

北ヨーロッパ、ポストクの旅

団塊の世代真っ只中の我々は学部生時代に学生運動の影響を少なからず受けて一度ならず社会の中でどう生きるか常識に囚われずに考えてみた経験を持った人が多かった世代に属すると思います。自分もそんな中の一人で研究者になる道を目指そうと心に決めると、素粒子の研究者に成るには絶望的な狭き門だと認識させられていました。しかしどうせやるなら大変でもやりたい事を貫徹しようと、それまで属していた東工大の原子核研究室の河合先生を説得して素粒子論の研究に鞍替えしました。

同じ頃東京の田無に在った東京大学原子核研究所（核研）に帰って来られた藤川さんに弟子入りしようと河合先生と当時核研の理論主任だった丸森先生にお骨折り頂きました。当時は日本ではまだポストクのシステムがあまり整っておらず、博士課程終了後職がない場合はなんとかアルバイトで食い繋いで将来の可能性に備えてる若手研究者があちこちに沢山おりました。そんな中で核研は領域一つづつにポストクポジションを持ち、まだ職の無い若手研究者にとって暖かく受け入れてくれる大事な役割を果たしている研究所でした。

そんな環境に学生として入って行った私は研究テーマを選ぶに当たって、それまであれこれ自分で考えて試行錯誤してきた中で、より原理的な素粒子の理解をしたいとの願望は有るものの、まず実態としての素粒子という物質に手を触れてみたいと考えました。またこの頃（1974）はチャームクォークの束縛状態である J/ψ メソン（3.1Gev）が発見された時であり現象論が大注目を浴びている時期でもありました。そんな中で電子・陽電子消滅散乱で重心エネルギー 3.6GeV 近辺で電荷を持つ粒子のエネルギーの割合が急に減少する現象が観測されていました。それは重いレプトンのチャンネルが開けニュートリノがエネルギーを持ち逃げするからでは無いかと計算を始めていました。そんな中でスタンフォードの電子・陽電子消滅散乱の線形加速器で 24 イベントの電子+ミューレプトンが生成され他の粒子の見えないイベントが見付かったとのファックスによる未確認情報を得て多めに気を良くし重いレプトンの計算を進めました。この研究は藤川さんとの共同研究で PRL に出版されました。論文のタイトルに "Energy Crisis and Heavy Lepton" という当時の中東のエネルギー危機の世相を反映したキャッチーなタイトルをつけた事は印象深く記憶に刻まれています。こうして関連する幾つかの仕事をまとめ博士論文（1976）としました。これらの仕事は後に質量 $3.6/2=1.8\text{Gev}$ の重いレプトン τ の発見初期に関わった計算になりました。こんな風に新しい現象論の創生期にその歴史的発展を見れた事は後の研究を進める上での

大きな糧になりました。

この頃 (1975) 京都の基礎物理学研究所と核研で新粒子 J/ψ に関しての国際ワークショップが有り、重いレプトンに関して話す機会を与えられました。その会議に出席していたドイツ・ハンブルクの DESY の実験屋さんの Wiik 氏から声をかけられ、フンボルト財団の奨学生として DESY に来ないかとのお誘いを受けました。核研の藤川さんと寺沢さんはアメリカ帰りの新進気鋭の研究者で我々にも外国に行くチャンスを得ることを啓発してくれていました。特に寺沢さんには外国での研究者の生活、研究スタイル、心構え、等の全般を教えて頂きました。この頃外国に行くポスドクは受け入れ先としてシカゴ大学の南部先生、コーネル大学の木下先生と東大本郷系列が主流で他に見当たりませんでした。そこで新たなチャレンジとして DESY へのポスドク応募の準備を進めました。

