論文なのだからあなたが発表すればいいんですよ」。私は今でも、ポラニーとの共同論文がないことを残念に思っています。その後、私は大きな研究所に移り、大学院生達の助けを借りて研究を進めました。私は非常に効果的な結合解離エネルギー測定技術を考案し（この技術はのちにトルエン担体法と呼ばれるようになりました）、多くの多原子有機化合物に応用しました。

1947 年、ファラデー協会の戦後第 1 回会議がオックスフォードで開かれ、この国際的会議で、私は初めて二つの論文を発表しました。一つはトルエンと

キシリレンの C-H 結合解離に関するもので、もう一つは興味深いキノイド炭化水素、パラキシリレンの組成とそのポリパラキシリレンへの重合に関するものです。この炭化水素については理論化学者がすでに論じていましたが、まだつくられていませんでした。私はそれをパラキシリレンの熱分解によって生成して、その構成を証明し、非常に変わった性質とその重合を徹底的に研究したのです。どちらの論文も好評で、その後アメリカの著名な化学者が何名か私の研究室にやって来ました。その中で、プリンストン大学大学院委員長のヒュー・テイラー教授と、高分子化学の創始者ハーマン・マーク氏が、私を高分子化学者だと判断してくれました。私が新しいモノマーと、その慣例にとらわれない重合を発見したからです。実はその時、私はポリマーや重合についてはあまりよく知らなかったのです。私はテイラー教授から、アメリカへ来て大学や産業研究機関で巡回講演をしないかと持ちかけられました。これは実に興味をそそる話で、テイラー教授は講演日程を組むと約束してくれました。

招待状は 1950 年に届きました。テイラー教授は実に広範囲にわたる巡回講演を組み、私はアメリカのほぼ全域とカナダを回ることになりました。そして 45 か所の大学と研究所で講演したのですが、4 か月にわたるこの巡回講演は刺激的で、楽しく、実のためになる経験でした。この間、マーク博士は私をブルックリン・ポリテクニクとゴードン・ポリマー学会に招待してくれました。そこで私は多くの一流高分子化学者に会い、この分野の状況について多くを学びとったのです。

そうこうするうち、石油カーボンや石油化学製品で知られる、ある石油会社の理事だったキント博士の協力を得て、私はパラキシリレンとそのポリマーの特許を申請しました。さらに私は石油カーボン会社の顧問となり、そこでパラキシリレンの研究を続けました。意味深いことに、この問題に関して私が最初に発表したパラキシリレン研究が 2 週間で完成したのに対し、その商業的応用のための開発研究には、10 年以上かかったのです。この開発研究はユニオン・カーバイド社の W・F・ゴースト博士によって成し遂げられ、生成物は今、パリレンという名前で売られています。

1951 年、私は再びアメリカを訪れました。アメリカ化学協会の第 75 回記念総会に招かれたのです。この 2 回目の訪問の間に、シラキュースのニューヨーク州立大学で当時学部長をしていたエドウィン・ジャー教授から、物理化学と高分子化学の教授にならないかという話がありました。この話は魅力的でやり

がいのあるものでした。躍進中のニューヨーク州立大学（SUNY）に化学科をつくるのです。私は了解し、マンチェスターでの仕事を仕上げるまで1年待つてほしいと伝えました。当時7人の大学院生を受け持っていたからです。

私は1952年の秋に、家族と3人のマンチェスターの教え子を連れてシラキュースへ行きました。それからの3か月間はフル操業でした。私は全米科学財団をはじめ、いくつかの政府機関から研究費用の援助を受けました。そして、結合解離エネルギーの研究を補完するため、基礎化学研究を行うとともに、同僚のビビアン・スタネットとの共同で、高分子膜による気体・蒸気の浸透研究を進めました。この浸透研究の最も興味深い成果は、浸透弁膜の開発でした。浸透弁膜というのは、水蒸気のある方向へす早く通すけれども、反対方向にはゆっくりとしか通さない膜のことです。また、この時私は、芳香族化合物、オレフィン化合物、アセチレン化合物など、メチル親和力によるさまざまな化合物に、少量のラジカルを付加した場合の速度定数を測定するための効果的方法を考え出しました。この研究はケージ反応など、関連問題の研究にもつながりました。

