

SME LIBRARY 26

日本の工作機械を築いた人々

田中 克敏 氏



東芝機械株式会社 技術顧問

SME 東京支部

一日本の工作機械や関連技術の発展に大きな貢献をされた方々から直接、その貴重なお話を伺うというSMEライブラリー「日本の工作機械を築いた人々」。今回は、世界的な工作機械メーカー、東芝機械でとくに大型工作機械と日本が誇る超精密加工の開発と実用化に主導的な役割を果たした田中克敏さんをお迎えしました。

一田中さんは九州のご出身と伺っていますが。

田中 はい、私は1938(昭和13)年に福岡県八幡市(当時)で生まれました。父は旭硝子に勤めていましたが、1942(昭和17)年に関連会社の三菱化学があった現在の北朝鮮・清津(チョンジン)に転勤になり、私は1944(昭和19)年に現地の小学校に入学して片道約2kmを徒歩通学し、暑くても寒くても毎日朝礼がありましたね。

戦時中とはいえ、時折アメリカ軍機が清津港に機雷を投下するため飛来する程度で戦争の実感はなかったのですが、1945(昭和20)年8月12日にソ連軍の舟艇が清津港に迫るのを自宅の庭から眺めていましたよ。それから家族5人、着の身着のまま貨物列車に乗って南に向かったのですが、途中でソ連軍機の襲撃に遭ってトンネルに避難したり、本当に生きた心地もありませんでした。

在郷軍人の父は途中下車して師団のあった羅南(ラナム)に向かいましたが、そこで終戦になり、そのままシベリア抑留になってしまいました。私たちは、平壤(ピョンヤン)の北約50kmの大同江近くの三菱化学の工場があった順川(スンチョン)で途中下車してそこで終戦を迎え、玉音放送を聞きました。

38度線を越えて板門店へ

当地の三菱化学の社宅で1年間共同生活をしましたが、生活費は朝鮮人の畑の手伝いなどで得ていたようです。子供たちは集まって勉強した記憶もありますが、大半の時間は川で貝や魚を捕ったり泳いだりしていましたね。この年の冬、全面凍結した大同江をソ連軍のトラックが渡っていたのを覚えています。

そうして1946(昭和21)年8月、私たちは順川から板門店まで野宿しながら200kmを歩き、38度線を越えてようやく板門店の難民キャンプに到着して、テント村に收容されたのは10日後でした。さらにそこから貨物列車で釜山港に向かい、乗船する貨物船にはためく日の丸を見て感激したものでした。

ところが、博多港へ到着すると船内でコレラが発生して、博多湾で1か月間隔離されてしまったのです。そん

田中克敏(たなか・かつとし)氏

1938(昭和13)年2月生まれ。小倉高等学校を経て、1961(昭和36)年熊本大学工学部機械工学科卒業、芝浦機械製作所(後に東芝機械)に入社、工作機械の生産技術、生産管理、設計、研究開発に従事。1974年に設備機械として日本で最初のプラミラー(5面加工機)を開発、現在の5面加工機の基礎を確立した。機械産業の基礎として超精密加工の必要性を感じ、1977年から社内ベンチャーとして超精密加工の研究開発を進め、ポリゴンミラー加工機、ディスク旋盤、超精密スライサー、超精密非球面加工機などを商品化、今日の情報化社会の発展に果たした功績は大きい。現在は同社技術顧問。

日本機械学会、精密工学会、砥粒加工学会の活動に貢献し、日本機械学会・精密工学会フェロー、砥粒加工学会名誉会員。日本機械学会技術功績、技術賞、工作機械技術振興財団論文賞、精密工学会賞、euspen Lifetime Achievement Awards 2009など受賞歴も多彩である。

2008年、70歳で「超精密加工の高精度化の研究」で博士号を授与される。

趣味は、若い頃は山登りに専念、現在はヨット(ヨット歴52年)、写真、水泳、読書(ミステリー)と幅広い。

なことで、順川を出発して4か月目にやっと日本に上陸でき、シベリア抑留から一足先に帰国して旭硝子に復職していた父が会社のトラックで迎えに来てくれ、再会を果たしました。私は小倉で小学校2年生に編入されたので、実は2年生を2回やっているのです。

1951(昭和26)年4月に戸畑中学に進学しましたが、北九州地区では明治中学から小倉高校へ行くのがエリートコースでした。戸畑中学の1学年は約250名で、私はトップグループに入っていたので小倉高校を目指しましたが、当時は校区制があって戸畑からは小倉高校を受験できず、わざわざ小倉の親戚と養子縁組をして何とか合格できました。

中学校時代の趣味は飛行機のソリッドモデルづくりで、建具屋で軟らかい木っ端を分けてもらい、「航空情報」誌の三面図を元に胴体や主翼、尾翼を切出しナイフや彫刻刀、やすりで形を整え、サンドペーパーで仕上げ、さらに木工パテで目止めをして塗装をするという手の込んだものでした。しかも、キャノピーは透明なセルロイドをお湯で温めて軟らかくし、木型に押し付けて成型したものです。

そうして完成した作品は、ゼロ戦、一式陸攻、九七式大艇、紫電改、ロッキードP-38、朝鮮戦争で活躍した

T-33「シューティングスター」、F-86「セイバー」と、プラモデルに比べて手のかかるものにも挑戦していましたね。博多の板付基地（現・福岡空港）まで行って、小高い丘から1日中、F-86やB-52爆撃機、「グローブマスター」の離着陸を飽きもせず眺めていたこともありました。

1957（昭和32）年に父は東京に転勤になるのですが、当時の旭硝子は復興需要の板ガラスの生産で業績が好調だったため、社宅のなかには200人もの宴会ができる倶楽部や診療所、テニスコートもありましたね。私が熊本大学機械工学科に入学したのは、同じ1957年でした。

熊本大学から東芝機械に入社

冶金工学科に在籍していた兄と、大学近くの同じ下宿で学生生活を始めました。父からの仕送りが当時8000円、下宿代は3食付きで4500円、残りは3500円でしたが、ラーメン45円、映画50円、床屋100円、焼き芋は10円～15円で、2、3本買えましたから、贅沢をいわなければ楽しい時代でした。

実習や研究は、現在は重要文化財に指定されている機械工場で、やはり重要文化財の歯切り盤や旋盤を使ってやっていましたね。ただ現在は、先の熊本地震で傷んだため、五高記念館などととも一般公開されていないのは残念ですが…。

卒業年次は求人難で、1960（昭和35）年4月になると各社からたくさんの求人があって、競合しないようにクラス内で調整して、それぞれ6、7件の案件を持って面接に行きましたが、ほぼ最初の面接で内定・採用でした。当時の世相を反映してか鉄鋼や造船、電機、黎明期の自動車が人気で、鉄鋼には7名採用されましたよ。

