特別企画総説

研究と人と禅心 ―研究の創造性を育む環境―

巻野 勇喜雄*

フォーラム MACKIY, 〒 662-0072 西宮市豊楽町 6-5.

Scientific and Engineering Researches, Humans and the Mind of Dhyāna
—Circumstances for Cultivating Research Creativities—

Yukio MAKINO*

Forum MACKIY, 6-5 Hohraku-cho, Nishinomiya 662-0072, Japan.

Received August 14; Accepted September 1, 2017

ABSTRACT

The memoir of a silver-aged researcher has been introduced with the aims of assisting and enhancing the enlightenment of the research creativities of young scientists and engineers. It is stressed that research creativity absolutely depends on the human character and the sincere attitude of the research leader. To meet the excellent books as well as the respectable leader, especially in young ages, is also the most important factors for cultivating creativity. Further, it is essential to ensure the freedom and heretical behaviors in research activities, and good rivals are necessitated to cultivate the research creativity each other.

1 はじめに

H29 春季大会の参加時にこの執筆を打診された。“若手研究者やこれから研究者や技術者を目指す学生等の将来に役立てるために、長年研究に従事して来たシニア研究者の経験を語ってもらう”という特別企画を大会会場で担当の事務係から伺った。私のような大した研究をしていない老骨の経験談なんて役立たないと躊躇しましたが、冴えない一研究者の戯言や苦労話でもそれなりに意味があるかと思ってお引き受け致しました。私の研究内容を時系列に従って記載し、その時々の研究環境や私を含む若き研究者の喜びや苦闘を振り返り、出来るだけ興味をそそるように紹介したいと思います。また、最近興味を持ち始めている創造性の発現と精神的（とくに宗教的）土壌の関連に関する私見を挿入しながら、“研究とは？”あるいは“研究者とは？”ということを目問自答してみたいと思います。

2 専門分野の選択（研究者駆け出しの頃）

現在も状況はあまり変わりがないと思いますが、私が大学を受ける時代は日本が高度成長期で重化学工業の最盛の時でしたので、工学部には細分化された目的指向型の学科が設置

される時期でした。例えば、原子力工学科、電子工学科のように学科名から何を指すがはっきりした学科が多くありました。少し広い対象を持つ学科としては、機械工学科、電気工学科、応用化学科などがありましたが、応用化学科からは石油化学科を設置されるなど産業界で急成長する分野の要請に応える学科が新設される時代でした。現在ほど大学の専攻に関する情報は豊富ではなく、また大学進学率も今ほど高くない時代でしたので、自分の身近にいるその専攻を卒業した方に個人的に情報を得るぐらいで、高校の先生も工学部系卒業の先生は少なく、まあ適当に“〇〇学科を受けようか”というぐらいのノンビリした時代でした。私の場合は物理が苦手で、化学の方が得意だったので、“セルロースから砂糖を創ってみたい”なんて思って大学受験しました。高校時代は数学Ⅲ（微積分中心の授業）の授業中に抜け出してラーメン屋で早い昼飯を食べに行くような一寸不真面目な生徒でした。お蔭で浪人はするは、大学に入ってから数学の講義が大変でした。浪人中に先に大学に入学したある友人からシュレーディンガー方程式を示されて、“この式で物質内電子のことが全部記述できるんだ”と言われた時には、“何のこっちゃ、さっぱり分からん”と少々驚きを持って聞いたことを今だに覚えています。それから一寸真面目に勉強するようになり、大阪大学工学部に入学しましたが、残念ながら数点足

* Corresponding author, E-mail: cool-sarada@leto.eonet.ne.jp.

らないために第一志望の応用化学を入学できず、第2志望の冶金学科に入学することになりました。もう一年浪人して別の学科に入り直そうとも思いましたが、親友の仁近孝一君に忠告されてそのまま第2志望の冶金学科に入学しました。この時に私の専門分野が決まり、好き嫌いには関係なく材料関連の道を歩くことになりました。教養課程の化学の講義で再びシュレーディンガー方程式に出会いましたが、このときは紹介だけでした。教養課程の後半に専門課程の紹介授業があり、その時にその授業担当の稔野先生からN. F. Mottの“金属電子論”¹⁾(当時は英語版しかなかった。)を紹介されました。その後、専門課程に移った時にMottの金属電子論(英語版)を早速購入して内容をみて、“おっ、電子論難しいなあ”と思いました。シュレーディンガー方程式を示した友人のことを思い出して、“あいつ、あの時格好付けよったけど本当は分かってなかったな”と密かに思いました。後日振り返ってみると、若い学生や研究者には、お互いに刺激合うことが非常に重要であると感じます。学生時代は損得が絡まないで純粋に議論できることが大いに利点になります。最近の学生気質は詳しく分かりませんが、ケイタイやメールで意思疎通をするのでホットな議論ができるのかなと少々疑問に思っています。

つぎに専門課程に進んで配属される研究室の選択でさらに研究者として歩む道が狭められます。金属電子論の講義をされ、鉄鋼材料が専門で米国から帰られたばかりの稔野宗次先生(当時第1講座教授、教養課程で専門課程の紹介授業担当の先生)は非常に魅力がありましたが、研究室の状況等を考慮して鉄鋼精錬が専門の荻野和巳先生(当時第5講座教授)の研究室を選択しました。ここで、後々色々と研究することになった鉄鋼スラグ(溶滓)に出会うことになりました。実際は、スピネルにおけるヤーン・テラー効果²⁾やスラグ中のCrイオンの状態といった結構物理的な研究テーマを研究することになりました。後に振り返ってみれば、私が物性論や電子論が好きなこと(これらの理論を理解していたということではありません。)を考慮してこのような課題が与えられたように思います。修士課程(今の博士前期課程)の時にはまたしてもN. F. Mottの“金属電子論”に出会う機会を得ました。別の研究室に在籍の米良芳雄君らが喜多善史先生の指導でMottの“金属電子論”の輪読をしていました。早速、喜多先生にお願いしてメンバーに加えて頂きました。このようにMottの“金属電子論”は私の研究の色彩を決める因縁の書物となりました。御存知の方も多いと思いますが、N. F. Mottは後にノーベル賞をもらった物理学者で、後に“金属電子論”はその名著であることを知った次第です。さらに、因縁とは妙なもので私が約40年後に超伝導の研究で京大理学部化学学科に在籍することになるのですが、喜多先生は同学科を修了されていて冶金学科に赴任されたばかりでした。良い先生と良書に巡り会うことが大変重要なことを後々知ることになったわけです。博士課程へ進学する気持ちも多少ありましたが、一度社会に出て企業人となる方が見聞を広められると思って修士課程(今の博士前期課程)を終了後、日立製

作所に入社しました。

学部・大学院時代には他学科の授業をよく聴講に行きました。当時、私が所属した工学部では第1選択と第2選択があり、結構他学科の授業を取れたのですが、私の場合は単位の取得に関係なく、授業担当の先生にお願いして幾つかの他学科の授業を聴講させて頂きました。他学科の授業を聴講すると、色々と面白いことがあって、機械工学科で物質移動現象論の授業を聴講した時には、熱伝導方程式やナビエ・ストークス方程式に出会い、講義時の機械系の学生諸君の反応に接して、“やっぱり機械系の学生でも2階偏微分方程式のような数学が苦手なのが結構いるんだ”ということを実感した。というのは当時入試の合格点数では機械学科は冶金学科よりも結構高いので、何となく彼らの方が優秀なんだとの思いがあったが、そういう思いは全く杞憂であることを実感できたわけです。他の講義では、電子工学科の学生(やはり入試の合格点が高かった。)が“グラフィイトって何?”なんてしょうもない質問するのがいて、“電子工学科にもいろんなのがあるな”と思った経験もありました。このような経験は企業に就職した時に非常に役に立つことになった。要するに他の社会や環境を実体験することが重要であると云える。実は実体験を重要視する禅の姿勢に合致するのです。

3 日立製作所時代

大学院の修士課程(今の博士前期課程)を終えて日立製作所に入社し、半導体事業部に配属された。スピネルを少し研究したこともあって中央研究所で磁気バブルによる記憶素子を研究したかったのですが、意に反してシリコン半導体の開発に従事することになった。仏教の八苦で言えば求不得苦である。日立製作所には2年4ヶ月在職したのですが、結果としては非常に人生勉強になった。専門性の観点から言えば、異なる専門性を持つ人の意見を良く理解できるようになった、あるいは理解しようと思うことが出来るようになった。入社早々は殆どの学卒が寮生活を共にするので、多くの時間種々の専門性を持つ人間と接することになる。定かに記憶していませんが、ショットキーダイオードの話でCr添加になった時に、物理出身者はスピンのどうのこうのと言い、金属材料出身者は硬さとか脆化のことを主張するので、議論が噛み合なかった。しかし、そのときのCrによる合金化を考えると、多元系合金の状態図が重要であるのに議論の参加者は誰も言わず、また合金化によるショットキーバリアーの変化について誰も言わなかったように記憶しています。幸いにも私は大学院の入試の時に、同級生の大山昌一君から三元状態図の切断図面作成方法に関して詳しい書物を借用して勉強していたので、ショットキーダイオードの合金設計では結構役に立ったことを覚えています。実は大学院の入試では全く役に立たなかったのですが。

一寸驚いたことは、特許申請書の提出時の名前の順番でした。大学院で学会発表の予稿作成では、発表者名を教授、助教授、助手、院生(時には助教授、助手、院生、教授)の順で記載することが殆どだったので、課長、係長、ヒラ研究員