博士課程終了後核研のポスドクに着くのが自然な流れでしたが、その職は友人に譲り学振のポスドクを取り、受け入れ先を KEK の菅原さんをお願いする事にしました。その頃 KEK の理論部は設立されて間も無い頃で 5 人のスタッフ (川口、菅原、荒船、小柳、福来) が居られ、私は KEK の初代のポスドクになりました。この頃私は既に既婚で妻の仕事場所の関係で別居生活をして KEK のゴルフ塔 (KEK はゴルフ場の跡地に建設された) に住んで週末相模原に帰る生活を送っていました。当時も結婚に対する一般的な考え方は、職を得てから結婚するというものでした。研究職を得るのが大変難しい時代でしたが、職を得るまで待つという考え方を取らないチャレンジを試みようと思った訳です。

KEK に移ってからは重いレプトンの研究を続けながら、弱い相互作用を含む現象論的発展に注目して現象論と理論発展の関係の認識を深めていきました。新しいチャームクォークが発見され重い 3 番目の τ レプトンの存在も確立しつつあり、“いったいクォークとレプトンはいくつあるのか?” という疑問が自然な疑問として認識されてくる訳です。そんな中で CP の破れを自然に生じる為には、6 つのクォークが必要であるとの小林・益川理論はこの頃既に注目されています。正に慧眼というしか有りません。またその頃弱い相互作用の中性カレントの存在は現象論的に確立しつつあり、ワインバーグ・サラム模型に有利な証拠が整いつつあるものの、ゲージ群の構造、クォークとレプトンのマルチプレットの組み方、カレントの構造に関して色々な提案がなされつつ有り、正にグランドユニフィケーション (GUT) の狂乱に入る前夜の様相を呈していました。

こうして約 10ヶ月の KEK 滞在中フンボルト奨学生としてドイツ・ハンブルクの DESY の理論部への移籍の準備をし渡欧 (1977年2月) しました。フンボルト奨学生は、初めの4ヶ月間ドイツ語の研修を義務付けており、ハンブルクの南 60km に有るリュネブルク

のゲーティンスティチュートでドイツ語会話の基礎からの教育を受けました。約 20 人のクラスに国籍の違いが 10 位の構成員で主に 20 歳位の若い人達と一緒に授業を受けるのは新鮮な経験でした。ただ 4ヶ月間も研究所に通えずホームステイで毎日ドイツ語のみの生活に不安になり中古の自動車を日本の実験屋さんから譲り受けて、3ヶ月目にゲーティンスティチュートを抜け出してリュネブルクから車でハンブルクに通いました。この事が DESY の理論主任のハンス・ヨース氏に知れてひどくお叱りを受けました。

ゲーテでの語学研修も終えやっと DESY の理論部に部屋を与えられ落ち着く事が出来ました。宿も研究所から歩いて 10 分程の距離で、ゲーテの後半からは妻も加わって新たなドイツ生活が始まりました。研究所での生活は新しい経験の連続でした。その頃ポストドクとして DESY の理論部にいたドイツ人のシアホルツ氏とケルナー氏とは親しくなり、色々ドイツ生活の助言を頂きました。DESY のポストドクを経由してビーレフェルトに移っていた黒田正明氏にはドイツ文化の楽しみ方を色々教えて頂きました。また理論の現象論のリーダーだったトム・ウォルシュ氏とは初めの頃色々議論をさせて頂きました。

ここで私が直面した問題はどの路線で研究を進めるかという事でした。理論部に着任して暫くして、理論部のセミナーをする機会を与えられました。スタンフォード (SLAC) とブルックヘブンのチャームクォークの発見から 2 年が過ぎ、DESY の電子・陽電子消滅散乱の加速器の稼働を成功させた実験グループは次の物理の成果を求め積極的に活動していました。そんな中での私の重いレプトンのセミナーは注目を集め多くの実験屋さんが聞きに来てくれました。実際その後実験グループの PLUTO が重いレプトンの崩壊から正のパリティを持つ A_1 ベクターボソンを発見した時、崩壊のプログラムコードを提供して貢献しました。この頃の DESY の実験グループの成果の主要ターゲットはグルオンジェットの実験的確立にありました。DESY の理論グループは協力してこの動きに対応し QCD のグルオンジェットの確立に貢献しました。私も共同研究に加わる様に間接的な誘いを受けました。