機械工学科はクラス40名で纏まりが良く、ソフトボールの試合やコンパなどはほぼ全員が参加していました。物故者も多くなりましたが現在も交流が続いていて、2年に1回のクラス会には今も25名以上集まります。

一田中さんは最初から工作機械をやろうと思っておられたのですか。

田中 いや、東芝機械が工作機械メーカーであることは聞いていましたが、実は漠然としか知りませんでした。ただ、私は学生時代から性格的にも現場向きだと思っていたものですから、東芝機械の入社面接のときに機械現場を希望したら、工作部第一機械課に配属さ

れました。当時の課長が榎山信二さん、部長が小泉健治さんでした。

それまで「芝浦機械製作所」という社名でしたが、ちょうど私が入社した1961（昭和36）年の6月だったと思いますが、川崎・鶴見にあった「芝浦工機」と合併して「東芝機械」になったのです。

そこで私は1年間、毎日遅くまで現場で治具をつくり機械の改造をしたりと、現場をサポートする技術者としてのスタートを切ったわけです。でも、実際は楽しかったですよ。

—その頃は、何か特別な技能を習得する訓練だったわけですか。たとえば、キサゲとか…。

田中 いや、現場の作業全般の習得でした。機械が良くなければ改造するとか、具合が悪ければ治具をつくる

とか、当時はそんな要求がたくさんありましたから。そこで一番良い経験になったと思うことは、現場でいろいろな改善やトラブルに対応するわけですが、図面を描いて治具などをつくと、数日ですぐに結果が出る。もし図面や考えかたが違っていれば、こんなもの使いものになるかという具合にね。

ですから、そんなことで私は、1年間で500枚くらい図面を描きましたかね。実にいろいろな機械の改造や治具づくりなどをしたわけですが、もちろん、失敗作も多くて、でもこのときの経験がその後の仕事に大変役に立ったと思います。

当時、東芝機械ではテーブル径2mとか1.6mの立旋盤をつくらせていて、そのテーブルにT溝を切るので、Vのヤゲンにテーブルを載せてそれを立てて、切りくずが詰まらないように下から上に削っていくのです。

溝は放射状にいくつもありますから、段取り替えをするときにワイヤをかけて、クレーンを使ってワイヤを少し絞り、パールを使ってテーブルを回すのです。ところが、これが実に危なっかしい（笑）。倒れたら一体どうするんだろうと。

そこで私は、これは滑り摩擦だから力があるので、転がり摩擦にすれば簡単に動くのではないかと考えました。ベアリングを入れたローラで受け、ローラ軸にハンドルを付けて回転させるのですが、必要な力は簡単に計算できます。

1か月ほどしてその装置ができて、これでやろうということになったのですが、皆がこの300mmほどのハンドルは何だという。私は、これを回してテーブルを動かすのだと説明したら、現場の全員が寄ってたかって、何

でそんなバカなことをというのです。でも、実際にやってみたらこれが実にうまく動いたのです。

現場には経験豊富な職人さんがたくさんいて、私は大学を出たばかりで技能的にはとても太刀打ちできませんから、もっぱら理屈、理論で立ち向かうしか方法がないのです。でも、このことがあってからですね。彼らから信用を得たのは。

一何かヒントになるものがあったのですか。その当時は、誰も思い付かなかったのでしょうか。

田中 いやあ、そんなことはなかったのですが、とにかく1年間、現場でみっちり実地研修をしましたから、そこでも学校で習った摩擦係数の違いを実践したわけです。

その後も引き続き実習期間でしたが、私は大型工作機械の組立部門に配属されました。あいにく不景気に入って注文は減ってきていたのですが、ちょうど室蘭の日本製鋼所からテーブル径8mの大型立旋盤を受注しまして、設計から据付けまで2年近くかかりましたが、私は先手としてその手伝いをしました。

今と違ってちゃんとした工作機械がなくて、大変苦労しました。テーブルの径が8mですから、その重量だけで200tonくらいある。テーブル回転数は最高16rpmだったと思いますが、油静圧で浮くことは浮くんですが設計が良くて、案内面部分は5mくらいですが、テーブルを回し始めると発熱するのです。

すると、テーブルの外周部分が反り上がってお猪口のようになって、案内面の内側がかじって油が抜けてしまう。案内面の設計が悪かったのですが、かじるのなら極圧添加剤の入った粘度の高い「バクトラ No.2」が良いということで交換したら、もっと具合が悪くなったのです。それで最終的には粘度の低い油を使って、油まみれになってなんとか解決しましたが、一ワークはどのようなものだったのですか。

田中 当時は水力発電が華やかで、日本製鋼所は水車の部品とか大型で丸い平らなものが多かったようです。



写真1 MS カッタ

工作機械の組立に関しては私にはまったく経験のないことでしたから、試行錯誤でやっていました。当時は本当にそんな方法しかありませんでしたからね。

そのときに私を指導していた技術者の方が、16mmフィルム撮影機（アイモ）で製作中の機械の記録を撮れというのです。そこで、10m以上もあるクレーンの上から写真撮影したり、アイモのフィルムの長さは100m程度ですから、すぐになくなってしまいます。しかもゼンマイ巻きですから、それは大変でした。その記録映画や写真は、まだ東芝機械に残っています。

大型工作機械とMSカッタ

そうした教育実習を終えて機械課に戻り、本格的に機械加工の仕事をはじめたわけです。生産管理、切削工具の開発、生産設備の合理化などをやりましたね。

ただ、私自身は工具設計ができなかったのですが、いろいろな材料をさまざまな切削条件で削りたいと要望を出すと、たまたま佐々木紀光という私と同期で入社した工具設計専門の男がいて、彼が私の要求通りに製作してくれました。それが仕上げ用正面フライス「MS（ミラーサーフェイス）」カッタです。（写真1）

これは特許も得て、最初はこの工具を東芝機械で売ろうかと2人で話したのですが、機械は何百万円もするが工具はせいぜい何万円だから、営業しても手間がかかるだけだと東芝タンガロイに譲渡して、現在も販売されています。工具の重要さはよくわかっていたので、彼とはその後もいろいろな工具を開発しました。

その頃でしたか、機械課の設備として、現在の5面加工機に相当するプラノミラーがどうしても必要になって、欲しい機械はアメリカのインガソル社か西ドイツ（当時）のワルドリヒジーゲン社の機械でした。

仕様のには門幅2.6m、テーブル長さが7,8mで、当時でも1億5,000万円くらいでしたか。それで毎年会社に設備計画書を申請するのですが、そのたびに却下される。そのうちに事業所長が面倒くさくなったのか、そんなことをいうのなら、自分でつくってみろと（笑）。一それが東芝機械の5面加工機のきっかけになるわけですか。