この頃、私は博士通過を終了したかつての教え子、チャールズ・リーを指導していました。リーはブルックヘブン国立研究所で、放射性トレーサーを使ってエチレンのC-C結合解離を研究しており、私は月に1回、研究の進み具合を見るためにブルックヘブンへ通っていました。ある時、そこでサミュエル・ワイスマン教授に出会ったのです。私はちょうど芳香族炭化水素のメチル親和力に関する論文を発表した直後で、サムはこう言いました。「あなたの論文を興味深く読ませてもらいました。あなた方のデータは炭化水素の電子親和力に関する私の研究結果と関連するものですからね」と。そこで私は、どうやって電子親和力を測定しているのかを尋ねてみました。サムは、「ナフタレンのラジカルアニオンとフェナントレンを、フェナントレンのラジカルアニオンとナフタレンに付加するなどして、芳香族のラジカルアニオンと電子移動反応を研究している」と説明してくれました。この話を聞いて、私はあることを思いつきました。それは、スチレンに電子を移動させることによって、ある種の物質をつくれるのではないかと、ということでした。その物質とは、一方の末端でラジカル重合を起こし、同時にもう一方の末端でアニオン重合を生じさせるという、これまでにない現象を引き起こすものです。そこで、スチレンへの電子移動について研究しているのかどうか尋ねると、簡単な答えが返ってきました。「研究す

るまでもありません。重合するに決まっていますよ」。さらに、この問題を調べてみてもかまわないかと尋ねると、サムは了解してくれたので、私は二人の教え子、モーシェ・レヴィとラルフ・ミルコヴィッチとともに、この反応の研究を開始しました。その結果、第一級スチレンのラジカルアニオンが二量化してアニオン二量体となり、この二つのアニオンの末端で停止反応や連鎖移動のないアニオン重合が起こるという結論に達しました。こうして、リビングポリマーが生まれたのです。この結果は私が考えていたとおりのもので、1956年に発表したリビングポリマーに関する最初の論文の中で、私はその概略を説明しました。この論文は大きな関心を集め、世界中の数多くの研究所が、リビングポリマーの研究と、それを応用して思いどおりの構成を有するポリマーを合成する研究を始めました。

その後、私達の研究は三つの方向へ発展しました。一つはブロックポリマーや機能性ポリマーの生成など、リビングポリマーの合成能力の証明、次にリビングポリマーの重合に関する速度論研究、そして電子移動反応の研究です。速度論研究によって、これらの反応においてイオンやイオン対が果たす役割を評価することができました。

この研究を始めて以来、数多くの仲間がこの分野の発展に貢献してくれました。名前をすべてここであげることはできませんが、研究当初に貢献した人々を数名ご紹介しましょう。まず、私達にはリックの愛称で知られているデービッド・リチャーズ博士ですが、彼は、私の研究室で初めて疎水性ポリエチレンと疎水性酸化ポリエチレンを使って興味あるブロックポリマーをつくった人です。リビングポリマーの末端基の官能化の研究も行っております。のちに、リックは一人で成長中のポリマーの活性末端基の変換方法の開発を始めました。これは、成長のメカニズムを変えるもので、つまり、アニオン成長からカチオン成長などラジカルな成長方法への変更です。ところが、将来有望だったリックは若くして他界してしまいました。ジョン・スミッド、バッターチャリヤ、チャー・ロン・リーらは、アニオン重合におけるイオンとイオン対の役割を初めて見つけた人達です。シラキューズで行われたこの研究は、ドイツ、マイントのG・V・シュルツ教授の単独研究と時を同じくしました。私達が発表した直後にシュルツ教授も研究結果を発表しております。当時、私はジョン・スミッドと協力して共同研究をしておりました。私が教えていた学生で、今は米国ロサンゼルス南カリフォルニア大学で教授をしているテオ・ホーゲンエッシュ

との共同で、スミッドは接触イオン対と溶剤分離イオン対の創造的な研究を行い名声を高めました。シラキユースにいたジョハンは教授に昇格して、高分子化学の世界で実りの多い貢献をしております。両基ともクラウンが連鎖に結ばれたポリマーの合成やこれらの今までにない素材を触媒として応用したことなどはジョハンの研究成果の一例であります。チャー・ロンはダウ・コーニング社に移籍し、ポリシロキサンのリビングポリマー化を開発しました。彼は、この会社で今は高い地位についております。