当時 DESY のライブラリはプレプリントが充実していて、世界の研究の動向を確実に捉える事ができ、コピーも自由に出来る良い環境の中で自分の進むべき方向を探していました。重いレプトンの現象論の研究も積極的に進めており最先端の電子・陽電子消滅の実験が行われている環境にいる身としては、現象論の研究を更に進めるのが一番自然にみえました。しかしここで次の様に考えました。重いレプトン τ の更なる発展の研究は理論的な側面からは数年で収束するだろうと予測しました。その理由は τ が sequential lepton (電子と同等で質量が大きいだけの違い) で有るため解析が容易で有る事。またグルオンジェッ

トの理論計算も同様に数年で収束しどちらも実験サイドのテーマとしては発展するであろう。しかしどちらも5年先に理論サイドの主要テーマとしては注目されないであろうと予測した訳です。

一方新粒子の発見 (c -クォーク、 τ -レプトン、 b -クォーク (1977)) により勢いづいたモデルビルディングの研究は百花繚乱の時代を迎え可能な限りのバラエティーの模型が提唱され、実証実験の実現の可能性に関係無く、予言も多岐に渡っていました。特に電子・陽電子消滅散乱の全断面積から強い相互作用のカラーの自由度が3と確定した事から強い相互作用のゲージ群がSU(3)に確定し、電弱相互作用に加え強い相互作用まで含めた大統一理論 (GUT) の研究が盛んに行われる様になりました。そんな研究の発展を横目で見ながら、手を変え品を変えの安易な模型の提案の研究スタイルに違和感を覚えていました。実際ずっと後の発展を見ると電弱相互作用の群は元々のワインバーグ・サラムのSU(2)XU(1)で落ち着き、GUTが正しいとすると陽子崩壊が必然的に起こりうるとの予言が主な成果として収束しました。

重いレプトンの一連の研究で素粒子の一つを手にとって色々調べることが出来た感覚を得たので、今度は強い力のダイナミカルな側面を場の理論としてどう理解するかを考えてみようと思う様になりました。特にクォーク・グルオンは高エネルギーでは漸近的自由に振る舞い低エネルギーではクォークの閉じ込めが起こる事をどう理解したら良いのか。

こうして私は誕生間もなくまだポピュラーで無かった格子ゲージ理論に興味を持ち勉強を始めていました。特に1975年のケン・ウィルソンのエリーチェのレクチャーノートに感銘を受け関連論文を読み漁りました。この方向の研究を進める事により、いずれハドロンの質量が計算できるのはでないかとの直感を得ていました。ある日昼食時の議論で理論の現象論のリーダーのウォルシュ氏と議論になり「遠くない将来にハドロンの質量が計算できるようになるだろう」と私が発言したところ、彼は「パイメソンの質量は50年経っても計算出来ないだろう」と言い切りました。そこでどっちが勝つかビール1ダースを賭けたのを覚えています。一般にはこの様な認識でした。

重いレプトンの現象論の研究から、全く新しい理論的研究に足を踏み入れるのに随分戸惑いもありました。ドイツ人の友人 (ケルナー氏) にある時、現象論の研究からより理論的な格子理論の研究に移ることをどう思う、と率直に質問した事がありました。彼の返答は「僕が君くらい若かったらチャレンジしてみる。」との返答でした。この会話には随分勇気づけられた事を記憶しています。後から考えてみるとこの時の決断が重要な分岐点になりました。