田中 当時、私は機械課の課長代理か何かでしたが、機械の設計はあまり経験がなかったので、これまでに積み上げた機械の仕様を持って技術部に行き、特殊機設計の渡邊紘也と1年くらいかけて調査設計に取り組みました。当時プラノミラーの多くは、プレーナに15馬力程度のミリングヘッドを取り付けたものか、加工ヘッドをたくさん持った専用機だったのです。

そこで、1つのヘッドでいろいろなアタッチメントを使って加工するという汎用性の高い機械を開発しようと、

両社の性能を詳しく調べることにしました。

ちょうどその頃、日立造船桜島造船所にインガソル社の新しい機械が入るといふ情報を得て、私は現場に据え付ける間だけ見せてほしいとお願いして、それは詳しく調べました。

実は当時、インガソル社の「MAX-I-SHEAR」という世界最強の荒削り用の正面フライスがあって、剛性やパワーの面でこれをちゃんと使える機械にしようと、

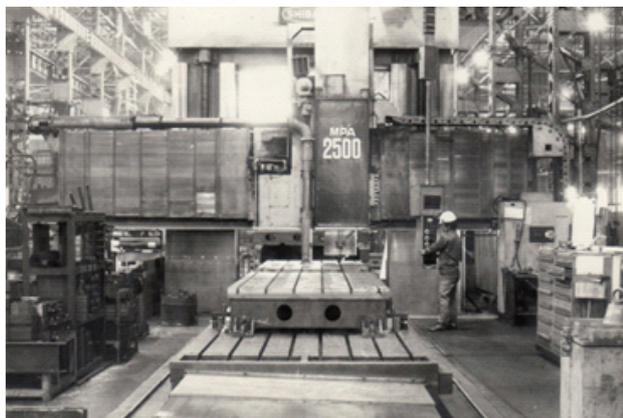


写真2 プラノミラー1号機 (1973年)

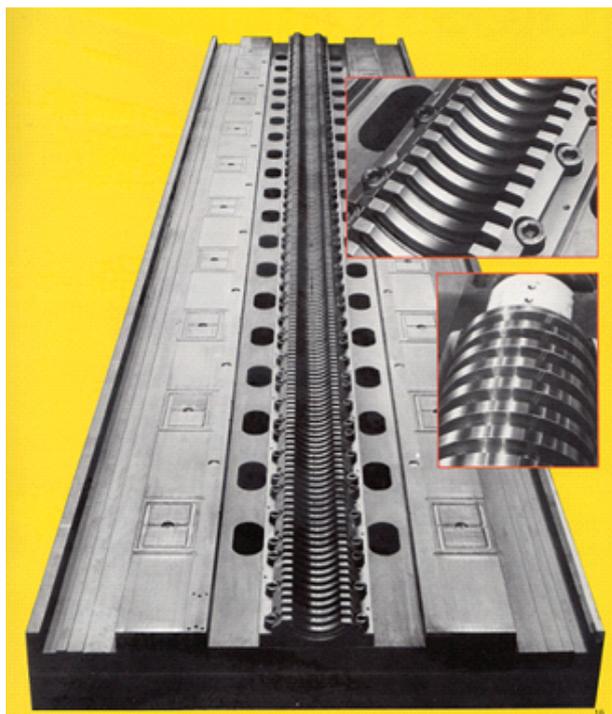


写真3 テーブル駆動用静圧ウォームラック

たとえば100HPの主軸モータを搭載して、テーブルを駆動するのに油静圧ウォームラック方式を採用しました(写真2,写真3)。日本最初の5面加工機で、このラックを削る専用機も新しく設計して、これの工具は佐々木が設計して、現在も使われています。一佐々木さんはその後、どうされたのですか。

田中 彼はもっと工具の勉強をしたいというので、1975(昭和50)年に会社を辞めて、東芝タンガロイなどいくつかの工具メーカーで工具の設計や開発に携わって活躍しましたが、残念ながら早く亡くなってしまいました。

ブラジルに技術指導

1974(昭和49)年でしたか、ちょうどオイルショックで日本国内では仕事がなく苦勞しているときに、新日本製鐵工作事業部からブラジルのウジミナス製鐵所の機械部門「ウジミナスメカニカ」の技術指導をしたいので、東芝機械から機械技術者を出してくれないかという話があったのです。

当時私は生産技術課長で、新日本製鐵と協議して教育用の資料やテキストをつくっていて、技術者は課内から選任する予定だったのですが、直前になって田中に来てほしいというわけですよ。それで、その年の9月から約半年、ブラジルに行くことになったのですが、ちょうど佐々木が辞表を出していて、「こういう事情だから、半年だけ辞めるのを待ってくれないか」と頼んだら、翌年4月に私が帰国したとたん彼は会社を辞めました。

一ずいぶん義理堅い方だったのですね。

田中 ええ、そんな面がありました。私もブラジルでは、楽しい充実した仕事をさせてもらいました。それまで東芝機械で技術屋として10年以上実務をしてきた経験を、毎日数時間ずつ日本語で講義しました。

面白い話ですが、当時ブラジルは借方で景気も良く、工作機械もたくさん買ってくれるのですが、中には東芝機械の機械もあって、その仕様を決めたりするのに、何と東芝機械の人間と私が打合わせをするわけですよ(笑)。

さすがに私も先方の工場長に、身分は新日本製鐵の囑託だけれど、実際は東芝機械の社員だと事情を話したのですが、それでもいいという。1台などは、ドイツのシャーマンの横中ぐり盤が入る予定で基礎まで掘ってあったのに、東芝機械のものを導入してくれました(笑)。そんなことで最終的には20数台、東芝機械の機械を買ってくれましたね。

一思わぬビジネスにもなったわけですね。

田中 はい、そうして帰ってきたら、しばらくしてブラジルの経済が悪くなりましてね。農業と違って工業化はどんなに急いでも、そう簡単にうまくいくはずはありません。それで鉄も売れなくなりました。現在は航

空機産業などもあるようですが…

そうしたらサンパウロの現地事務所から、田中は実績があるので再度駐在に出してくれないかと要請があったのです。でも、ちょうどその頃は超精密の準備を始めていて、最初は生産技術グループの4,5人で始めたのですが、必要な設備機械の目途が付き始めた頃にブラジルに行けといわれたので、それなら会社を辞めるつもりでいました。

当時、不二精機製造所の社長をされていた小池八衛さんはご存じかどうか、実は私が入社したときの保証人なのですが、小池さんに相談したらちょっと待てと。それが4月だったと思いますが、6月になったら工作機械事業部の事業部長として東芝機械に戻ってこられて、それでブラジル行きが中止になったわけです。だから、もしそれがなければ、私はどうの昔に東芝機械を辞めていたでしょうね。