の順で特許申請書を提出すると、“巻野君、順序が逆だよ”と言われ、“えーっ、そうですか!?”と思いました。理由は簡単で、研究を遂行したのはヒラ研究員だから一番前ということでした。“形式張らなくて電子産業は進んでいるなあ”と感心しました。一寸考えれば当たり前のことなのですが、当時の大学の材料系学科の常識とは随分違いました。私が配属されたプロセス技術開発部は少々大学の研究室的な雰囲気があり、開かれた雰囲気のある部署でと言えます。企業であるにも関わらず、入社後3ヶ月間毎日の午前中に主任技師（課長クラス）による半導体技術講座があり、新入社員の技術水準の向上が図られた。また、配属部署の主任技師の裁量で定時後に半導体工学のバイブルとも言われた A. S. Grove の著書³⁾を半年余り輪読会で勉強する機会に恵まれたことも幸運であった。分析機器関係では、当時の冶金学科で設置されていないオージェ分光分析器や SIMS などの先端的な表面分析器があり、半導体工業における材料研究の先進性に目を見張るところもありました。いよいよ日本の電子情報産業の隆盛が始まる時だったと思います。

日立に在職した短い期間にも拘らず数多くの友人が出来ました。数学が得意の渡辺孝志氏が最も面白い存在でした。とにかく数学が強く、線形代数を良く教えてもらいましたが、性格とか、癖とか感のような人間的な面が左右する麻雀のときだけは良い勝負になりました。彼には入社時に武勇伝があり、白紙（博士ではありません）の渡辺君と呼ばれていました。彼は東北大の電気通信研究所の助手でしたが、なぜか日立製作所に入社しようと思立って、電気系専門の試験を受けたそうです。私もそうでしたが、当時は本社で試験を受けた後、答案用紙を内封した封筒を中央研究所まで自ら持参して試験出題者から様々な質問を受けて合否が決定されました。ところが、彼はその答案用紙を白紙で提出したとのことで、試験官もビックリしたそうですが、彼の言うところは電気系の学問はもう専門ではなくて、数学が専門であると。そこで、数学で再度入社試験を受けることになったのですが、さらに面白い話が引続きあります。彼は数学で再度入社試験を受けて、前回と同じく試験出題者から質問を受けたそうです。その際、“渡辺君、第4問は出来ませんが、難しかったですか?”と尋ねられたそうですが、彼の答えは“その問題はこれこれの条件がないと解けません。”でした。問題の出し方に不備があったわけです。私は数学が苦手の部類ですし、具体的に問題を確かめたわけでもありませんが、入社後彼がコンピュータ関連で大活躍したのを見聞していますので、本当の話だと思っています。また、採用する側も直ぐに反応したと云うことでしたので、それなりの研究者が当時の日立製作所、とりわけ中央研究所には数多く居たということの証左のように思っています。とにかく、種々の分野で若い技術者を含めて一廉の人物が多く居り、またそう成らんと切磋琢磨する技術者集団で刺激を受けたことは幸運と思っています。言換えると、研究環境が若い人々の才能の発現を刺激するということに尽きると思います。

もう一つは組織における人事管理や労務管理について有益

な経験をしたことです。企業ですから種々の管理業務があるのは当然です。ヒラ技術者の自己管理業務では、週報と月報の作成がありました。これが習慣となることは重要で、一つの図表を週報に載せることを目標にすると、業務が着実に進むことを実感させられた。この習慣は後に論文を作成する時に大いに役立つことになった。また、研究業務の年間スケジュールを作成することや、何時までに何をやるかという計画性のある研究の進め方も経験したことは後に大変役立ちました。管理職（課長以上）が部下の能力や仕事量に応じて適当に時間的余裕を考えて業務支持していたことも大学の研究室に戻った時に役立ちました。当時の所属上司によると、このような仕事の与え方を含めて管理職に就くと管理職研修でいろいろ学ばされるそうです。また、私の記憶では3回（3年連続）申告すれば配置転換が可能なシステムがあったように覚えています。したがって、管理職にとって部下の満足度を常に確認することが重要で案件であったようです。私が当時所属した部署のトップは高耐压の水平偏向素子（だと記憶しています）を開発し、テレビがスイッチオンですぐ画面が出るようにしたこと（確か日立ポンパの名前）で有名になった部長で、私の退職に当たって色々含蓄のある言葉を教えてもらいました。その一例は“巻野君、上司が2度やってくれと言ったら、責任は上司が取ると言うことだよ”で、今もって強く脳裏に残っています。

日立製作所に在職中は不純物ドーピングに関する開発研究に携わり、通常ドーピングは拡散プロセスで行なう。したがって、拡散について勉強しなければならなかったのですが、大学院時代の応用数学解析や材料学をベースにした教科書では間に合わなくて、拡散の数学が必要となって、J. Crank の “The Mathematics of Diffusion”⁴⁾に四苦八苦することになった。その後、拡散プロセスによるドーピングでは歩留まりが問題となり、不純物原子の打込み量が電流で検知できるイオン打込みプロセスの導入を検討することとなった。この仕事では LSS 理論⁵⁾なども勉強しなければならなかったが、それよりもイオン打込みという技術に携わったことが後にセラミックスのイオン照射損傷の研究に随分と役に立った。イオン打込みで発生する結晶欠陥について調査した時には、エッチングで転位が見えるということに一寸ビックリした。Fig. 1 に当時研究していたイオン打込みにより B ドープした単結晶 Si

Fig. 1 Lattice defects observed by chemical etching in boron and phosphorus doped silicon wafers with a test pattern. (Left photo: Base and emitter were formed by BN and POCl₃ deposition, Right photo: Base and emitter were formed by boron ion implantation (100 keV, 7×10^{14} atoms/cm²) and POCl₃ deposition, respectively.)

の結晶欠陥をエッチングで観察した写真の一例を示す。よくよく考えれば Johnston と Gilman⁶⁾ がパルス応力の印加により LiF 結晶にエッチピットを発生させることで転位速度を計測しているの、ビックリすることでもないかと後日自分を納得させたことがあることを思い出す。

4 溶接工学研究所の草創期

日立製作所退社後、阪大材料系の博士課程（今の博士後期課程）に入学しましたが、薦められて溶接工学研究所の助手に奉職しました。すぐに大学の研究者になる自信はそれほどなかったのですが、酸化物の状態分析に興味があったので快諾しました。しかし、これが日々アクセクする始まりでした。溶接工学研究所（1970年に設立、後に接合科学研究所と改称）の草創期は新しい溶接工学を目指して、材料工学、エネルギー工学、造船工学などでプロセシングに溶接・接合を含む関連工学の研究者が参集していました。私が所属する化学反応部門は溶接フラックスとそれに関係するプロセス（サブマージーク溶接（SAW）やエレクトロスラグ溶接（ESW）など）の研究が中心であった。溶接フラックスは組成の相違を除けば鉄鋼スラグとほぼ同じもので、私の基礎的な研究課題は非晶質珪酸塩の構造研究で、応用研究では SAW と ESW におけるスラグ—金属反応解析と溶接金属の脱酸や脱窒が課題であった。非晶質珪酸塩の構造研究ではスラグの役割がシリコンと結合していない酸素（自由酸素、 O^{2-} と書く）に強く関係することから、スラグ中の3種類の酸素（ O^{2-} 、 O^- および O^0 と書く。）の分布状態を明らかにすることが重要な課題となっていた。光電子分光法（XPSあるいはESCA）やオージェ電子分光法（AES）が有力な手段であることは分かっていたが、残念ながら当時の溶接研にはまだ設置されていなかった。そこで私は他の方法がないかと色々と考えた末、酸素の分極が異なることに注目して精度の高い屈折率と密度を Lorentz-Lorenz の式⁷⁾に適用することで、2元系珪酸塩の3種類の酸素分布が決定されることを明らかにした⁸⁾。これらの結果は統計熱力学的に解析された結果とも良い一致を示すことも明らかとなった。光電子分光法による結果も学会で同時に発表されたが、当時光電子分光装置は少なくとも3000万円以上する高価な装置で、その上当時の装置はのちに真空度の関係から表面状態に留意する必要のあることが指摘されている。それに比べて、屈折率の測定に問題はあるものの、安価な屈折率計（当時約30万円）と密度計（数万円）により有意義な結果（他にも酸素酸塩の塩基度）が得られ、良い研究結果は研究費の問題ではなく、着想にあることを実体験した。研究費が無いことは研究できないという理由にならないといえる。また、このようにして算定した3種類の酸素分布状態が有意であるかを検定するために、統計熱力学的な研究を徹底的に調べる必要に迫られた。そのため、Guggenheim の“Mixtures”⁹⁾や Kapoor らおよび Kordes の論文^{10,11)}を熟読しなければならない羽目に陥った。お蔭で溶液の統計熱力学とドイツ語の実力が多少とも向上し、後に“珪酸塩の構造とスラグの物理化学”¹²⁾としてまとめることができた。

スラグの構造研究を通じて電子分極に興味を持てたことも後々役に立った。また、ガラスの分野で有名な作花清夫先生（当時、三重大教授、その後京大教授）や準格子モデルで知られる横川敏雄先生（当時、北大教授）にいろいろと教えて頂く機会を得たことも幸運でした。