新しい分野に分け入るに当たって近くにその分野の専門家がいる訳でもなくもっぱら一人で関連論文を読み、研究テーマを探して試行錯誤する毎日でした。DESYの同じ建物の上階にハンブルグ大学の素粒子の第2研究室が有り、そのスタッフのゲルハルト・マック氏に何度か議論して頂きました。また同じ階に居た場の理論の大家のツィマンジック氏に議論をお願いした事もありました。こうして現象論の研究からより理論的な研究に移行するにはリスクの伴う大きなエネルギーが必要でした。最大のリスクはポストク一年後は次の職探しに応募しなければならず、分野の大転換には時間が必要で次の論文が短い間に準備されにくいという問題が有ります。そこで新たな分野で問題を見つけ、何とか解決するのに必死になる訳です。

格子ゲージ理論ではクォークの閉じ込めを議論する為にウィルソンループをオーダーパラメーターとする相転移の概念が導入されました。ゲージ場を格子に乗せると強結合領域ではクォークの閉じ込め相が現れ、弱結合領域では群構造により、閉じ込め相に留まるか、クローン相、ヒッグス相になる事が予言されました。ならば”フェルミオンを入れたら一体相図はどう変化するのだろうか?”との疑問に至りました。ウィルソンのフェルミオンの伴う格子ゲージ理論の作用には、ホッピングパラメーター K が導入されていますが、ゲージ結合定数 g^2 と K の空間で相図がどうなるかを解析的に調べるという問題を設定した訳です。(この研究が素粒子メダル推薦の初めの論文です。)

ウィルソンループをどの様にしてゲージのプラケット作用が満たしていくか。メソンの2点関数はクォークと反クォークのランダムウォークのウィルソンループの足し上げの描像として捉えられ強結合展開を試みました。特に弱結合領域ではクォークは漸近自由に振る舞い $K = 1/8$ ($g^2 = 0$) でクォークの質量は0になる。強結合極限で π -メソンの質量を計算して0になる点は $K = 1/4$ ($g^2 = \infty$) となり、この二つの極限は繋がっており、この曲線上でカイラル対称性が自発的に壊れる事を指摘しました。ずっと後になって格子ゲージ理論のモンテカルロによる数値計算ができる様になってから、この指摘が正しいことが数値的に示されました。

こうして論文を執筆して、出版する以前に次の職を探す時期に至りました。論文が仕上がってないからピンチです。応募書類には研究中的内容と研究計画を詳しく書いてアピールしました。するとアムステルダム大学から研究中的の中身のセミナーをしに来るように招待されました。同様の研究テーマに興味を持つ研究者が居るとの事でした。それが後に共同研究者になるヤン・スミット氏でした。幸運な事にこの状況で私をポストクとして受け入れてくれました。

ハンブルグ滞在2年目、我が家に長女が生まれました。次の職探しで大変な時期でしたが、出産に関しても条件が整ってからという方針は取らず、喜んで受け入れる方針を取りました。その為引越し荷物が少し多めになった為ハンブルクからアムステルダムへの引越しには小型トラックをレンタカーして荷物を運びました。借りたレンタカーをハンブルグに戻って返して、自分の車でもう一度アムステルダムに引き返す時、ドイツ・オランダの国境で夜中の12時を過ぎて、丁度ドイツ滞在ビザが切れてしまいました。当時はまだ国境が有り、通貨の単位も国によって違っていました。国境警備隊に捕まり、警備隊の山奥のアジトに連行され尋問され指紋を注意深く取られました。当時私は長髪で私が連合赤軍の兵士の一人に似て居ると認識された様です。暫く調べられやっと解放され新しい新居に戻りました。当時日本とドイツの学生運動の連合赤軍兵士が共闘して幾つかの大きな社会問題を引き起こしていました。

私はアムステルダム大学の一角に自分のコーナーを得て落ち着きました。これまで一人で試行錯誤してきた研究を理解してくれる議論の相手のヤン・スミット氏が出来たことは大きな喜びでした。まだ未完成だった論文を何とか仕上げ投稿しました。ところがレフリーからは審査辞退の返事が届き、次のレフリーも又審査辞退で更に次のレフリーに回り「価値のある論文」との評価を頂き出版されました。問題を設定してからここに至るまでに約3年かかりました。(私にとって記念碑的論文を素粒子メダルで評価して頂き嬉しく思います。) ヤン(スミット)はこの頃、学生のカールステンと後になって有名になる格子アノマーリーを調べていました。