超精密加工への道

—田中さんが超精密の研究をなさるきっかけは何だったのですか。

田中 工作機械事業部で生産技術を担当していたときに、東芝からの要請で電子ビーム描画装置を開発することになりました。それで生産技術課がXYステージなどの機械部品を担当することになったのですが、当時の責任者は、工作機械は元来が高精度なのだから、それをつくる技術があればできるはずだと何の設備投資もせずに開発を始めたのです。

というのは、工作機械の精度は、長さ10mのベッドの真直度を $30\mu\text{m}$ に上げることが可能でしたから、XYステージまわりの部品の要求精度は250mm \square で平面度 $5\mu\text{m}$ 、長さ300mmで真直度 $3\mu\text{m}$ なので、その理屈からいえば十分であると考えたのですが、機械には固有の精度があり、10mのプレーナで1mの部品を加工しても、真直度は $20\mu\text{m}$ 程度で1/10にはなりません。

XYステージは高真空で使用されるため、面粗さも要求が厳しく、機械には慣性があるので全然うまくいかないのです。これには苦労しましたね。

それと、東芝機械はベッドや案内面、油圧機器など、工作機械の構成部品はすべて自社で生産していたのです。電磁弁までつくってましたから。ところが、1970年代になるとボールねじは日本精工、リニアガイド（直線案内）はTHK、NC装置はファナックというように、優秀な専門メーカーが出てきてコストも安くなり、これらを使用することで機械性能との差別化が難しくなる

と考えました。このことも、東芝機械が超精密分野に進出するきっかけになったといえますね。

—当時、東芝機械の社内では、超精密加工に対する理解はあったのでしょうか。積極的に取り組む雰囲気というか…

田中 先程申し上げたように、電子ビーム描画装置の開発に何も手を打たないような状況でしたから、理解があったとはいえなかったでしょうね。ただ、少数ですが役員やスタッフのなかにも応援してくれる人はいましたが、当時の事業部長の飯村和雄さんはお金を出すほうですから、なかなか承諾してくれませんでした（笑）。社長の久野昌信さんは数少ない理解者でした。

ただ、それに文句をいう人もいなかったですね。東芝機械の社員は、声を大きくして主張する人にはあまり逆らわない反面、手伝ってもらえない、反対しなければ賛成もしないという体質はありましたね。1977年頃から1983年頃までは、田中が道楽をしていると陰口を叩かれたものです（笑）。

当時の工作機械事業部はそこそこ大きな所帯でしたし、開発チームも4,5人ですからそう負担になることもなく、自由にやらせてもらえました。

そうするうちに少しずつアウトプットも出始め、私たちの力も付いてきたこともあって、1985年～1987年にかけてハードディスク用の磁気ヘッドの需要が高まってきたのをきっかけに、その製品化を考えました。

磁気ヘッド用スライサーの開発

ビデオ用磁気ヘッドは従来の機械で何とかできたのですが、ハードディスクの磁気ヘッドはそう簡単ではなくて、TDKとかアルプス電気とか、各社は大変苦労していたのです。

当時の一般的な加工機としては半導体用のダイサーが使われていたのですが、磁気ヘッドメーカーの宿命というか、たとえばIBMあたりから磁気ヘッド100万個、納期6か月という注文があると、まず社内設備で何とかならないか検討します。生産能力や精度的に対応できないとなったら設備投資を進めますが、機械の納期が3か月となったら、精度や性能的に心配があっても対応してくれる機械メーカーに依存するしかありません。この仕事は何とかこなしても次の引合いの精度には対応できず、また新しい設備を検討しなければならぬ状況でした。磁気ヘッドの生産量はどんどん増加しますが価格は下がっていきますから、恒久的に使用できる高精度、高能率のスライサーが求められていま

した。

それ以前に私たちは、8mmビデオになって性能が上がり、より高精度の機械が必要になるという情報からスライサーの開発を始めていました。そこで、高価でも売れるといわれてつくったら、これが全然売れないのです。性能は良いが、大きくて高いから駄目だと。

スライサーに関しては、それ以前から研削盤メーカーの三条機械にスライサー用として、エアスピンドルを月に30本くらい納入していました。そこで技術部長の小田島さんが、スピンドルを売るだけじゃなくて機械をつくったらと勧めてくれたのです。さらに、TDKやアルプス電気を紹介するからやってみたらと。結局は“庇（ひさし）を借りて母屋（おもや）を取って”しましたけれども（笑）。

そんなことで、両社に開発したスライサーでテスト加工をして高い評価が得られ、試作をすることになりましたが、性能・精度はテスト加工した機械と同じで、サイズ・価格は1/2、量産機の納期は3か月以下が条件でした。

それでスライサーをつくることになって、TDKもアルプス電気も、同じ磁気ヘッドをつくるのだから仕様も同じになりました。

私たちが苦心して両社に数台ずつ納入したら評価も良くて、次は10台ずつ買うという。それでいざ納入する段になったら、最初は2,300万円だった機械を1,500万円以下にしろというのです。

そのとき私は、正直いってずいぶん悩みましたし、こうした電子部品業界の体質に対応するために苦労しましたが、次第にクリアできるようになり、最終的にはTDKから最多で50台くらい注文がありました。（写真4）そのとき実感したのですが、工作機械ユーザーと違って、彼らはとても合理的でした。

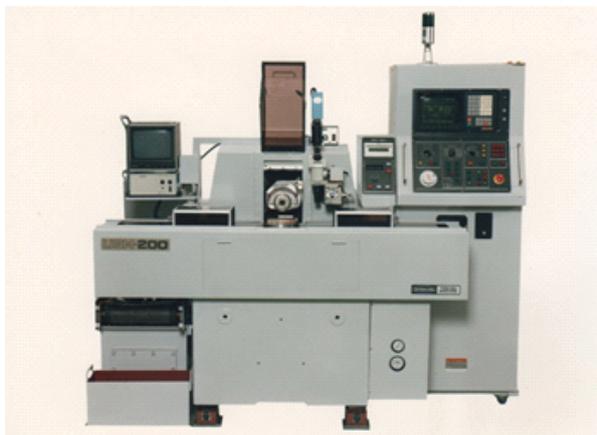


写真4 超精密スライサー（1982年）

—とおっしゃると…

田中 とにかく、まとめて買うから安くしろと。それともう1つ、機械はトラック1台に載る4台をまとめて納入してくれというのです。そうすれば運賃はトラック1台分で済みますから。そして、立会検査も止めるという。そのうちに、据付けも必要ないと。そうすれば、お互いに無駄なコストを減らせるというのです。

