

## 13<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms

GSI Helmholtz Center for Heavy-Ion Research

Darmstadt, Germany

Extreme Matter Institute

岩田 順敬

y.iwata@gsi.de

### 1. はじめに

Varenna Conference on Nuclear Reaction Mechanisms (ヴァレンナ会議) としても知られるこの会議はイタリア・ヴァレンナ (Varenna) の Villa Monastero で3年に一度行われている。広く核反応メカニズムについて、様々な手法や興味を持った研究者が一堂に会して議論するというに加えて、ヴァレンナという田舎町の佇まいがこの会議のもつ独特の雰囲気の特徴付けている。もとはミラノ大学の主催で会議が行われていたが、現在ではスイスの欧州原子核研究機構 (CERN) とアメリカ合衆国のロスアラモス国立研究所 (LANL) との共催という形で、この伝統ある会議が引き継がれている。回を重ねて13回目にあたる今回は2012年6月11日から6月15日にかけて開催され、世界各国から105名の研究者が参加した。近年では核反応の分野を牽引する役割を果たして来られた先生方を、会議に招いてお祝いするというのが通例となっている。今回はArthur Kerman先生 (マサチューセッツ工科大学) と河合光路先生 (九州大学) の核反応分野への永年にわたる功績を讃えて、6月13日に特別セッションが設けられた。6月12日には、会議場のある Villa Monastero に隣接する Villa Cipressi で、同会議では恒例となっているワインパーティー (参加者が各国から持ち寄ったワインの味を競うコンペティション) が開かれた。

### 2. ヴァレンナ

ヴァレンナの町は北イタリアのコモ湖畔にある。山から流れこんでくる冷たく澄んだ水を湛えるコモ湖一帯 (写真1-a) はヨーロッパでも有数の保養地として知られる。ミラノ中央駅から最寄りの Varenna-Esino 駅まで在来線で約1時間と都会からのアクセスは良いのだが、町の人口は1000人弱と少ない。まさに“都会の喧騒を離れて”といった形容がしっくりとくるような落ち着いた町である (写真1-b)。山々から湖へと続く急な傾斜

の端に位置する半島部に造り上げられた町には無数の坂道と階段があり（写真1-c）、それらが迷路のように入り組んだ街並みには一見の価値がある。湖の対岸へむかって北西に数10 kmも行くとスイスとの国境がある。そのこともあって、ヴァレンナではスイスとイタリアの双方の雰囲気を感じることができる。実際、湖畔からコモ湖の方に目をやると6月でも遠景には冠雪したアルプスの山々を眺むことができる一方で（写真1-d）、町中にあるレストランのほとんどはイタリア料理屋で、メニューにはパスタやピッツアが並んでいる。ヴァレンナ特有のどことなく上品な雰囲気と親しみやすさにはそういった地理的条件も関係しているのかもしれない。



写真 1-a コモ湖（ヴァレンナより）



写真1-b ヴァレンナの町の全景



写真 1-c 町中の階段



写真1-d ヴァレンナの港  
(対岸へのフェリーが発着)

写真 1 ヴァレンナの風景（2012年6月）

Villa MonasteroにあるFermi Roomで会議が行われた。このVillaの一部は国際会議場になっており、特にFermi Roomという会場の名前は原子核物理学を含む物理学全体に多大な功績を残したイタリア人物理学者エンリコ・フェルミ (Enrico Fermi) が実際にこのVillaで1954年の夏に「Pions and nucleons」と題する講義を行ったことに由来している。1953年以降、伝統的にイタリア物理学会の主催による国際サマースクールが行われており(写真2)、ヴァレンナは多くの物理学関係者にとって特別な場所となっている。



写真2 (Alex Brown氏の御厚意による；今回の会議中に同氏がこの写真を紹介されたことを契機に提供を依頼した) 1976年にヴァレンナで開かれたInternational Summer School of Physics “Enrico Fermi”での集合写真より。後列の最左にはKerman氏がいる。続いて左から順にBroglia氏、Bohr氏、Talmi氏、Mottleson氏、Wildenthal氏といった錚々たる面々が並んでいる。前列中心にいるのが、この写真を提供してくださったBrown氏である。

### 3. 会議の概要

核反応メカニズムという主旨で最新の研究成果について90件程度の発表があった。主催者から提示された主要な議題は次のものであった(会議のウェブページより転記)。

- ・核子・原子核の応答
- ・核子の非弾性散乱

- ・エキゾチック核、不安定核ビーム及び検出器
- ・超重核
- ・核分裂
- ・核データ
- ・原子核反応
- ・原子核反応の諸性質
- ・原子核反応の汎用コンピュータ・コード
- ・宇宙核物理への応用
- ・重粒子線治療への応用
- ・原子核反応に関するその他の応用全般

理論研究について基礎的な内容のものから応用を重視したものまで広汎な分野にわたって報告があった一方で、実験に関する研究報告も数多く行われた。FLUKA、PHITSなどといった汎用コンピュータ・コードを用いて行われた応用研究の成果についても報告があり、そういった研究が生物応用を含む幅広い裾野にまで広がっていていることは大変興味深く感じられた。特に高度情報科学技術研究機構の仁井田浩二氏を中心に開発されたコンピュータ・コードである PHITS を重粒子線治療・放射線治療の分野で応用された成果が海外の研究者から報告された。近年では重粒子線治療という言葉を目にする機会も増えたが、それもこの方法が癌治療において他の方法では代替できないほどの有用性・価値を持っているからに他ならない。核反応研究というと“なんだか身近な話とは考えにくい”と思われる方もおられるだろうが、こういった人命に関する最先端研究も核反応研究の重要な一側面となっている。