アムステルダムに来て暫くしてモンテカルロによるウイルソンループのSU(2)格子ゲージ理論による数値計算のクロイツの論文を見つけショックを受けたのを良く覚えています。これでハドロンの質量が数値的に計算出来ると確信しました。このクロイツのモンテカルロ計算の成功に注目してサンタバーバラで格子ゲージ理論の国際会議が開かれる事になりました。是非出席して発表もしたいと思い西回りで日本に里帰りをする地球一回りコースの旅を企画しました。パンナムの80日間世界一周1000ドルという企画を利用し、ニューヨーク、ウイスコンシン、ミネソタ、ロサンジェルス、サンタバーバラ、ハワイ、東京と周り、里帰りをしました。この旅の間に5箇所セミナーをさせて頂きました。

サンタバーバラの国際会議は後に格子ゲージ理論の国際会議として毎年開かれている会議の初回と位置付けられた重要な会議でした。ウイルソンの基調講演が有り、クロイツのモンテカルロによるウイルソンループの計算の成功は大きなインパクトを与え格子ゲージ理論によるハドロンの質量計算を含む強い相互作用の物理の本格的な数値計算の到来を予

言させるものでした。

この頃私はウィルソンの格子ゲージ理論の定式化に基本的な疑問を抱えていました。それはホッピングパラメーター K は $K=1/8$ ($g^2 = 0$) から $K=1/4$ ($g^2 = \infty$) に移動する間にルッシャーのユニタリーバウンド $K=1/6$ を超えてしまうのをどう考えたら良いかというものでした。この疑問をサンタバーバラコンフェレンスの時にウィルソンに議論として直接ぶつけてみました。するとウィルソンは取り敢えずその疑問は置いておいて、強結合領域でうまくいっているか、ハドロンの有効相互作用を導いてみたらどうかと勧めてくれました。つまり弱結合領域で予想されるカイラル対称性の自発的破れが、強結合領域で起こっているかを強結合極限で調べる事に対応する訳です。

アムステルダムに戻って早速議論を続けました。元々ヤン（スミット）と私は強結合領域でのメソンの振る舞いを、それぞれハミルトニアンとラグランジアンで調べていました。そこで強結合極限、 $SU(N)$ の $N \rightarrow \infty$ でのメソンの有効作用を解析的に導きました。特にウィルソンの格子フェルミオンに対してウィルソン項のない場合のスタaggerドフェルミオンの導出も与えました。この定式化は後に格子フェルミオンの定式化として広く使われています。そこではクォークの質量とパイメソンの質量の関係が明確になっており、強結合極限ではありますが期待される自発的対称性の破れのメカニズムが成り立っている事が具体的に示されました。（素粒子メダル推薦二つ目の論文）。その後この定式化はバリオンを含む系にも拡張されました。アムステルダムでは共同研究者も得て、研究も進展して充実した研究生生活を送ることが出来ました。

こんな事も有りました。ある日私の雇い主であるボウトハウゼン教授に呼ばれ部屋に伺うと、高齢（80歳）のディラックがおられ古い自分の理論の重力定数の時間依存の可能性の話を説明していました。その晩私とディラックは晩飯に招待され、ディラックとゆっくり話すことが出来ました。若い頃、ハイゼンベルクと二人で日本を訪れたことを懐かしく話してくれました。こうして世紀のレジェントに会う光栄に浴しました。

次の職を探す時期がやってきました。前回の苦労した経験から多くの場所に応募をし、積極的にセミナーをして回りました。その頃アムステルダムの隣町のユトレヒトで佐々木隆氏がポスドクをしていました。彼はニールスボーア研究所（NBI）を経てユトレヒトに来ており、トホーフトの居るユトレヒトでワークショップがあった折、出席していたNBIスタッフに私を紹介してくれました。そこで私はポールオルセン氏に当時の研究成果をアピールしました。その様な事も有り、ニールスボーア研究所のポスドクとして受け入れて頂きました（1981）。