でも、私たちにとってはありがたかったですね。信頼関係はもちろんですが、簡単な専用機とはいえ、40人前後の人員で多いときには年間30億円売り上げましたから。これが1つの評価になって精密部門が課になり、部になっていったのでしょうか。

—エアスピンドルの技術は、当初から東芝機械にあったのですか。

田中 いや、これは東芝から技術移管を受けたものです。（写真5）東芝の小林昭さんらが、3自由度の人工衛星用シミュレータの軸受として「球面空気静圧軸受」を開発して、さらに超精密加工用の「球面空気静圧スピンドル」に発展させたのです。その後、水密度絶対測定標準球体（シンカー）として、熔融石英で真球度0.1μm以下の基準球をつくられました。

そこで、私たちは商品化を目的にこれらの技術の移管を受けて、球面空気静圧スピンドルの試作を始めましたが、簡単にそんな高精度の真球をつくれるわけがありません。しかも、球体と軸が一体になった形状ですから。

球体を使った理由は、球体であればラジアル方向とアキシャル方向の負荷を同時に受けることができるからです。そこで、すぐに円筒でラジアル負荷を受け、円板でアキシャル負荷を受けるシンプルな構造に変えました。

技術や経験がないと本当に難しく考えてしまう。東芝機械でも1960年頃につくった機械は、どうしてこんなに難しい構造にしたのかとあきれたことがあります。

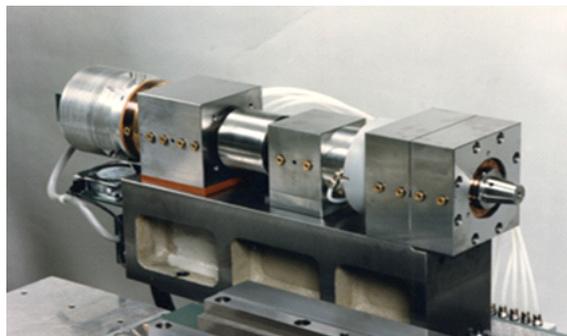


写真5 球面空気静圧スピンドル（1978年）

超精密加工の原点

—超精密加工といえば、まず浮かぶのがアメリカの「ローレンス・リヴァモア国立研究所」ですが、田中さんは海外の調査もされたのでしょうか。

田中 はい、アメリカ、イギリスにも行きました。アメリカは大体が軍用でしたが、ある時期まではどこもオープンでした。ヒューズ社に売込みに行ったときも、内面が多面鏡になっていて、それも1つ1つ角度が違っている、高速回転させてレーザを照射する照準か何かのようなものを見せてくれました。

1980年代からのアメリカの超精密加工は、起爆装置用の高精度の半球をつくるといった、すべてが核開発用といっても過言ではなかったですね。だから、デュボンとかユニオン・カーバイドとか3Mなどが皆超精密加工をしていました。その後は、例のスターウォーズ計画で大きなミラーをつくるのか。

日本の超精密加工は、大阪大学の津和秀夫先生がアメリカに留学されていた1964年頃、論文のなかに“ultra precision machining”という言葉を見つけて、これは日本でもやらなければと提唱されたと聞いたことがあります。実は津和先生は私の小倉高校の先輩なんです。福村さんの大学時代の恩師ですよ。

福村 私が学生のときはまだ助教授だったと思いますが、大変ユニークな方でした。晩年は航空神社の神主になったりしてね。

田中 津和先生が自ら研究をされたかどうかはわかりませんが、1970年頃に超精密加工の必要性を唱えたことは卓見でしたね。超精密技術は確かにアメリカが発祥なのですが、民生用・産業用に関しては今や日本が凌駕したように思います。制御装置はファナックが、スケールはハイデンハインが、そして機械は私たちがどのように努力してきました。現在、非球面加工機は日本



写真6 ポリゴンミラー加工機 (1981年)

が世界のトップだと思っていますが、これもファナックのおかげです。

—超精密加工の研究は、実際やってみるとご苦労が多かったのでは。

田中 苦労というよりは楽しんでいるところもありましたが、スライサーの生産が軌道に乗り始めると合理化の必要性に迫られました。たとえば移動軸のピッチ誤差補正の自動化は、社内でも私たちの部門が最も早かったですね。それと、オートコリメータを使って運動の真直度を測定するのに、角度変化を測定して2点連鎖法で真直度を得る計算するのも自動化しました。これらにポータブルのパソコン(ノートパソコンとはとてもいえない大きさでした)を使用しましたが、当時60万円もしました。この方法も私たちが最初でした。それが1984、1985年頃でしたか。

さらに、そのようにして現場で測定したデータをプリントアウトしなければならない。ちょうどポリゴンミラー加工機を開発していた頃でしょうか。そこで当時150万円もしたレーザプリンタを買って工場の隅に置いて、そのデータを無線でプリンタまで飛ばそうと考えたわけです。現在は当たり前のことですが、当時は人員も不足していたので苦肉の策だったわけです。

簡単にいえば、加工機が一度完成してしまえば後は量産ですから、図面を確認することもないし、オシヤカになっても次をつくれればいい(笑)。当時、世界の磁気ヘッドはほとんど日本がつくっていましたからね。

その頃TDKなどはとても景気が良く、主力の甲府工場が年末に忘年会をするのですが、静岡県御前崎にある大きなホテルを借り切って、全国の下請けが全部集まる。バブルの頃とはいえ、それは豪華なものでした。とにかく、つくれば売れた時代でした。(写真6)

あるとき、社長の飯村さんから磁気ヘッドスライサーがどうしてそんなに売れるのかと聞かれて、「お客さんのおっしゃるとおりにつくったからです」と答えたら、何だそれだけかと(笑)。でも、実際、お客さんの要求どおりにつくれば、それは売れますよ。

工作機械は産業文化

福村 昔は、工作機械には特別な“文化”がありました。旋盤は「四尺」、「六尺」、「八尺」が、フライス盤にも「3番」、「4番」、「5番」、「6番」があり、ユーザーは自分に合わせてそれを買ったものでした。だから飯村さんたちの時代は、工作機械をつくる側の思想や文化があったといえるでしょうね。

田中さんは超大型工作機械と超精密という2つの分野をやられて、大型工作機械では水力発電の大型水車やシャフトの加工に大きく貢献され、超精密となるとこれは飯村さんの思想にはない(笑)。超精密を世界に誇る技術にまで高めたことは、田中さんの最大の功績だと思っています。

田中 私としては綱渡りのようなことばかりしてきましたし、どこかで綱から落ちていたらその後はなかったのでしょうか、飯村さんが社長の晩年のある時期に超精密の工場をご覧になって、こういう仕事はいいなと感慨深げだったのが印象的でした。