研究所設立当初の頃は企業から共同研究員を募集できて、新日鐵（現新日鐵住金）や日本鋼管（現 JFE）などから数人の研究員が派遣されて所属の研究部門でそれぞれの研究していました。私は企業を経験していましたので、何の抵抗もなく彼らと溶接関連の研究を共同でやることになりました。中でも単純な3元系フラックスを用いた ESW の基礎実験では、試料の鉄板の厚さが50 mmあり、この厚さの鉄板の溶接は大変でした。それにこの試料の鉄板はこちらの所望の大きさと共同研究する企業から送付されて来るのではなく、約4 m × 約2 m（明瞭に記憶にないが数トン程度の重量があった。）の形状で送付されて来て、突き合わせ溶接するためにこれを400 mm × 200 mm にガス切断する必要があった。素人が厚さ50 mmの鉄板をガス切断するのはなかなか大変で、トーチの位置合わせにコツがあってタイミング良くキャリッジを稼働させるのに往生した。作業はダイナミックで緊張感があって上手く行ったときは何とも言えない達成感があった（今やれと言われてもとても出来ません）。企業からの共同研究員の方々の助けがあればこそ遂行できたことでした。こうして得られた ESW の基礎的な実験結果は昨今ではなかなか出来ないだろうと思います。夏の暑い夜には、実験をそれぞれ終えてから学生・院生も企業人も、もちろん私を含めた若手教員も近くの飲み屋に集まり、ワイワイとやって明日への英気を養っていました。年齢や立場を超えて色々議論することが若い学生・院生に良い刺激を与えることを実感しました。さらに、若い学生・院生諸君が第一線の企業人と接することは大変な刺激になったようです。

その後、研究室の方針が変更になり、短期の目的に向かった研究課題が変わってきました。例えば、溶射膜、セラミックスの照射損傷、セラミックスの接合あるいはスパッター被膜など何でもありの開発研究が主になり、私は出来るだけ材料評価の切り口から研究をするようにしました。セラミックスの照射損傷では、日米の研究者が集まって研究会を開催されることもあり、伊藤憲昭先生（当時、名大教授で素励起が専門）が流暢な英語でかなり厳しく討論をしていたことに強く印象づけられました。ドラえもんの翻訳コンニャクが欲しくなるほどでした。セラミックスの照射損傷関連の1論文を書くのに100以上の過去の論文を読破したことも思い出しますが、日立時代に論文の速読を訓練された結果だと思います。この頃は、どうも研究室のトップは核融合材料に目が向いていたようで、我々若い研究者の将来を考えると、結晶欠陥物理のような長持ちする課題が得られないような気がした。それに、事前予告もなく、突如“これこれの国際会議に発表するから論文3件準備しなさい”とか、研究思想に一貫性のない要求が来るようになり、企業における不良対策（企業では重要なんですが）と同様に若い研究者のレベルを向上するよ

うな状況ではなくなって来た。実験結果を予想しながら実験をするというような阿呆なことをして1ヶ月に3件論文仕上げたこともありましたが、“こりゃ企業での不良対策よりひでえーな”とは思いましたが、このような要求にもそれなりに対応できたのも日立時代の切磋琢磨のお蔭かなとも思っていました。良い点と言えば、どんな研究テーマ（材料に関することに限定されますが）であっても適当に誤摩化す感覚を得たことと論文数が増える点くらいでした。思想性のない論文を数多く書いても意味がなく、こんな調子で研究を続けると単なるデータ作成マシンになり、発展性が得られないと感じていました。因みに、この時までには私が書いた論文（いろいろ併せて70数件）は全て当時の習慣（？）に従って部門長が第一著者でした。当時でも企業では結果を報告するヒラ研究員が第一著者でしたので一寸変でしたね。企業と工学部材料系との相違と言って良いのでしょうか？ 旧い時代だったのかもしれませんが。

5 独創と異端を求めて（溶接工学研究所の過渡期）

1980年代半ばから短期的で短絡的な取り組みでは息の長い包括的な研究は出来ないと判断して、研究室のトップとは多少の確執がありましたが、先ず新規の材料物性の設計するための基本的な考え方を模索し始めました。丁度この頃、縁あって臨済禅を始め、研究というものの根本を考える機会を得た。鈴木大拙によると¹³⁾、“禅は体験的であるが、科学は非体験的である”と。ここで言う科学は科学全般のことと思いますが、周知のように理工学分野では実験的研究が大きな位置を占める。実験的研究は体験的である。新しい事実（真実）は実験的研究によって得られるので、理工学分野では体験的な部分がかかなり重要になる。したがって、私は少なくとも理工学分野では非体験的とは思わない。禅の悟りは論理を越えた直覚によるとされる。また、知識には3種類あると云われる。第一の知識は読み書きにより得て、記憶と記録により所有するもので、第二の知識は通常科学的と言われ、観察と実験・分析および推理の結果であり、体験的・経験的な部分もある。これに対して、第三の知識は直感的な理解により達成され、蓄積している科学や論理（記憶しているもの）は役立たず、直覚的知識とも言われる。勿論、科学的思考には論理が絡むが、新しい発見あるいは独創には論理に飛躍を必要とすると考えられる。この飛躍は往々にして直覚的である。我々も思わぬ飛躍的体験をすることが稀にある。独創とは知と未知との境において起こるとする碩学もいる¹⁴⁾。これが受入れられるならば、飛躍的体験は未知の領域を、あるいは知と未知との境界を認識することである。数年参禅して、何となく新しい研究には第三の知識が必要であると感じた。禅は第三の知識を人心に啓発する手段であり、研究者がどういう心的状態にあるべきかを問い掛けてくる。臨済禅では有名な言葉が幾つかあり、私はその中で“赤肉団上に一無位の真人有り”と“随处に主となれば立处皆真なり”という言葉が気に入っている¹⁵⁾。宗教的な意味はさておき、“全てを捨てて真っ裸になりなさい、どこでも自分が主体者となればそ

こに真実がある。無執着であれ”というようなことだと思っています。また、“学究は立处に依らず、真を求めることなり。”というような結論に達しました。そこで、とにかく変革を恐れず前へ進むべしという結論になりました。

参禅して何人かの人生の先達にいろいろと教わり、1980年代後半から未知の研究に取り組むことにしました。この頃（1986年）、高温超伝導のフィーバーが起こり、後日に高温超伝導に縁ができる出来事がありました。セラミックスの高温超伝導体が発見され、セラミックスに多少とも関わり合いのある研究者は挙ってセラミックス高温超伝導体を研究し始めました。私の所属部門でも院生の一人がそれに関する課題を与えられ、どのように研究したら良いか困っていました。私は高温超伝導体には興味がありましたが、実りある結果を得るにはそれなりの知識（あるいは常識）が必要であると考えて、敢えてこの課題には手を出しませんでした。ただ、院生が困っているのを見かねて、テーマに関係する論文を読んでこっそりと議論し合いました。彼が実験していたYBaCuO系の高温超伝導体について彼と勉強会をしていたのですが、その際Yに対してTl、Pb、Biを置換すると面白い結果になるのではという感触を持ちました。ところが、我々が話題にしてから1年も立たない間にTlとBiを含む高温超伝導体が続々と発表された¹⁶⁾。この経験は小生にとって後々京都大学でじっくり取り組む駆動力となった。たまたま院生と一緒に勉強したことが端緒となって面白い課題に突き当たったわけです。

高温超伝導が発現する臨界温度を決定する因子を含めて、固体の様々な物性は多体系における電子相関にあることは自明なのですが、具体的に何かというのは非常に難しい問題とっていました。理想的には多体系の量子力学による2原子間の相関関係（当時は3種類あると考えていました）を表現するパラメータを約100原子間に対して決定すれば、固体の様々な物性や構造が自動的に決定されるだろうと考えたのですが、この課題は時間的にも能力的にも私にはとても無理だと思いましたので、2原子間の相関関係に取り組みる価電子パラメータを過去の研究から探すことにした。その結果、突き当たったのはW. A. Harrisonの結合軌道モデル（BOM）¹⁷⁾とA. Zungerによって計算された各元素の価電子の擬ポテンシャル半径値に関する論文¹⁸⁾でした。この論文でZungerは自ら計算した擬ポテンシャル半径値により565のAB化合物の結晶構造の分類に優れた結果を報告している。私が注目した時にはすでにVillarsらによってZungerの擬ポテンシャル半径値は結晶構造の分類に対して優れた指数であることが研究されつつあった¹⁹⁾。どのように展開するか“ハタ”と困ったが、これまでの研究結果をいろいろと調べて行くと、10年ほど旧いが、Van-Vechten²⁰⁾とJ. C. Phillips²¹⁾によるバンドギャップに基づいた結晶における4配位と6配位の分離に関する論文を思い出し、長さ次元の擬ポテンシャル半径をエネルギー次元に変換することを考えた。詳細は文献に譲るが、BOMに基づく粗い近似でもエネルギー次元による結晶構造マップを描けることに辿り着いた。このようにして描いた結晶構造マップはd電子の効果などに問題があり、残念ながら

Fig. 2 Structural mapping of 149 AB compounds with basic crystal structures constructed by two band parameters (H and S) and compositional factor (f_{inv}). F_i means the ionicity defined by H and S. See reference 22. [open circle: B1, solid circle: B2, open triangle: B3, solid triangle: B4, open square: $L1_0$, solid square: $D8_b$]