私達の研究では、日本人の仲間の貢献により革新的な成果も生まれております。名古屋大学から引退されたアサミ・リュウゾウ教授は、同位体標識を使ってアニオン二量体の溶解研究を行い、電子移動による重合の開始について一部を解明していただきました。シマ・ミキコ教授は、アニオン重合で交差成長について広範囲な研究をされた最初の方です。マツダ・ミノル教授は、逆プロセスを調査して電子移動による重合の開始を研究されました。シノハラ・マコト博士は、アニオン重合の速度に影響を与える一部の溶媒化合物試材の驚異的なアクションを明らかにし、定量的な結果を出しております。シモムラ・タカトシ博士は、アニオン成長反応に起こるネガティブな活性エネルギーを明らかにすることで、この反応における溶剤分離イオン対の役割を発見しました。シマダ・キヨシ博士は、ポリマー連鎖の末端基のあいだに起こる電子移動が与える連鎖強度への影響を明らかにしました。A・ヤマギシ教授は、二酸化リチウムによる開始剤とリビング・ポリスチレンとの反応挙動を分析し、リチウムの対イオンにより起こる共重合について凝集効果を明確にしました。時間に限りがありますので、この他日本の私の教え子諸君の研究活動についてお話することができませんが、ご了承ください。

とにかく、リビングポリマーの分野は、世界中の多くの研究者が独創的な貢献をしたおかげで誠に多大な成長を遂げたのであります。研究によって新製品や新技術が誕生しただけでなく、リビングポリマーのプロセスに関しては、当初の研究に利用されたアニオン重合以外の他の成長プロセスへと発展しております。事実、リビングポリマーが初めて発見されてから6年ほどして、複素環式モノマーのカチオン開環重合も一つのリビング成長となるであろうと考えられました。その後の研究で、この反応にさらに新たな機能が認められました。このプロセスでイオン種と共有種が同時に参加することをサエグサ・タケオ教授が発見し、このアイデアをもとに、私の同僚だったスタニスロウ・ペンチェ

ック教授の広範囲な研究で実りある成果を上げております。

その後、リビングポリマーの新種が発表されました。オーウェン・ウェブスター博士が率いるデュポン・チームが開発した基移動重合、リチャード・グラップ教授の環状ジオレフィンのメタセシスによるリビング重合化法、イノウエ教授が発表した配置重合などは当分野でみごとな成果を上げた例です。

そして、ヒガシムラ・トシノブ教授はサワモト・ミツオ博士との共同で研究を拡張し、ここ 10 年ほどでビニール・エーテルのカチオン重合を開発しております。ジョセフ・ケネディー教授は独自の幅広い研究で、 $\text{BCl}_3$  または  $\text{TiCl}_4$  で活性化したエステル、またはエーテルで開始するイソブタンのカチオン重合で同じようなリビング特性を発表しております。

この分野で未来の開発を予想することはできませんが、ツルタ・テイジ教授の有機金属複合体の研究は期待されており、意義のあるものです。こうした複合体は、重合の開始と成長を可能にするだけでなく、立体化学を効果的に制御するものです。

以上のお話からもご理解いただけたと思いますが、私が高分子化学の世界に入ったのも、リビングポリマーが発見されたのも予期せぬ出来事の結果でした。確かに私はラッキーでした。ただ、重要なことが一つあります。それは、一生懸命に頑張れば頑張るほど、ラッキーになる、ということです。これは、特に若い方々に覚えておいてもらいたいことです。それから、もう一つ重要なことがあります。予期せぬ出来事は頻繁に起こります。予期せぬ出来事は、記録してその意味を理解することが重要です。そこで、問題が生じます。予期せぬ出来事を調査すべきか、放っておくべきか、それとも、気に留めておくだけにして予定通りのそれまでの研究を続けるか、こうしたことを決めるのは、とても難しいことです。予期せぬ出来事をすべて追いかけるのは野生のガンを追いかけるのと同じで、無駄な努力に終わります。時間と努力はもっと重要な問題に使うべきです。しかし、新たな通路を見つけたのにそれを放っておくのは、金山を見逃すことになるのかもしれない。決定を下すためのガイドとなるような規則もありません。現象を理解し、知性と直観に頼るほかありません。これは一般的な問題です。研究に限らず、常日頃の生活でも生じる問題で、そこでなされる決定が極めて重要なこともあります。