私が超精密をやってみてわかったことは、人材教育をするにしても、従来の機械加工の知識がある人に、この加工物を何 μm に仕上げてみなさいというところが拒否反応をする。ところが、素人というか加工を知らない人にインジケータで $1\mu\text{m}$ を測って、こうなるまでやりなさいといっても拒否しない。つまり、既成概念は超精密技術に向かないのかもしれない。—ヨーロッパの超精密分野はどのようなのですか。

田中 超精密関連の研究は、ヨーロッパではイギリスのクランフィールド工科大学、フラウンホーファー研究機構などを中心に行なわれていますが、スマートフォンやデジタルカメラのような産業は少ないと思います。もちろん、ツアイスやハイデンハインなどその分野では最高の製品を保持しています。

日本の場合は、ビデオやハードディスクの磁気ヘッドから始まって、CDやDVDのピックアップレンズ、デジタルカメラ、スマートフォンと応用分野がたくさんありましたから。1982年頃でしたか、当時のコニカがアメリカの非球面加工機を買って、それでCDのピックアップレンズをつくっていましたからね。

NC装置でいえば、アメリカのアレン・ブラドレー社が初めて分解能25nmを実現して、1977、1978年頃にNC装置を完成したのですが、ファナックは10nmのものを1990年に実用化しています。つまり、日本は約10年で追い抜いてしまったというわけです。

アメリカ工作機械産業衰退の原因

—アメリカは、NCにしてもビデオにしても超精密加工にしても先駆者であるのに、どうして実用化、商品化までいかないのでしょうか。

田中 アメリカもものづくりはやっていて、生産拠点が東南アジアということはあるでしょうけれど。

福村 アメリカの産業の場合は軍の影響が大きくて、

その典型的な例が1950年代のNC工作機械の開発でしたね。その後、空軍を始め巨額の研究費を提供して、産業保護の意味もあったのですが、超大型の門型5軸加工機が大量に発注されるとか、軍が大量に工作機械を購入しました。それが結果的には、アメリカの工作機械産業が衰退した原因といってもいいかもしれません。超精密も同じことなのでしょうね。

田中 はい、それはそのとおりですね。現在も超精密分野で競合するのがアメリカには2社、『Precitech Inc.』と『Moore Nanotechnology Systems, LLC』というのがあるのですが、現在でも生産の30%は軍需のようです。

1993、1994年頃だったのでしょうか、東芝機械がつくった非球面加工機をアメリカに売り込もうと、ムーア・スペシャルツール社に販売とサービスをお願いしてやっとならぬと商談が煮詰まった頃、ムーア社から「一体、どこに売ったらいいのか」といわれたのには驚きましたね。すべて軍需ですから、民間用のアプリケーションなどないのです。そもそも日本にムーアの機械が入ったのも、欲しいというから売ってあげた、という程度だったんじゃないかと思います。

因みにムーア社のウェイン・ムーア社長は、1952年のヘルシンキオリンピックで競泳の400m自由形リレーの金メダリストだったんですよ。

そんなことで、アメリカの工作機械が駄目になったのは、もう1つ「ペンタゴン・ストック」があったからではないでしょうか。アメリカ国防総省が、主要工作機械メーカーの機械をたくさん買い入れて、大きな工場にストックしておくのです。

この政策には工作機械メーカーの温存や生産調整の意味もあったのですが、NC工作機械の登場で性能の進歩が早くなり、結局は工作機械産業の衰退を招いてしまった。

福村 だから、国は為替レートの操作などしてはいけません。努力しないで20%も利益が増えるなどというのは、好ましいことではないですよ。過保護はいけません(笑)。

技術を伝承する工夫を

田中 国家が不必要に産業に介入するのは良くないと思いますが、重電用のタービンロータやジェネレーターロータ、船舶のプロペラを加工する大型工作機械は減多に需要がないから、10年も注文がないと生産技術が伝承できず、たとえば5年ごとにユーザーが発注するとかしないと、技術が枯渇してしまいます。これは由々

しきことです。

タービンロータやジェネレータロータがなければ発電はできないし、スクリューがつくれなければ船は走れない。電磁誘導船も、あのような状況では実用化に程遠いですしね。

実は、東芝などのユーザーにも生産技術がなくなってきました。だから、最近もロータを加工する機械をつくってくれという注文がありました。30年前だったら、このような機械をつくってくれと自分たちの加工ノウハウを盛り込んだ厳しい要求をして、工作機械づくりのノウハウを提供してくれたのですが、それがなくなっていますね。

マシニングセンタはまだいいのですが、プロペラとかジェネレータロータとかタービンの水車とか、代替できない加工技術は大切に保存していかなければなりません。

—現在、超精密加工の最大の需要は何ですか。

田中 それは何とんでもスマートフォンでしょうね。何しろ世界で年間約14億台出荷されているといわれていますから。おそらく40、50兆円の市場でしょう。それにスマートフォンのカメラのレンズも、今は5、6枚の組み合わせが当たり前ですから。それも4K、8Kと解像度がさらに上がっている。ですから、現在ではかつてのスライサー並みに非球面加工機をつくることできるようになりました。(写真7)

そのスマホの内部には、小さなコンデンサーが500個も使われていて、それで儲けているところもある(笑)。しかし、東洋レーヨンも京セラも大同特殊鋼も村田製作所も、素材だけを提供しているように見えて、実は材料の開発にとっても力を入れているのです。軸受メーカーは、耐久試験で10年も回し続けていますし。—田中さんが非球面加工機をおやりになるようになったのはいつ頃から…



写真7 5軸制御超精密非球面加工機 (2008年)

田中 ファナックのNC装置やハイデンハインの10nmスケールが登場して、私たちが積み上げてきた技術環境も次第に整い、何回かの失敗の後、1990年に第1号機を完成させたのですが、ちゃんとしたものを納入するまでには10年かかりました。

東芝機械の非球面加工機が世界一といわれるようになったのは、2000年代になってリニアモータをうまく使えるようになったからです。リニアモータは、それ自体が機械のようなものです。マグネットとコイルを部品として買い、それを組み上げて調整するのは私たちですが、これは難しかった。

それと、とくに評価されているのがエアベアリングとV-V転がり案内です。V-V転がり案内はたくさんところで支持しているため、ヘルツの接触弧の長さが短くて、適度な摩擦がある。だから、停止状態で位置偏差量が0.5nm、動かしても1nm以下です。ところが油静圧案内の場合だと摩擦がないので、停止状態でも6nmとか7nmになる。