未完成であるが、粗い近似でも金属間化合物の一部の結晶構造を分離してマッピングできることまでは辿り着いた²²⁾。Fig. 2には6つの基本的結晶構造を示すAB型化合物に対する結晶構造マップを示す。そして、この結晶構造マップを利用することで窒化物硬質被膜に重要な結晶構造（立方晶—六方晶）変化を予測することが可能となり、その予測は様々なPVDなどの高エネルギープロセスによる擬2元素窒化物被膜の合成に関する実証研究に繋がった²³⁾。物質の硬さの指標になるパラメータは原子間距離ですが、関係する電子がsp電子であるか（もっと正確にはs電子であるか、p電子であるか）あるいはd電子が関係するかによって関係式が異なります。一般的に剛性率 B は原子間距離 d のべき関数 $k \cdot d^{-n}$ （ n は元素の結合形態に依存）で表わされます²⁴⁾。それ故、基本的には原子間距離が小さいほど剛性率が大きくなり、安定物質ではダイヤモンドで最も大きく442 GPaとなります。したがって、高硬度の硬質材料を開発するには原子間距離の小さくなるように合成すれば良いことになり、高エネルギープロセスが好んで使用されました。中でもLiuとCohenの高硬度窒化炭素（ C_3N_4 ）の予測研究は大きな潮流を引き起した²⁵⁾。薄膜でもそうですが、バルク材では物質の固有の硬さの他に粒界構造を含む組織が密接に関係してきます。私はバルク材の高硬度物質の合成はそれほど得手ではありませんので多くは述べませんが、セラミックスの電磁エネルギープロセス（通電焼結や電磁波加熱）では内部加熱、高速加熱あるいは非熱的加熱が重要となるので、上手く制御された粒界構造を

もつ組織の創製に期待が持てるように思っています。

6 希土類元素との出会い

金属間化合物の結晶構造マップの構築に一応の結果を得た頃（1990年前半）、物質の硬質性の探索にも擬ポテンシャル半径値を利用できるのではと考えて、結晶の原子間距離と擬ポテンシャル半径値の関係を半経験的に模索していた。このような時に足立吟也先生（当時大阪大学教授）から化学教科書の分担執筆を依頼された²⁶⁾。また、同時期に重点領域研究“希土類の新展開”の応募も勧められた。足立先生は私の博士論文の副査をして頂いた塩川二郎先生（当時大阪大学名誉教授）の後継者であるので、重点領域研究の応募の件は大変な難しかったが、“固体の量子論”というタイトルの分担執筆の件は全く私の能力を越えたものであった。しかし、固辞することはできず、やむなく恥を覚悟で執筆することになった。教科書であるので内容に間違いがあってはまずいので、これまでに出版されている内外の関連書物を何冊も調べて何回もチェックしたが、20年余り立った現在でも内容を見ると汗顔の至りである。重点領域研究の参加では、希土類元素の化学的性質を擬ポテンシャル半径から検討することを試みたが、困ったことに希土類の擬ポテンシャル半径はZungerによって計算されていなかった。しかし、幸いなことに元素物質における原子間距離と擬ポテンシャル半径の関係をすでに求めていたので、これをベースにd電子の混成度を近似的に繰返すことで希土類元素の擬ポテンシャル半径を決定して何とか論文3件と成果報告書を書き上げた。これらの結果には全く不満足であったので、2004年に奈良での希土類に関する国際会議で“等価原子間距離”という概念を導入して希土類の特性を考察できることを報告しました²⁷⁾。

重点領域研究への参加が機会となって足立先生から何回か執筆依頼がありましたが、これがとても大変でした。希土類のバイブルといっても良い“希土類の科学”²⁸⁾では、「4f軌道の電子」と「希土類金属」について分担執筆を依頼された。第4章の「4f軌道の電子」では相対論的な取扱いについて記述しなければならないことになった。“こりゃ大変だ！真面目に取り組んだら頭がパンクする!!”。理学部図書館に何度も調査に行って関係ありそうな図書を何冊も借りてはコピーし、取り敢えず読まなければならない資料を用意しましたが、これを読みこなすのが大変でした。周囲を見ても聞けそうな人がいない。まるでお経のようだった時、いやお経の方がチンプンカンプンだと思直した。例えば、般若心経の文中の“色即是空、空即是色”なんて言葉の巷の解釈はとんでもない意味で、宗教家によると例えば“目に見える現象そのものに実体がなく、実体のないものが即ち目に見える現象そのものである”と解釈されている^{29,30)}。何のことやら分からんでしょ。これに比べると、シュレーディンガーの波動方程式の方が分かり易くて、2階偏微分の項は運動エネルギーでエネルギー保存則を示していると理解すると、“なあ〜んだ”ということになる（実はシュレーディンガーの波動方程式もさらに勉強すると深いことを含んでいることが分か

ります.)。とは言うものの、まとまった内容を把握するまでには随分と時間を要しました。運動量の4乗項とスピン―軌道相互作用による相対論的補正エネルギーについては何とか行きついた。多電子系のエネルギー状態は、ラッキーなことに昔一寸カジっていた電子間相互作用の対角要素のクーロン積分 F_k と交換積分 G_k について一寸知っていたのでなんとか出来ました³¹⁾。しかし、時々編者の足立先生から一見自明のような事柄について質問が投げかけられたことには少々参った。一見自明のような事柄が実は良く分かっていないことを悟らされた。例えば、仕事関数など。いつの間にか一生懸命になり過ぎて、しばらくすると鼠径ヘルニアになって手術する羽目になった。頭はパンクしなかったが、お腹がパンク寸前になってしまった。今なら、腹腔鏡下手術により3日で退院できるのに、当時は開腹手術で術後の回復に1ヶ月余りも要して大変でした。が、足立先生のお蔭で“希土類の科学”の分担執筆は大変有意義なものになりました。

7 電磁エネルギープロセッシングとの出会い ―接合科学研究所に改組後の時代―

1996年に溶接工学研究所が接合科学研究所に改組されて後、1997年にエネルギー変換機構学分野に配転となり、同分野長の三宅正司教授とミリ波帯電磁波加熱を用いて主にセラミックスの焼結を研究することになった。三宅先生とは配転になる1年ほど前に“電磁プロセス研究会”の設立に関わっていて、電磁波加熱研究に関して何となく打診されていた。それに、三宅先生はイオンビームによる薄膜合成も研究テーマにしており、私がその当時すでに遂行していた窒化物硬質被膜の合成研究とも整合性があったので渡りに舟であった。このような経緯でセラミックスの焼結にドップリ浸かることになって、粉体粉末冶金協会に多々お世話になることになりました。“電磁プロセス研究会”はミリ波帯電磁波加熱(以下ミリ波加熱と略する。)によるセラミックスの合成(焼結)の他に放電プラズマ焼結(略してSPS)が主テーマであった。何故この2テーマが研究会のミッションとなったかと言うと、プラズマが三宅先生の専門で、ミリ波加熱もSPSもプラズマに関係するプロセスと考えていたからである。名称から放電プラズマ焼結ではプラズマが関係することが明瞭であるが、実はミリ波加熱においてもプラズマに関係した駆動力が固体に働くことと洞察されていたからである。当時の私にとってプラズマは全くの素人で、放電プラズマすら“あーあのバチバチと火花散る現象か”というくらいしか分かっていませんでした。粉体の焼結の方から研究すれば何とかなるだろうぐらいに考えていました。それと、薄膜合成の研究はそこそこ上手く進んでいたの、価電子(あるいはバンド)パラメータによる設計論と物質合成をまとめるのに丁度良い研究環境と判断しました。今考えるとこの判断は間違っていました。それは三宅先生のキャラと研究観に尽きる。というのは、三宅先生は名大のプラズマ研究所に在籍したことがあり、研究所というところを体感していたことと、研究者とはかくあるべしという研究者を数多く見て来た実体験に

よるところが大きいと感じた。三宅先生が“研究は文化だよ”と言ったことが強く残っています。広く言えば三宅先生の専門は電気系で、私が電気系の企業に勤めた経験も違和感を少なくしました。ということで、お互いが退職した後も“電磁プロセス研究会”に関わって20年以上もお付き合いすることとなりました。

研究室の雰囲気は当然若い研究者を育てる環境として重要な位置を占めるが、三宅先生がヘッダのエネルギー変換分野では我々教員の部屋と実験室の他に学生・院生部屋があり、その部屋の運営と管理を院生諸君(とくに博士課程後期課程(昔の博士課程)の最上級生)に任せていたことが大きな特徴であった。大学の附置研究所は大抵博士前期課程(昔の修士課程)の院生が4人程度と少ないが、接合科学研究所では共同研究員や外国人研究員何人か(在籍し、日本人の共同研究員の中で近隣の他大学から来られている場合には、そこに属する学部4年生諸君が卒論実験のために研究室に出入りしていた。私が配転したときから殆ど常時外国人研究員が研究室に在籍していたので、英会話に通うことも不必要になった。お蔭で英会話学校に通う費用の節約になると思いきやそうはならず、酒を飲む機会が多くなり、年に何回か馴染みのスナックを貸し切って外国人研究員や共同研究員は勿論、院生・学生諸君共々飲み会をやるのが恒例となった。自分の小遣いを叩いただけでは足らず、飲み代を稼ぐために度々謝礼のある講演や原稿書きに走り回ることもあった。この飲み会は全くの無礼講で若い院生・学生諸君や研究員にとっては相互理解や日頃の鬱憤を晴らすのに良い機会であり、喋り捲るは歌い捲るは兎に角大変楽しいときであったように思っている。面白い写真が沢山あるのですが、個人情報ですのでここでは控えます。我々も共に研究している若い院生・学生諸君の気持ちを知ることが出来て、日々の研究活動が順調に進めるための大切な行事となった。院生・学生諸君の誰もが卒業研究が楽しいものとは思っているわけではないということを熟知しておく必要がある。とくに、学部4年生は適当に卒論を書いて就職できれば良いと思っている場合が多いので、自分が偶々関わった研究の内容とか意義とかが如何なるものなのかというより、研究とは自己表現で“面白い”と思ってもらうことが第一である。そのためには、課題を与える我々自身が面白く研究していることを見せなければ、彼らは決して面白いとは思わないことを強く自覚しなければならない。その点、三宅先生は実験が好きで50歳半ばまで院生と徹夜で実験し、その後東京まで出張するようなことがあったことも思い出します。