この頃、当然の事ながら数少ない公募のある度に、日本の大学及び研究所の職に応募しており、落選し続けていました。そんな中で感じていた事は日本に職を得るのは絶望的かもしれないが、ここまで努力しても最終的に希望の職を得られなくて、転職したとしても本望であると。この先徹底的に挑戦し続ける覚悟が芽生えたのを記憶しています。

こうしてニールスポーア研究所 (NBI) での新しい生活が始まりました。この研究所は言わずと知れた、デンマークの誇るニールスポーアに因んで創設されたコペンハーゲンの研究所で、ニールスポーア時代の親しみやすい交流の雰囲気が残っていて、街の雰囲気も含めたちまちま気に入ってしまいました。ニールセン、オルセンと気軽に議論が出来る事は、研究者として大きな喜びでした。特にニールセンには時間制限無しの議論を何度もして頂き大きな影響を受けました。NBI のポストク終了後も何度もこの研究所に帰って来て、議論をしニールセンとも共同研究を行った事は如何にこの研究所が私に取っても魅力が有るかを示すものです。

私と同時期に日本から重本和泰氏がポストクとして来られ自然な流れで一緒に共同研究を始めました。ヤンの学生のカールステンが NBI に格子カイラル異常項に関してセミナーに来て、ニールセンの鋭い洞察により発展した格子カイラルフェルミオンの問題はその後収束期にありました。我々は格子カイラル異常項の本質的理解を得ようと数値計算を試みました。我々はラグランジアンでアプローチしましたが、同僚のポストクグループと競争になりアンブヨン、グリーンサイト、ペターセンの米・北欧艦隊はハミルトニアンで定式化を試みました。研究は時として競争で有り、戦いである事を実感した経験でした。

またこの頃ハドロンの質量計算はモンテカルロの数値計算で試みられつつありましたが、解析的には行われていませんでした。そこで強結合極限 (ランダムウォーク近似と呼んだ) で、電卓でメソンとバリオンの質量を定量的に計算しました。c-クォークまで入れたメソンの質量は 10 パーセント以内に合う値が得られ、バリオンは約 2 倍になりました。ほぼ同時期に得られたモンテカルロによる質量計算の値は良い値を与えましたが、後にクリティカルスローイングダウンが起こっている為、信頼性に欠けるものであった事が明らかになりました。

その後共同研究にダムガール氏も加わり、強結合極限で有限温度、有限密度の QCD の有効相互作用を導き有限温度系に相転移が起こることを解析的に示しました。またフレーバーの自由度による依存性も調べました。またフェルミオンを導入した改良作用としては初めての提案を、その頃 NBI にビジターで滞在した江口氏との共同研究で行いました。この時期には格子ゲージ理論関連の諸問題にアプローチしました。

こうして次の職探しの時期に至りましたが、有難い事に一年延長して同じ NBI 内に有る、北欧共同利用研究所（NORDITA）に職を繋いで頂きました。その滞在の最後に京大の理学部素粒子論研究室から助手のオファーを受けて晴れて、帰国することが出来ました（1984）。

帰国 2ヶ月前には二人目の女の子を授かりました。私のヨーロッパでの生活は家族を伴ったものでした。ポスドク仲間、研究所・大学のスタッフ、ビジターとの交流は頻繁に行われ、日本の習慣と違い自宅に招いてパーティ形式で行われることが多く有りました。お返しでこちらがパーティをする機会も多く、強力な妻のサポートがヨーロッパでのポスドク生活を豊かにしてくれました。

こうして私の 7 年半にわたる北ヨーロッパ、ポスドクの旅は終わりました。

2023年1月25日

北海道大学大学院理学研究院・名誉教授

河本昇