リニアガイドの場合、作動、停止を繰り返すと大きなプリロードがかかっているため、弾性変形が大きく、これが徐々に戻ってしまう。ところがV-V転がり案内だと、指令によって止めるとそのままその位置を保持するのです。

初期のボールねじを使った非球面加工機の場合は、ロストモーションなどの影響で、位置偏差量が停止していても40nm、動くと80nmにもなったのです。それでは良いものは削れません。そこはリニアモータの利用技術が進歩した結果でしょう。

私はただ単純に剛性を上げて摩擦係数を下げたいというので、スティックスリップを起こさないようにコロを入れた。それからうまく動くようになるまで10年かかりました。

V-V転がり案内の超精密加工機をつくっているのは、世界でも東芝機械だけです。経験的に転がり1nmを指令すると、ちゃんと動くのです。高精度、超精密をキーワードに仕事をしてきたことが、結果的に現在に結び付いたのではないかと思います。

広がる超精密応用技術

工作機械以外で超精密応用例としては、塗装機器の分野で「回転霧化」という技術があります。皿のような形状の円盤を4万とか8万回転といった高速で回転させ、その中心から塗料を送り込んで遠心力で塗料を霧化させる。この高速主軸にエアベアリングを使いま

す。ただ、塗装雰囲気なので電気が使えず、駆動はエアタービンです。

私たち超精密の常識からいえば、エアベアリングは絶対接触してはいけないのですが、スピンドルのサイズが小さく剛性も低いため、塗料を供給するときの負荷変動から、どうしても接触してしまいます。そこで、軸受材料に固体潤滑性のある焼結カーボンを使っているのが大丈夫なのです。

ところが、カーボンの熱膨張係数は5とか6、外側のハウジングはアルミニウムで23ですから、温度が下がる季節になると“バイメタル現象”で動かなくなり、冬になると必ずクレームがくる（笑）。そこで、熱膨張係数をカーボンに近づけるために、高価ですがハウジングの材料をアルミニウムに金属シリコンを混ぜたMMC（金属セラミックス複合材料）にしました。

もう1つ、「マイクロミキサー」も超精密と関係があります。化学合成はピーカーなどで実験するのが一般的ですが、量産時にタンクで合成すると性質が違ってしまいます。

そこで、「マイクロミキサー」という機器を使い、たとえば幅 $15\mu\text{m}$ 、深さ $400\mu\text{m}$ といった微細溝に2つの液体を入れて混ぜ、新しい物質を合成するというものです。この微細溝はスライサーを使い、砥石で加工しますが、超精密加工の守備範囲です。

これは「パラダイムシフト」（科学革命）になるともいわれているのですが、このデバイスは重さが200gくらいですが、金よりも高いといわれています。それに使うハステロイのM1.6のねじをつくってもらったら、1本6,500円でした。

今困っているのは、熱膨張しないように主軸にインバーを使っているのですが、高速回転させると安全率限界まで遠心力がかかって、残留応力のせい曲がってしまうのです。エアベアリングの主軸は、 $3\mu\text{m}$ も曲がると駄目になる。

インバーは材料屋に聞いても熱処理方法もよくわからなくて、この材料はスタンドとか静的なものに使って伸びないだけで、負荷をかけるものではない。だから、遠心力を最大にかけて使うのはいかがなものかと。インバーの用途でよく使われているのは、オートクレーブで航空機の機体などCFRPの構造体を焼くときに、構造体を固定する治具です。

スウェーデンのウッドホルム社が「スタバックス」というプラスチック金型用の鉄鋼材料をつくっているのですが、それでレンズ用金型をつくるとピンホール

など表面の欠陥が問題になる。大同特殊鋼に聞いたら、うちには「Dスター」という新しい材料があり、スタバックスに比べて欠陥率が3/100だということです。

だから、品質改良という面では、ユーザーも常に要求していかなければならないということですね。

—それは、限りなく単結晶に近いということですか。

田中 合金を精製するとき純度を上げて、余分なものを一切入れないということでしょうか。需要が少なければ対応しにくいかもしれませんが、特殊な分野については何とか考えてもらいたいですね。

現在、非球面加工をしていて、ワーク軸の回転数と砥石軸の回転数のほんのわずかな差で、ワークに周期的な微小マークが付く。これは主軸回転数を調整して解決するのですが、当社の非球面加工機のワーク主軸は1/100回転単位まで指定でき、それで少しずつマークを解消できる。これを解決することで技術ノウハウも向上しているのです。これもファナックの制御装置のおかげですが。

これまでは回転数一定で加工していたので、中心部にいくとどうしても能率が下がる。しかし、この制御機能を使うことで周速一定加工ができるようになりました。旋盤などは最初から周速一定が可能だったのでしょね。

長江 いや、ファナックのNCはボール盤やパンチプレスの位置決めからスタートしていますから、当初は主軸の回転制御はしていません。現在は主軸モーターがあるので、旋盤もそれができるようになりました。

田中 昔、ハードディスク用の旋盤をつくっていたときに、5inchや8inchのディスク基板を回転数一定で削り、時間がかかって苦労しました。それは超精密分野でも同じで、最近周速一定でこうなったという論文を出したら、査読でそれは回転数一定の間違いではないかといわれました。

長江 切削の工具刃先を考えなければそうなりますね。刃先から見れば、切削速度を一定にしたいので周速一定になるわけですよ。

田中 超精密加工が現在実用化しているのは、本当に制御装置のおかげですが、この間ファナックの稲葉善治さんにお会いしたら、東芝機械さんはファナックのNC装置やリニアモーターを実にうまく使っていたっていると感謝されました。

東芝機械が最初のトラニオンタイプ5軸マシニングセンタをつくったときなど、DNCでインペラを加工するのに200時間くらいかかるのですが、この間にテープ

のリードミスが必ずあって、ワークがオシャカになる。何回客先に謝りに行ったことか（笑）。

東芝にジェネレータロータの溝加工をする機械を入れて、そのお手伝いしたことがあるのですが、当時のNCは単なる目安で、位置や割出しは作業者がスケールで確認する、つまり、NCは信用できないというのです。作業者でも間違えるでしょうといったら、2人で確認するという。とにかく、材料費だけで1億円とか、オシャカになると材料の納期が1年先とかでしたから。

ヨーロッパ精密工学会から表彰も

一中さんはヨーロッパ精密工学会（Euspen）から、日本人では3人目という名誉な賞を受賞されましたね。

田中 Lifetime Achievement Awards という賞ですが、2009年にスペインのサンセバスチャンという風光明媚な保養地に、家族ともども招待されました。超精密の研究で旧知の帕特・マッキューン教授ともお会いでき、本当に有意義な時間でした。（写真8）