大学院生は言わば駆け出しの研究者であるが、定員数が少ない今日の大学研究室では研究の重要な実動部隊である。我々が研究室に配属された頃は、研究室の定員は教授1、助教授1、助手2、技官1(この定員は無いところもあった。)の4~5名であったが、次第に1+1+1(教授1、助教授1、助手1)とか1+1(教授または助教授1、助手1)といった減員の講座(研究室)が増えていった。研究室の減員が進むと共に、大学院生とくに博士後期課程の院生の重要度が高く

なった。三宅先生が主宰する分野では幸いにも毎年博士後期課程に進学する院生が続いて研究室の研究活動は活発であった。ある院生は三宅先生と私の専門が異分野であることに魅力を感じて配属を希望したと言っていたのを記憶している。研究室に配属されたばかりは駆け出しの研究者であるが、2年も経てばそれなりの共同研究者となり、研究室の重要なスタッフとなる。したがって、研究を遂行するに当たって一人前の研究者として処遇することが重要である。その点、分野長の三宅先生は、名古屋大のプラズマ研究所に在籍中に体感した研究所の雰囲気を大事にしていたように思う。上下関係は殆ど無く、少なくとも小生には院生諸君を対等に扱っていたように感じた。所外の飲み会でも肩の凝らない振舞いであつたので、人が多く集まる雰囲気をもっていた。このキャラは国際会議を開催した時に遺憾なく活かされたことも記憶している。兎に角、学生や院生諸君が気持ち良く研究をできる環境を創るために、私は学生や院生諸君が実験結果を正直に報告すること、とくに良いデータが得られていない時には、じっくりと議論することを心がけた。また、学生・院生諸君が良い結果を出した時には、その成果を本人の努力の結果であることを認めることであった。さらに、博士後期課程の院生に対しては、論文の内容（英文の時は特に）を徹底的に修正しても、本人が出した結果ならば絶対に論文の第一著者にすることを鉄則とした。この鉄則は以外と守られていないことが多々認められ、院生のやる気を消沈させるばかりか研究環境を粗悪なものになってしまう。小生がこのように心掛けたのは、日立時代の特許申請した時の経験に負うところが多々ある。伝聞ではあるが、大学では様々な体質をもった研究室があり、学生・院生を労働者のように扱うところもある一方、教授が代わりに修士論文を仕上げて院生を卒業させた例や、院生単名で論文を書かせて海外での国際会議に発表するように取り計らったというような美談も何件か小耳に挟んでいる。

1997年以降、ミリ波（帯電磁波）加熱とパルス通電焼結（SPS）に関する研究に従事してきましたが、ミリ波加熱に関する研究では、当時院生の上野敏之と吉岡尚志の両君に大変お世話になった。上野君と吉岡君は3年違いで、両君とも大学院に進学の時点で博士後期課程まで進学するつもりで配属されて来たように覚えている。また、吉岡君は化学系から材料系に転学科して配属されて来たという一寸面白い路を歩んでいる。上野君はミリ波加熱による窒化ケイ素の焼結で、吉岡君はミリ波加熱による窒化アルミニウムの焼結でそれぞれ優れた研究成果を発表している。ご承知のようにセラミックスの焼結では助剤の選択が重要で、とくにミリ波加熱による焼結ではミリ波吸収能に優れた助剤の発見が鍵となる。助剤の高いミリ波吸収能による選択加熱を利用して低温焼結が可能となるからである。我々は酸化イットリビウム（ Yb_2O_3 ）が窒化ケイ素のミリ波焼結に優れた助剤であることを見出し³²⁾、窒化アルミニウムに対しても同様の結果を得ている。とくに、窒化アルミニウムは高熱伝導率（200 W/(m·K)以上）が要求され、低温短時間で合成することが困難であつ

たが、弱還元性雰囲気下 1700°C、120 分程度でミリ波焼結することで実現している³³⁾。 Yb_2O_3 助剤がミリ波加熱の優れた助剤であることは、多分ミリ波グループの飲み会で議論していた時に出て来た結論のように覚えている。最初に言い出したのが誰かは明瞭に記憶してないのですが、みんなで酒を飲みながら“ワイワイ、ガヤガヤ”とやれば何か面白い知恵が出たというのが結論です。

昨今の学生・院生諸君は必ずしも研究したくて大学へ来るわけではないし、ましてや研究で飯を食おうと思う者はもっと少ないのですが、研究で飯を食っている我々の方が研究で面白可笑しく楽しんでいるところを見せないと、彼らはただ義務的に指示待ち族になって実験するだけになる。講義でも同じようなことが言えて、講義をするこちら側が面白く思っていないと、10分から15分過ぎると夢物語の世界に入ってしまう。私が学生の時に払った授業料は年間8,000円か12,000円ぐらいで、その時代と比べると何十倍も高い授業料を払っているのに“何と勿体ない”とつい思ってしまう。面白い閑話休題を入れて目覚めさせるのも一手であるが、講義の途中で個人的に質問をすると効果があつたように思う。ただし、受講の院生の名前と所属研究室と研究課題を明瞭に覚えておくことが必須である。また、質問された院生の研究課題に講義内容の何が関係あるかを説明すると、単位取得のためにお義理で出席している態度がガラリと変わる。レポートの提出でも自分の研究課題にも関係する論文を選択させてページ制限した抄訳と内容の批評を課題にすると、多少やる気になっていろいろと面白いレポートを作成するようになる。しかし、レポートを提出させるだけでは駄目で、講義時間を使用して各レポートの内容を数分間説明させて、それを聞く他の院生に質問をさせる。これをやると自分の発表と共に他の院生の発表も聞かざるを得なくなる。当然、講義をする側は院生が選択した論文全てに目を通しておいて、発表後にコメントしなければならない。講義登録の院生数が少ない時は問題ないが、ある年には20名を越えて大変であつた。この時、偶々前日に長野まで講演会で出張したが、講演会後の懇親会を楽しむ間もなく、往復の列車内で居眠りも出来なくて20以上の論文を読む羽目になった。院生に効果的な講義をやろうとすると講義をする側も楽ではない。しかしながら、このやり方は大変ではあるが、院生諸君の研究課題に関係させて講義をするので後の研究に役立ったと云う院生もあり、講義する方の私自身にも論文の収集や隣接分野の理解などに大いに役立った。ただし、先輩の提出レポートを流用する輩もいたので十分注意する必要がある。どこにも居るんだなあ、手を抜く輩が。その院生の言い分は“研究室のパソコンにありましたから”でした。この頃から後に大騒ぎになったSTAP細胞の捏造問題が起こるような素地が見え隠れしていたんだなあとしみじみと思った次第です。

三宅先生の退職を記念して2004年3月には、プラズマプロセス、ミリ波/マイクロ波プロセス、パルス大電流プロセスなど先進電磁エネルギー源支援に基づいた材料創製に関する国際会議（MAPEES'04）の開催に事務局長

Fig. 3 A scenery of Kyoto Tour in MAPEES'04. The photo shows the visit of Nijo-Castle.

として関わった。10カ国から200名以上の参加者を得て、92件の論文がエルゼヴィアから発表されている³⁴⁾。海外からの参加者と京都ツアーに出かけた1コマをFig. 3に示す。

2004年3月末に三宅先生が退職されると多額の研究経費を要するミリ波加熱に関係する研究を続けることが難しくなった。また、優秀な博士後期課程の院生を獲得することもままならなくなったので、機動性のあるSPS関連の課題を中心に研究することに切り替えた。共同研究員として来所の私大の先生方（摂南大の山田 澄教授や近畿大の沖 幸男教授）に所属する院生・学部学生諸君数人にSPSを用いた焼結研究を進めて頂いた。私大の院生・学部学生諸君も個々の特徴を活かして丁寧かつ詳細に指導すると、結構面白い成果を出してくれました。彼らの指導には30年も前になる企業（日立製作所）で働いた経験が生きた。御存知のように、企業という所は様々な個性・能力の人間が働く場所で、それに対応して働くシステムをもっている。その点、大学という場所は研究ということに重点が置かれているので、その目的から外れると上手く機能しないことが時々起こる。阪大のような研究を主とする大学でも今時すべての学生が研究職に従事するわけでもないし、院生でも研究と無関係の職業に就くものも多い。したがって、私は当時の学生諸君がSPS焼結技術による材料開発ということに重点を置き、企業に就職した時に役立つ“自分の考えのまとめ方や文章の書き方”などに留意して卒論を書いて貰った。

