



河合光路氏を偲んで

半古典的歪曲波模型の研究をめぐる回想

九州大学
大学院総合理工学研究院
渡辺 幸信
watanabe@aces.kyushu-u.ac.jp

九州大学名誉教授の河合光路先生が2021年7月23日にご逝去されました。享年90歳。2017年5月に、緒方一介氏（阪大RCNP）、A. Antonov氏（ブルガリアINRNE）、私の3人でご自宅を訪問し、先生ご夫妻を囲んで歓談して以来、暫くご無沙汰しておりました。7月26日に上村正康先生（九大名誉教授）からメールを頂戴し、河合先生の訃報を知りました。

河合先生は、核反応理論をご専門とされて、当該分野における顕著な業績を数多く残されています。その一端を垣間見るためには、日本物理学会誌の解説記事「核反応理論の発展の一断面」[1]が参考になると思います。核反応理論の歴史的な進展の中で、先生が長年に亘って取り組まれた光学模型、DWBA、チャンネル結合法、前平衡過程等の研究を概観することができます。

ここでは、多段階直接過程の半古典的歪曲波模型（SCDW）の研究を中心に、思い出話やエピソードを交えながら先生のお人柄や業績を偲び、ご冥福をお祈りしたいと思います。

私の記憶の中に河合先生が登場されるのは、九大工・応用原子核工学専攻の大学院生時代に、先生の講義（理学部物理学科で開講されていた原子核物理学）を拝聴した1985年あたりからです。その当時の私は、応用原子核工学・隈部研究室の一学徒として、理論・実験両面から20 MeV以下領域の核子入射前平衡反応の研究に打ち込んでいました。4年生で研究室に配属された1982年頃の隈部研では、修士課程の先輩がFeshbach-Kerman-Koonin (FKK) 理論を14 MeV (n,n') 二重微分断面積計算に適用する試みをしていました。一段階過程計算はうまく行ったのですが、二段階過程の断面積計算をすると、標的によっては特定の放出エネルギーで共鳴的に大きくなる結果が出て悩んでいました。隈部先生が河合先生に相談、多段階直接過程の定式化の問題点を指摘され、FKK論争（中間状態の遷移行列

要素は DWBA 形式と非 DWBA 形式のいずれが正しいか?) に発展しました。なお、FKK 論争につきましては、核データニュース 1992 年 No. 43 の筆者解説記事 p.21 をご参照下さい。FKK 理論を通じて隈部研と河合先生の交流はありましたが、直接先生と面識ができたのは、上述の原子核物理学の授業に参加してからになります。

私が博士学生の頃、河合先生は中国留学生の羅躍龍 (Y.L. Luo) さんの博士論文指導をされ、Luo-Kawai 模型 (SCDW 模型の 1 段階過程版) の研究を開始していました。先生が 1962 年に Progress of Theoretical Physics 誌に発表された「中間エネルギーにおける核反応に対する半古典模型」を拡張した非弾性散乱連続状態遷移の直接過程模型です。羅さんが学位取得後帰国するので、その研究を引き継いで、共同研究を始めないかとのお誘いがありました。私の方は博士号取得後、二年間の工学部助手時代を終え、筑紫キャンパスにある大学院総合理工学研究科 (総理工) の講師昇任 (1990 年 5 月) が決まっていた時期で、新規テーマの研究を始めたいと模索しておりましたので、先生のご提案に飛びついた次第です。これが河合先生との SCDW 共同研究の始まりです。まずは羅さんの計算コードを譲り受け、その解読作業とコード整備をしながら、計算対象の反応を広げてその適用性を調査することから始めました。翌年、河合先生はハイデルベルクに滞在され、H.A. Weidenmüller 氏との共同研究として二段階過程断面積の計算を定式化されました。帰国後は、私の研究室の学生達の協力を得て、多段階過程計算用に計算コードを拡張する作業に着手しました。多重積分の効率的な数値計算手法を検討する中で、先生から準乱数多重積分法の適用を提案され、本手法に詳しい赤石義紀氏 (東大核研) に連絡を取られ、そのノウハウを入手、さらに並列計算法を導入することで、現実的な計算時間内に三段階過程までの二重微分断面積を計算することに成功しました。また、この時期、核内核子の有効相互作用に詳しい河野通郎氏 (九州歯科大) に協力を依頼され、媒質効果を考慮した 2 核子散乱断面積を SCDW 計算に導入することにも注力されました。

1994 年 3 月に九州大学を定年退官された後も、河合先生は精力的に SCDW 研究を継続し、1997 年以降は 2 名の大学院生の研究指導にご助力頂きました。1 人は、総理工・博士後期課程の国費留学生だった孫偉力氏 (現、北京応用物理計算数学研究所 IAPCM)、もう 1 人が九大理・核理論研究室の大学院生だった緒方一介氏 (現、阪大 RCNP) です。孫氏は、Wigner 変換を適用して、局所フェルミガス模型の波動関数をより現実的な波動関数に置き換える SCDW 計算を担当し、一方、緒方氏はスピン観測量の計算への拡張をテーマにした修士・博士論文研究に従事されました。先述の河野氏を含めた SCDW 研究チームが数々の成果を発表していた時期で、私にとっても充実した研究生活を送ることが出来ました。この頃は、月 1 回程度のペースで、核理論研究室の談話室をお借りして研究の進捗確認の打合せを行っていました。いつも温和な表情で学生達の進捗状況報告を聞きながら、黒板に向かって数式を展開し、わかりやすく丁寧にご指導される先生のお姿が思い出されます。打ち合わせ中に解決できなかった課題は、数日後には回答ファイル添付のメールが