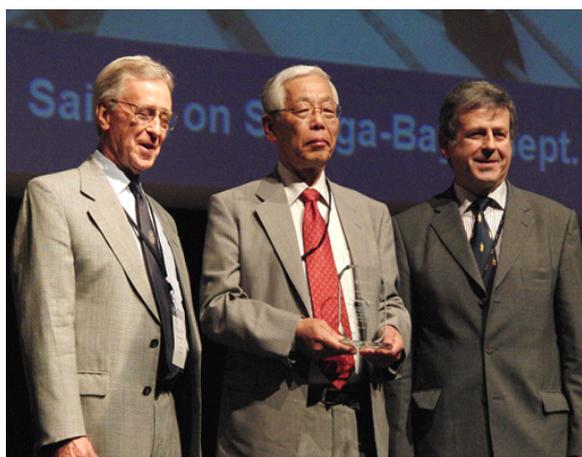


写真8 Euspenの表彰式で（中央が田中氏）

—今もほとんど毎日出社されているようですね。

田中 はい、若い人たちに嫌われない程度に（笑）。なるべく会社に顔を出すようにはしています。現在、ナノ加工システム事業部は150人規模で、博士号を持っているのが5人、技術士も4人います。研究開発環境としては申し分ありませんが、ライバルが少なくなつて、やはり競合、競争は大切なことだと思います。

たとえば規格などについても、幾何公差は常識だと思っただけでしたが、つい最近まで自動車メーカーでさえちゃんとしていなかった。ですから、誰か真面目な人がいて、きちんと規格を決めたんですね。

福村 日本の技術者は、自社のためというより日本の

機械技術の発展のためにやらなければという使命感、いわば天下国家の観点から努力したのでしょね。そして、大型工作機械、精密工作機械を開発してきた。それに貢献したのが東芝機械であり、三井精機だったわけですよ。そして、さらに超精密を実用化した。それが日本に定着したことが大きいですね。

山登りとヨットと写真と

—山登りも趣味と聞いていますが、学生時代から始めておられたのですか。

田中 いえ、大学のときは簡単な山登り程度で、本格的に始めたのは東芝機械に入って、今日ここにお見えの福村直慧（なおえ）さんから誘われたのがきっかけです。福村さんは私が東芝機械に入社したときに1年先輩でおられて、福村さんは富山のご出身ですから、常に山が身近にあったのでしょね。それともう1人、長谷川という同志社大学山岳部出身の悪友がいて（笑）、彼からも山登りの厳しいしきたりを学びました。

（写真9、写真10）

当時はまだ土曜日は休みではなかったのですが、若かったですから、徹夜をすれば翌日は出社しなくていいので、年間50日は山に行っていましたね。当時は登山の道具が高くて、キルティングも防寒具もない。だから、給料もボーナスも全部スポーツショップに注ぎ込んでいました（笑）。

1963（昭和38）年の正月、木曾駒ヶ岳の経験は生涯忘れられません。九死に一生、まさに死ぬところでした。この年の1月は全国的に山の天気が大荒れで、北アルプスの薬師岳で愛知大学のパーティ13人が全員遭難死するという豪雪の年でした。

私たちが同じ時期に木曾駒ヶ岳にテントを張って、7人で雪が止むのを待っていたのですが、1週間も吹雪いた最悪の状況で、テントは雪で埋まるし、食料も尽きた。7人全員で物資を分担しているはずなのに、決められた量を持ってきていないのですから。生還できたのが奇跡でした。

その経験から、その後は一緒に行く人を選ぶことにしました。気心が知れた信頼できる人をね。これは仕事も同じで、岩登りではさらに大切な要素です。

福村さんとはよく山をご一緒しましたよ。2人は寮も近かったので、山登りの体力づくりのために、誘い合って朝晩よく運動をしました。あるとき、福村さんが「1日のうち仕事のことと山とどちらを多く考えているのか」と聞くので、私がこうだと答えると、福村さんは「そ

これはまだ山のことを考えるのが少なすぎる」と（笑）。



写真9 富士山頂から宝永の火口・愛鷹山・内浦湾・伊豆半島を望む（1963年11月、撮影・田中氏）



写真10 南アルプス 赤石岳山頂で（1968年9月、左が田中氏）

私はよく食料係をやらされて、リュックに詰めるときに余分なスペースをなくすために、四角いパンを焼くという。また、南極越冬隊の食料を真似て、酸化を防ぐのに野菜や肉を油のラードと混ぜて、ラーメンも味噌汁も何にでもそれを使ったりしました。それでも荷物が40kgにもなる。

それに、高い山でお米を炊いても美味しくないので、あらかじめ炊いたご飯を干してそれを持っていくのです。私はアパートに住んでいましたから、部屋でご飯を炊いて、それを屋上で干すわけです。

穂高の岩登りもしましたが、2人とも結婚を期に少なくなりました。福村さんはその後もずっとおやりになっていて、山崎鉄工所（当時）に移られてからも何度かご一緒したことがありましたね。テントでは頭と足を交互にして寝る。それで、私はよく鼾をかくものだから、

そのたびに福村さんが私を蹴飛ばすんです（笑）。

山と平行してヨットを始めましたが、これも福村さんと一緒でした。ヨットは、地に足が着いていないことから、ある意味で山より怖いかもしれません。海が荒れてくると大変です。50年以上、今もヨットをやっていますが、ヨットでも風速20mの風を一度経験していれば、風速23mは何とかなるものです。

緩やかに経験を積み上げることが大切で、二段跳びで厳しい状況に遭遇すると事故につながると思います。一山登りは、その後の仕事に生かされましたか。

田中 はい、登山は準備が大変でしたが、計画性という面でも仕事に役立ちましたね。周囲を注意深く観察する、的確な状況判断などは山登りで身に付いたものです。

数年前、昔の山仲間と八ヶ岳に登ったら、それは大変でした。体力は昔と比べて明らかに落ちているのに、当時と同じペースで歩こうとするんですよ。だから、どうしてもへばってしまって、一緒に登った若い人たちからは冷ややかな目で見られて…（笑）。

私は1週間とか10日も体を動かさないと5kgも太ってしまうので（笑）、今も週に3日くらい2時間程度泳いでいます。

一写真もご趣味とか。

田中 これも昔からやっていますが、これまで写した写真をようやくすべてデジタル化して、外国にいる友人たちにもCDにして送りました。

一本日は貴重なお話をいただきました。どうぞいつまでもお元気で活躍ください。ありがとうございました。

（2016年7月28日 ヤマザキマザック本社）

●出席者（50音順、敬称略）

高田芳治（ヤマザキマザック生産本部）

長江昭充（ヤマザキマザック副社長）

福村直慧（ヤマザキマザック常任顧問）

村木俊之（ヤマザキマザック技術本部）