三宅先生が退職された後は多額の研究経費を要する研究は無理であったが、構成員の人数の割には潤沢であったので、外部の研究者と共同研究は可能であった。その中でも最もお世話になっているのは水内 潔氏（大阪市工業研究所）で、水内氏とは2003年11月末のSPS研究会で知り合った。ちょうどその頃地域新生コンソーシアム研究開発事業（2004年～2005年）に参加して、炭素繊維/金属複合材料を研究することになり、その際に固液共存法を利用した複合材料のSPS焼結を試みていました。そして、この方法をダイヤモンド/金属複合体に応用すると400～500 W/(m·K)以上の高熱伝導性複合材料の創製が可能である見通しを得ていました。そこで、この高熱伝導性ダイヤモンド/金属複合体の創製研究を

水内氏に打診した結果、共同研究の快諾を得た。その後、彼は高熱伝導性ダイヤモンド/金属複合体の創製に多大な尽力をした結果、なんとダイヤモンド/Al複合体で552 W/(m·K)、ダイヤモンド/Ag複合体で717 W/(m·K)という高熱伝導率を示す焼結体作製に成功した³⁵⁾。私が睨んだ以上に良いものが創製できたわけですが、着想に努力がプラスされることが必須の好例といえます。ただし、殆ど水内氏の努力による結果と言って過言ではありません。私にとっては素晴らしい共同研究者を得たことが良い結果を生んだと言えます。因みに、地域新生コンソーシアム研究開発事業は島根県産業技術センターを中心として遂行されたが、そこには博士後期課程を修了して1～3年になる上野、吉岡両氏が在職していて、大変お世話になりました。内心、在学中にきっちりとお世話していて(?)良かったなあとヒヤヒヤものでした。情けは人のためならず。院生時代に酒を沢山飲ませておいて良かったなあ。（ただし、酒飲みだけに有効です。）

2004年から2011年までは粉体粉末冶金協会の電磁プロセス研究会を三宅先生から引き継ぎ、ミリ波プロセスとSPSプロセスを普及するために、研究会や学会の講演会特集の企画・開催に東奔西走する日々であった。この時期にはダイヤモンド/金属複合体の創製で尽力して頂いた水内氏と共に、井藤幹夫氏（大阪大学准教授）にも多大な助力を頂いている。この間粉体粉末冶金協会で電磁プロセス関係の講演特集を4回（2006、2008、2009および2011年）開催し、ミリ波プロセスとSPSプロセスが新規の焼結体創製に重要であることを喧伝してきた³⁶⁾。また、電磁プロセス研究会に先立って1994年に設立されたEMAP研究会は2015年に20周年を迎え、産官学の数多くの研究者のご支援により2015年現在で開催回数59、講演件数192を数えている。

ところで、2008年頃からEMAP研究会に参加のSPS関連企業の方々からパルス通電関連を一冊の書物にまとめてほしいという要望が持ち上がった。小生の在職期間はあと僅かでも忙であったが、経費の都合の見通しもあって執筆者に適当と思われる方々の意向を伺った。公的機関の研究者の方々から肯定的な返事を頂いたので、在職中の最後のご奉公と考え、関西パルス通電懇話会として実行することにした。産官学の27名の方々のご協力を得て、“パルス通電場プロセッシング総説集”の題名で343頁という結構ボリュームのある書物が2009年の5月に発刊された³⁷⁾。現在、この総説集の発刊からおおよそ10年を経ているので、現在御活躍中の先生方がパルス通電場プロセッシングの続編を世に出されても良い頃かと思っています。

8 研究と文化

エネルギー変換機構学分野に配転となってから海外の研究者と交流する機会が多くなり、日本的な研究環境を考える機会が増えた。研究内容の関係上、オーストラリア（豪州）、ドイツ、チェコスロヴァキア（現在のチェコ）、ロシア、中華人民共和国および韓国の研究者たちとの交流が主であった。研究所間の交流もあって豪州のウォロンゴン大学と2国

Fig. 4 Landscape of University of Wollongong. Inserted photo shows a snap in the visit of Dr. Samandi's laboratory. (Prof. S. Miyake, Dr. N. Eaton (Director, Co-operative Research Centre), the Author and Dr. M. Samandi in order from right side.)

間国際シンポジウムを何回か開催し、高エネルギープロセスによる薄膜合成やミリ波加熱によるセラミックス焼結などについて発表する機会に恵まれた。豪州の若い研究者は、ネクタイは勿論ブレザーなんて着用しなく、半パンにアロハ(?)という普段着で発表するので少々唖然とした。発表内容が大したことがなければボロクソに言ってやろうと思っていたのですが(そこまで英語は上手くないのですが)、結構良い内容を発表するんです。何回もシンポジウムを開催するうちに仲良くなって向こうのパブに行き飲みながら夜遅くまで、研究テーマとか研究理念のようなことまで議論をしたこともありました。しかし、酒を飲んだら英語の下手なことは全く関係なく、専門語を並べるだけでも結構議論が出来ることを体感しました。豪州の研究者で最も仲良くなったのはM. Samandi氏で、薄膜合成とミリ波加熱によるセラミックス焼結を研究テーマにしていって何度も来日した。Fig. 4に初めて彼の研究室を訪問した時のスナップを示す。彼はウォロンゴン大学の材料工学科に在籍していて鉄鋼関連の領域にも多少関心を持っていたが、私が以前研究した屈折塩基度のことを指摘された時にはちょっと驚いた。まさに、“天知る、地知る、子知る、我知る”である。世界は広く、誰かが見ているということであると思いました。ところで、豪州の大学には一寸白豪主義的な発言をして日本人を蔑むような理系の大学管理者もいて、お付き合いをする時にはちょっと注意をする必要があると思った人物にも出会いました。

ミリ波帯電磁波加熱プロセスではミリ波発生源が重要で、ロシアの応用物理学研究所(IAP; ニーヅニノヴゴロドにある)が有名であった。1997年10月にロシアの共同研究制度INCASを利用して三宅先生および佐野三郎氏(産総研中部センター)と小生の3人でセラミックスのミリ波加熱実験に赴いた。私は丁度鼠径ヘルニアを抱えながらの出張であった上、現地の食料事情が悪いということだったので、米やウドンなどを大量に持参していったが、全くの杞憂であった。ミリ波加熱には通常28 GHz(あるいは24 GHz)を用いるのだ

Fig. 5 Landscape of Nizhny Novgorod and Volga river. The building inserted shows the Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences.

が、さらに周波数の高い83 GHzのミリ波でアルミナの焼結を試みて焼結体の物性と構造に対するミリ波の周波数効果を研究することができた³⁸⁾。当時小生はヘルニアを抱えていたので佐野氏に大活躍して頂いた。その当時の面白い話は別記されているので参照されたい³⁹⁾。この時に2, 3感じたのは相手の言葉と歴史を十分に知っておくことが重要だということである。言葉でいえば、小生は1 (один), 2 (два), 3 (три) ぐらいしかロシア語しか知らないが、臆げにロシア民謡の“ともしび”とか“カチューシャ”をいい加減なロシア語で歌うと飲み会の方が大変盛り上がった。クレムリンというのも中世から近世における城郭のことらしいことも“なるほど”と思った。Fig. 5には、ボルガ川沿いのニーヅニノヴゴロドの町並みを示す。相手の文化をよく知ることである。三宅先生が“研究は文化”と言ったことは言い得て妙であった。加えて、三宅先生はロシア語も結構堪能であった。

1997年には上海と西安にも赴いた。小生は中国では唐の時代が好きである。初めて西安を訪れることになった時には、王維(Wang Wei)の“元二の安西に使いを送る(送元二使安西: Song Yuan Er Shi An Xi)”の七言絶句を思い出した。「渭城の朝雨 軽塵を潤し、客舎青青にして柳色新たなり、……」で始まる⁴⁰⁾。シルクロードの起点である雰囲気を楽しむことを楽しみに出張した。まず、4人で国際会議ICSE Shanghai'97 (Surface Engineering Towards The 21st Century)に出席・講演した後、私と三宅先生の2人は西安に赴いた。西安交通大学は当時の基点大学の一つであったが、上海交通大学から移って来た研究者がかなりいたようだ。我々を招聘してくれた李長久氏は接合科学研究所で博士号を取得し、当時表面改質関係の教授をしていた。彼のお蔭で歓待を受けたが、発表の最初のpptで王維の七言絶句で紹介すると、聴衆は“おっ……”と多少は受けた。ところが、私は中国語が全く駄目で予め研究所にいる中国人留学生に発音を教えてもらっていたが、全然理解されなかった。日本語読みでは流暢に言えるのに!やっぱりにわか勉強の駄目なことを悟らされた。義務の講演を終えた後、法相宗を興した玄奘三蔵が仏教教典を翻訳した場所という大雁塔、空海ゆかりの青龍寺、王羲之や顔真卿などの能筆家の石碑がある碑林を訪れたが、とくに大雁塔は感銘を受けた。ここで、あの般若

心経を訳したのか思った。般若空観には研究というものを感じる時にお世話になった。実は、よく分かってないのですがね。シルクロードの起点のような所を歩いた時は、“ああ〜ここから様々な人達が西域やインドに行ったのか”と何となく感慨深かった。未知の分野の研究領域に向かう時は、インドのような具体的目的地などはないのだからもっと寂寥を味わうのだろうか。いずれの分野でも先駆者は孤独に耐えねばならないだろう。