届いて、いつもの確なアドバイスを頂いておりました。2000年以降は、冒頭に登場しましたブルガリア INRNE の A. Antonov 氏の愛弟子である M. Gaidarov 氏が JSPS 外国人特別研究員として滞在して、SCDW 研究チームに加わり、東欧ブルガリアの研究者との交流（河合先生も2度、ブルガリアでの研究集会に招待されています。）を行った時期でもありました。



写真1 河合先生、M. Gaidarov 氏、奥様、筆者（先生のお宅にて）

先生が SCDW 研究に取り組まれていた 1980 年代後半以降は、高エネルギー核データ評価にも関連して前平衡多段階過程の研究が盛況でした。核内カスケード (INC)、量子分子動力学 (QMD)、反対称化分子動力学 (AMD)、先に述べた統計的多段階反応理論である FKK 理論、Tamura-Udagawa-Lenske (TUL)理論、Nishioka-Weidenmüller-Yoshida (NWX) 理論等が登場し、核データ国際会議も含む国内外の研究集会やセミナーで、それぞれの研究成果に対する熱い議論が繰り返されていました。その中でも2つの国際シンポジウム (Pre-Equilibrium Reactions, Smolenice Castle, Slovakia (1995), Open Problems in Quantum-Mechanical Approaches to Multistep Direct Nuclear Reactions, ECT*, Trento, Italy(1998)) に河合先生に同行して参加したことが思い出されます。穏やかで真面目なお人柄の先生を慕って、多くの研究者が先生のもとに集まり、真摯に議論される姿を目にしました。その輪の中に加わることで、私にとっては、関連分野の著名な研究者達との面識ができる絶好の機会となりました。こうして知り合った海外研究者の中で忘れてはならないお一人が P.E. Hodgson 氏 (Oxford 大) です。1990 年以降、河合先生を訪ねて4回も九大に来られています。1997 年の来福の際は、河合先生と相談して、熊本県天草への1泊2日の小旅行を企画しました。天草と言えば、隠れキリシタン関連の教会や施設 (2018 年ユネスコ世界遺産に登録) が点在しています。歴史や文化全般にも博識である先生は、私が運転する車の後部座席で

Hodgson 氏と隠れキリシタンの歴史についてずっと語り合っていたことを、当時のスナップ写真を見ながら、鮮明に思い出しました。Hodgson 氏も 2008 年に他界しており、今頃、何処かで再会を果たされているのかもしれませんが。両先生の柔らかな笑顔が思い出されます。



写真 2 天草小旅行の 1 コマ (河合先生、P. Hodgson 氏)

先生は、核データはもちろんのこと、原子核工学全般にも関心を持たれていました。DWBA 計算コードの開発に携われたご経験から、研究者が開発した計算コードはしかるべき機関で管理して、広く共同利用に供した方がよいと常々言われておりました。NEA データバンクや RIST の活動の例を挙げて原子力分野の状況を説明しますと、その意義を認め高く評価して頂きました。先日研究資料を整理している際に、学生時代に聴講させて頂いた原子核物理の講義ノートを見つけました。初回講義のページに、「(河合先生曰く、)核融合炉の実現は、(地球に太陽をつくるという意味で) 文化的事業としては面白い。」というメモ書きを見つけました。その後共同研究を続ける中で、核融合炉用核データ、特に Li の中性子入射分解反応によるトリチウム生成についても色々と議論させて頂きました。さらに、原子炉施設は大型化ではなく、小型にして複数設置する方が良いのではないかと、しばしば言われていました。近年、小型モジュール炉 (SMR) が注目されている状況を先取りされていたかもしれません。



写真3 Varenna 会議にて [2]

先生と SCDW 共同研究を始めて以来、約 30 年の歳月が経過したことになります。この間の先生との思い出は尽きません。本追悼記事を準備する中で、共同研究開始当時、先生は還暦になられたばかりだったことに初めて気づきました。実は私も昨年末に同じ齢となったこともあり、この 30 年間の記憶を感慨深く辿ることになりました。総理工に異動になった頃だと記憶していますが、先生から “Nuclear Physicists be Glamorous! (原子核物理研究者よ、魅力的であれ)” というお言葉を頂戴しました。そのフレーズを実験室の壁に大きく掲げて、自らを鼓舞しながら、学生達と原子核物理・核データ研究に邁進していた 1990

年代を懐かしく思い出しました。今一度、この言葉を現研究室の学生達とも共有し、先生からご教授頂いたことを伝えながら後進の育成に尽力して行きたいと、耳順の節目に気持ちを新たにしました次第です。

最後になりますが、これまでの先生のご指導ご鞭撻に心より感謝申し上げ、あらためてご冥福をお祈り申し上げます。

[1] 河合光路、「核反応理論の発展の一断面」、日本物理学会誌 Vol.51 No.11 (1996) 799-805 (https://www.jps.or.jp/books/50thkinen/50th_11/003.html).

[2] A. Антонов, “Професор Митцуи Кавай”, the BG Journal “World of Physics”, Nr. 4 (2012) 478-479 (http://wop.phys.uni-sofia.bg/digital_pdf/wop/4_2012.pdf#page=98).