韓国やドイツを訪問した時も檀君神話やニーベルンゲンの詩などに精通していると現地の研究者と談笑する時に役立つと感じた。韓国は何度か訪問したが、ウルサン大学を訪問した後に司馬遼太郎が取り上げたことで有名になった戦国武将の「沙也可」ゆかりの友鹿洞（ウロクトン）の鹿洞書院（Fig. 6の写真）に赴いたことが強く印象に残っている⁴¹⁾。沙也可は文禄・慶長の役のとき、この侵攻に疑問をもった加藤清正配下の先鋒将だと云われている。沙也可は投降した後、朝鮮に帰化して数々の功績をあげ、朝鮮名「金忠善」を授けられたと伝えられている。韓国では檀君神話や「金忠善」の話をする、可成りの韓国通と誤解されて度々得をすることがあった。

ヨーロッパの諸国を訪問する時はやはりキリスト教のことを知っておくことが大事である。なぜなら、科学（あるいは自然科学）はある意味でキリスト教の世界観を補強するために生まれてきたのだから。ドイツとは少々縁があって、カールスルーエ研究中心（Forschungszentrum Karlsruhe）に属するパルス出力・マイクロ波工学研究所と学術協定を締結していることから結構交流があった。私も何回か同研究所を訪問し、ミリ波プロセシングの材料加工への応用について共同研究を企画した。また、文部省若手外国人研究者短期研究プログラムでポスドク研究員としてS. Rhee氏およびC. Hunyar氏がミリ波プロセシングの研究のために同研究所から別々に接合科学研究所に来日している。Fig. 7には私が国際会議発表のために渡欧した時にカールスルーエ研究中心を訪問した時のスナップ写真を示す。電磁プロセシングに関わったことで数多くの国々を訪問する機会を得て、研究を含む様々な事が交流する国々の文化や考え方に馴染んでおくことで円滑に進むことを体験した。独創的発想の原点は研究者が育まれた文化や宗教に依存することは間違いない。そのためには異なる文化をもち、異なる哲学をもつ人々と議論できる素地を創っておく必要があるだろう。

9 初心に戻る―京大理学部に学ぶ

高温超伝導が発見されてから“如何なる条件を満たす物質が高温超伝導体になるか？”ということに興味を持ち続けて来た。大阪大学を退職する3年ほど前になって、4節で記述したように、困っていた院生と高温超伝導について勉強したときに何となく感じた科学の女神の微笑みが忘れられなくて、積極的に高温超伝導に挑戦してみようと思った。その頃には擬ポテンシャル半径に基づいた価電子（バンド）パラメータが、擬2元系窒化物の結晶構造変化、高硬質性あるい

Fig. 6 The memorial temple-style building for the Buddhist abbot's study named as “Nokudonsowon”, relating to “Sayaka” who was a general of Samurai army. The lower photo shows the author (left) and the 14th descendant of “Sayaka” (right).

Fig. 7 Landscape of Forschungszentrum Karlsruhe. Upper left-side photo shows a snap of the author in the entrance. Upper right-side photo shows a snap of the author (center) with Dr. S. Rhee (left) and Dr. C. Hunyar (right) in a tour of Heiderberg.

は金属間化合物の第3添加元素の置換など、物質の様々な特性を考察する上で非常に優れた指数であることを実感していた。したがって、問題は“擬ポテンシャル半径をどのような形の価電子パラメータに変換するか”であった。2009年に超伝導臨界温度 T_c がd電子の効果を考慮した擬ポテンシャル半径の指数関数によって記述できる可能性を希土類学会で発表したが、残念ながら反響は乏しかった。しかしながら、擬ポテンシャル半径をベースとしたパラメータに期待できることはある程度は確信していた。

そこで、価電子パラメータによる高温超伝導といった課題で研究させて頂ける理学部系の研究室が近隣の大学にあるかということを知己の何人かの先生方に尋ね回ったが、なかなか合致する研究室が見当たらなかった。ところが、灯台下暗して井藤先生から京大の吉村一良先生を示唆された。吉村先生ははっきり工学部所属と誤解していたが、そうではなくて理学部所属であった。これは好都合と思って、早速打診した。何が好都合かというと吉村先生は粉体粉末冶金協会の理事をしており、協会の会合で既知の間柄で、時々飲み屋で一緒にしたこともあったからである。少々サプライズで一瞬逡巡さ

れたように思ったが、さすが京大で“来るものは拒まず”という感触であった。私は社会人入学枠で面接のみで直ぐにでも入学できると思っていたが、実はそうではなかった。編入試験があったのです。

以下しばらく編入試験のことにお付合い下さい。いまさら試験勉強もないだろうと、何の準備もせずに編入試験を受けたのですが、勿論こんなオジンは私ただ一人である。恥ずかしいなあと思いながら受験会場の教室で端の方に座っていたのですが、会場担当の先生がヒョコヒョコと近寄って来て“15番の受験生はそこですか”といて予め順番に貼ってある受験番号の紙を私が座っている席に貼り直したのです。普通なら、15番の受験生はここですよといて予め決まっている席に座らせるでしょう。その時、私は“やっぱり京大は面白いわ。”と思った。一寸したことでも自由の雰囲気があると感じた。その時他にも感じたことがありますが、これは公開しないでおきます。試験を受けていて感じたことは歳です。他の受験生は若いので鉛筆を走らすのが非常に速い。こっちはオジンなので、また日頃パソコンばかり使っているのでモタモタするわけです。この時ばかりは歳を感じて焦りました。ところが、英文の長文の要約する問題では、読むのが速いから積年の経験が大いに生きて余裕を持って回答できるわけです。また、形式上論述発表では博士前期課程の修士論文の内容を発表することになるわけですが、40年前にやった論文なんて覚えている訳ないでしょう。これは受入れ担当になる吉村先生の配慮で現在やっている研究内容で良しとなった。それならばこっちのものと、約40分間滔々と喋りまくることが出来、擬ポテンシャルのことは試験官に余り馴染みがなかったようなのが功を奏して無事入学できました。

通常、博士後期課程に進学するときは事前に指導教授から研究課題を決定されるが、小生の場合は特別で、吉村先生の好意により小生が提案した“価電子パラメーターによる超伝導機構の解釈と新物質の探索・合成”という課題で研究することになった。小生の体力的な問題があつて4年間で掲載された6件の論文（そのうち3件は粉体および粉末冶金に掲載）^{42,43)}をまとめて無事博士論文に書き上げた。最初の予定では課題名にあるように、実験をして新物質を合成する予定であつたが、年寄りには新たに実験をすることが大変なことが身に染みて分かりました。ということで、新たな高温超伝導物質の合成を断念して、擬ポテンシャル半径に基づいた軌道電気陰性度と超伝導臨界温度 T_c の関係を中心とした内容をまとめることで博士論文としました。60歳を超えた年寄りの酔狂な遊行に対して4年間も真摯に指導して戴いた吉村先生には深謝の念に堪えません。

10 おわりに

私の支離滅裂な研究人生体験記をここまでお読み頂き、有難うございます。私の研究環境は紆余曲折ばかりで研究課題を変える羽目に度々見舞われましたが、その度に優れた先生や共同研究者に恵まれました。また、私の数多くの成果は多くの献身的な学生・院生諸君の助力の賜物であります。さら

に、分析機器メーカーや焼結機製造企業などに関係する多くの技術者に支援されたことも幸運でした。このような紆余曲折した道程を一貫性あるものに集約できたのは物質内電子をベースにした考え方に辿り着いた結果であると思います。物質内電子の振舞いは今もって良く理解していませんが、大学進学前後に“見えない世界”に対する夢を与えて頂いた友人や諸先生・諸先輩のお蔭だと思います。

研究とは何かということを端的に言うのは難しいことです。研究者に内在する世界を表現することが研究ではないでしょうか。また、「研究は未知を知とすることである。」ので、常に創造性を伴わなければならないでしょう。その創造性は人と人を育む環境に依存することは自明でしょう。この“人を育む環境”を実現するには大変な忍耐と覚悟が必要で、若年の研究者にとっては、研究能力と共に人間性に優れた先導者（一般に先生）に出会うことが非常に重要です。また、自己に合った先導者を求めて遊行する、また出来ることです。そのためには、研究環境が出来るだけ自由であることが望まれる。また、異端を許容する環境であることも望まれる。そして、切磋琢磨できる良きライバルが多数いることである。私が実体験したことから言えば、人格的にも学術能力にも優れた先導者（あるいは先生）を自ら探し出すことと良い書物に出会うことであると思います。まさに、「研究は人なり」です。参禅して内なる自己を見つめたことも紆余曲折に動じることなく研究に邁進できたように思います。

我国の組織は往々にして厳しい縦社会で、その習慣が固定観念を若い研究者に植え付け、異端者が排斥されることはよく見受けられます。しかしながら、不幸にも我国で認められなくても、海外（とくに欧米）で認知されると評価が一変した例はこれまでに多く認められています。近年、スポーツ界などで多くのスーパースターが輩出されているが、その理由は評価の尺度が公正で明確であるからだと思います（尤も点数制のスポーツでは問題ある競技もあります）。ピラミッド社会的な環境では、トップは一種の神的存在で、その神的存在者の意思によって評価されるが、しばしば恣意的になる場合もあります。したがって、この弊害を避けるためには、若手研究者が自由に所属を変えることができる制度が有効な手段の一つでしょう。移動の自由度が高くなると、研究環境を変えることが容易になるからです。自由度の低いピラミッド社会的な環境では閉鎖社会になり、有能な若い研究者を潰す環境になりかねない。しかしながら、若い研究者も耐性をもって反面教師に学ぶことも非常に重要です。自己の考えを主張することは真剣勝負だからです。有能な若い研究者は自ずと優秀な指導者の処に集まって拡大再生産する方向に働き、逆の場合は縮小再生産する方向に働くのではないのでしょうか？

最後に、ここに記載した稚拙な体験文が研究者の道を歩もうとする、また歩まれている若い方々に多少とも役立てば望外の喜びです。また、この解説を書く機会を与えて下さった粉体粉末冶金協会の関係諸氏に深謝致します。

文 献

- 1) N. F. Mott, H. Jones: "The Theory of the Properties of Metals and Alloys", Dover Publication, Inc., New York (1958). Japanese translation is published.
- 2) Original paper of Jahn-Teller effect; H. A. Jahn, E. Teller: Proc. Roy. Soc., A161 (1937) 220-235. Many original papers investigated from chemical aspects and review papers have been reported. For example, see J. D. Dunitz and L. E. Orgel: J. Phys. Chem. Solids, 3 (1957) 20-29. The paper is an excellent report on lattice distortion (that is, Jahn-Teller effect). The Japanese translation (by H. Kobayashi, 1968, Iwanami Book Co. Ltd.) of "An introduction to Transition-Metal Chemistry: Ligand-Field Theory" (L. E. Orgel) is recommended as a suitable review in Japanese.
- 3) A. S. Grove: "Physics and Technology of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons, Inc., New York (1967).
- 4) J. Crank: "The Mathematics of Diffusion", Clarendon Press, Oxford (1956). The cheap paperback has been published.
- 5) Original papers related with LSS theory are not easily available. Refer to some relating Japanese papers because the author has read only a part of the original papers. One of the representative papers: J. Lindhard, M. Scharff and H. E. Schiott: Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., **33** (1963), No. 14, p3-40.
- 6) W. G. Johnston, J. J. Gilman: J. Appl. Phys., **30** (1959) 129-144.
- 7) S. S. Batsanov: "Refractometry and Chemical Structure", D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, New Jersey, (1966). Though there are many books on the molar refraction, the relations between molar refraction and structural changes in crystalline materials are minutely explained in the reference book.
- 8) N. Iwamoto, Y. Makino: J. Non-Cryst. Solids, **34**[3] (1979) 381-391.
- 9) E. A. Guggenheim: "Mixtures", Oxford, at the Clarendon Press, (1952). The reference book was housed at that time not in the library of Metallurgy department but of Welding department. This is a proof that there was a marvelous researcher in the Welding department who has focused on solution theory at or before that time.
- 10) For example, E. Kordes: Z. Phys. Chem., **B44** (1939) 213-228.
- 11) For example, M. L. Kapoor, G. M. Mehrotra and M. G. Froberg: Arch. Eisenhüttenwes. **45**[10] (1974) 663-669.
- 12) "Review of selected papers-Structure of Silicates and Physical Chemistry of Slags", Edited and reviewed by Y. Makino, TIC Pub. Co., (2010) (in Japanese).
- 13) T. Suzuki: "Zen and Japanese Culture" (translated by Momoo Kitagawa into Japanese Edition, 48th Edition), Iwanami-shinsho (1987) (in Japanese).
- 14) For example, T. Matsubara: "Domestic Religion (Wagaya no shuukyou), Lin-Chi Branch (Rinzaishu)" Daihourinkaku (Showa 61nen (1986), 2nd edition). Original edition; for example, "Rinzaizenji Goroku" recension by MuchakuDouchuu, The Institute for Zen Studies, Kyoto, Japan (1967). English Edition; for example, Ruth F. Sasaki "The Record of Lin-Chi", The Institute for Zen Studies, Kyoto, Japan (1975).
- 15) Kiyoshi Oka: "Shunshou Juuwa", Kadokawa Sophia Bunko (Heisei 28nen Revised 5th edition) (in Japanese).
- 16) For example, J. W. Lynn: "High Temperature Superconductivity", Chap.4, Springer-Verlag, (1990).
- 17) W. A. Harrison: "Electronic Structure and The Properties of Solids", Freeman, San Fransisco, (1980).
- 18) A. Zunger: Phys. Rev., **22**[12] (1980) 5839-5872.
- 19) For example, the following paper is given as a paper reported in fairly early stage. P. Villars: J. Less-Common Metals, **92** (1983) 215-238. Their serial investigations have been summarized in the following review; J. Hafner, F. Hulliger, W. B. Jensen, J. A. Majewski, K. Mathis, P. Villars and P. Vogl: "The Structures of Binary Compounds" (Cohesion and Structure, Vol. 2), Chapter 1, North Holland (1989).
- 20) J. A. Van Vechten: Phys. Rev., **187**[3] (1969) 1007-1020.
- 21) J. C. Phillips: Rev. Mod. Phys., **42**[3] (1970) 317-356.
- 22) Y. Makino: Mater. Sci. & Eng., **A192/193** (1995) 77-82.
- 23) Y. Makino: Surf. & Coat. Technol., **193** (2005) 185-191. The following paper is published as a review in Japanese.; Y. Makino: J. High Temperature Society, **33** (2007) 50-59.
- 24) Semi-empirical formula and electronic considerations on the relation between bulk modulus (or compressibility) and interatomic distance have been reported by M. L. Cohen et al.. See the following references; M. L. Cohen: Phys. Rev., B32 (1985) 7988-7991 and P. K. Lam, M. L. Cohen and D. Martinez: Phys. Rev., B35 (1987) 9190-9194. Further, similar content is simply explained in the review in Japanese of the reference 23).
- 25) A. Y. Liu, M. L. Cohen: Science, **245** (1989) 841-842.
- 26) Y. Makino: "Fundamentals of Solid State Chemistry and Inorganic Materials", Chap. 9, (Quantum Theory of Solids), Ed. by G. Adachi, Maruzen (1995) (in Japanese).
- 27) Y. Makino: J. Alloys and Compd., 408-412 (2006) 484-489.
- 28) Y. Makino: "Science of Rare Earths", Chap. 4 (4f orbital electrons), Chap. 13, Section 1 (Structures and Properties of Rare-Earth Metals), Ed. by G. Adachi, Kagakudojin (1999) (in Japanese).
- 29) K. Matsunami: "Hannyashingyou wo toku", Daihourinkaku (Showa 61nen (1986), 6th edition), Part I "Shingyou Yougo Jiten" (1986) p29, (in Japanese).
- 30) Z. Shimoizumi and M. Nasu: "Zukai Hannyashingyou Nyuumon", Ed. by M. Yoritomi, Natsume Co. Ltd., (2014) p94-97 (in Japanese).
- 31) E. U. Condon, G. H. Shortley: "The Theory of Atomic Spectra", Chapters 3, 6 and 7, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1970).
- 32) T. Ueno, Y. Makino, M. Miyake, S. Sano, H. Saito: J. Jpn.

- Soc. Powder Powder Metallurgy, **48** (2001) 551–557.
- 33) T. Yoshioka, Y. Makino, S. Miyake: J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, **50** (2003) 916-920.
 - 34) “Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic Energy Sources” (MAPEES’04), Ed.-in Chief. S. Miyake, Elsevier (2005).
 - 35) K. Mizuuchi has published many papers on metal/diamond (or ceramics) composites in the J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy. For example, refer the following paper; K. Mizuuchi, K. Inoue, Y. Agari, M. Kawahara, Y. Makino and M. Ito: J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, **58** (2011) 717-726.
 - 36) Special sessions on Electromagnetic Processing were held in the Autumn Meetings JSPM (2006), (2008) and (2011), and in the Spring Meeting JSPM (2009). The papers relating with the presentations in these special sessions have been published in the J. Jpn. Soc. Powder Power Metallurgy, Vol. 54, No. 8 (2007), Vol. 56, No. 6 (2009), Vol. 56, No. 12(2009) and Vol. 59, No. 9 (2012), respectively. The special session in the Autumn Meeting JSPM (2008) was cooperatively held under the joint with branch meeting on sintering parts of automobile. First special session on Electromagnetic Processing was held in the Spring Meeting JSPM (2002) and the related papers have been published in the J. Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, Vol. 49, No. 10 (2002).
 - 37) “Collected reviews on pulsed current field processing”, ed. by Electromagnetic Processing Committee of JSPM and Kansai Pulsed Current Processing Forum, TIC Pub. Co. Ltd. (2010) (in Japanese).
 - 38) S. Sano, Y. Makino, S. Miyake, Yu. V. Bykov, A. G. Ereemeev, S. V. Egorov: J. Mater. Sci. Letts., **19** (2000) 2247-2250.
 - 39) Y. Makino: “On the Volga river”, Newsletter, No. 14, p. 5-7, Research Center for Ultra High Energy Density Heat Source, JWRI, Osaka University (1998) (in Japanese).
 - 40) For example, Anthology of Chinese Poets, 6 [Wang Wei] (noted by Haruo Tsuru), ed. by Kohjiro Yoshikawa and Tamaki Ogawa, Iwanami Pub., (1973).
 - 41) Ryotarou Shiba: [Kaidou wo yuku 2, Kara no kuni kikou], Asahi Shinbun (2005) 127-191, (in Japanese). See the following Korean material; [Korean-Japan Friendship Kim Chunson/Sayaka-Wurokuton]Conferred Surname Kime Kim Clansman Association (Nokudonsowon), (2000).
 - 42) Y. Makino, K. Yoshimura: Physica C, **485** (2013) 115-119.
 - 43) Y. Makino, K. Yoshimura: Physica C, **485** (2014) 24-35.