今回の会議は河合先生のお祝いでもあったことから、河合先生にゆかりのある方々が九州大学をはじめとした研究機関から多数参加された。そこでは特に、CDCC (Continuum Discretized Coupled Channel) 理論を用いた研究成果が数多く報告された。同理論はより複雑な量子多体系を扱い得る理論体系へと、まさに日進月歩の進化を遂げている様子がうかがえた。また  $^{31}\text{Ne}$  は変形した中性子ハローを持つ原子核として最近大きな注目を集めているが、ネオンの中性子過剰な同位体の構造を反応理論によって明らかにするという主旨での報告があった。大阪大学の堀内昶教授 (京都大学名誉教授) は軽い原子核のクラスター状態という観点から講演された (写真3)。同教授らが推進している THSR 波動関数を用いた $\alpha$ 凝縮状態に関する理論研究はよく知られている。茨城県にある高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の田中万博教授はこの会議に長年にわたって参加され常連となっておられるのだが、KEK が 2011 年 3 月 11 日の大震災からどのように復興してきたかについて震災直後からの経過を写真で示された。同教授の発表に対しては日本のすばやい復興への賛辞の意味を込めて会場中から惜しめない拍手が送られた。アメリカで

も有数の原子核研究拠点であるミシガン州立大学 (MSU) の理論グループからは、(d, p) 反応の反応機構に関する研究結果、原子核の対称エネルギーに関する研究結果、並びに二核子移行に関する研究成果などが報告された。とくに核子がペアを組んで移行する核子対移行 (pair transfer) は現在注目を集める話題の一つとなっている。また、カナダ・TRIUMF の Petr Navratil 教授からは ab-initio な軽イオン反応計算に関する結果が報告された。こういった研究手法は、時間依存密度汎関数理論による重イオン反応計算と並んで、今後ますます拡大していくものと予想される。



**写真3** 会議の様子 (Villa MonasteroのFermi roomにおいて)。  
堀内氏 (左) の発表にたいして質問するKerman氏 (右)。  
右手奥にはセッションの座長を務める河野氏の姿が見られる。

会議では核データに関する研究成果と、核分裂に関する研究のここ数年間での進展を知ることができた。核分裂に関する理論・実験研究においてはアメリカのロスアラモス国立研究所 (LANL) が世界を牽引する役割を担っている。LANLの理論グループから報告されたHauser-Feshbach理論による核分裂に関する研究は、計算コードの開発から整備まで首尾よく進められているという印象を受けた。基礎研究から応用研究までを視野に入れた研究が展開されている様子が伺えた。我々の研究との関連で言えば核分裂を微視的時間依存理論の枠組みで扱うことは容易ではないことが知られている。不思議に思われる方もおられるかもしれないが、微視的時間依存理論で核分裂を扱うことは核融合を扱うことよりも格段に難しい。また核分裂というと応用面をまずは思い浮かべられるか

もしれないが、核分裂の十分な理解を抜きにして宇宙で起こる様々な現象や天体の構造・進化を理解することはできないという意味で核分裂研究は基礎科学としての側面も兼ね備えている。そういった側面をも考慮して著者は東京大学の太塚孝治教授（[兼]東京大学原子核科学研究センター・センター長）と共同で数年前から核分裂に関する微視的理論研究についての準備を進めてきた。会議では衝突型核分裂に関する時間依存密度汎関数理論を用いた計算結果を、超重核生成という観点から報告した。この研究はドイツ・重イオン科学研究所（GSI Helmholtz Center for Heavy-Ion Research）の超重核実験グループと共同で進めている。

6月13日にはお祝いのセッションが行われた。河合光路先生のお名前は朝倉書店から出版されている『原子核反応論』の著者の一人としてご存知の方も多いかもしれない（同書は日本語で書かれた唯一の原子核反応理論に関する専門書と形容されることもある）。Kerman先生と河合先生（写真4）による講演は、歴史的な理論の進展を踏まえた包括的な内容に関するもので、聴衆にとってはたいへんよい勉強・復習の機会となった。先生方の穏やかで真面目なお人柄が感じられる講演であった。Kerman先生と河合先生とはKawai-Kerman-MacVoy（KKM）理論として知られる有名な理論を共同で構築された旧知の仲でもある（1973年）。同セッションでは、主催者の一人でもある河野俊彦氏がお祝いの意味も込めてKerman先生、河合先生の業績に関連するエピソードについて大変印象深い講演を行われた。非常にユーモアに満ちた講演で会場中が和やかな笑いに包まれた。

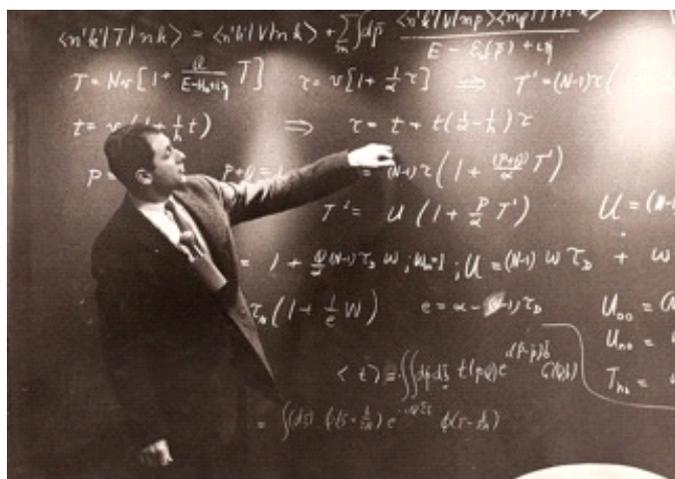


写真4（会議のウェブページより許可を得て掲載）今回の会議で功績を讃えられたArther Kerman氏（左）と河合光路氏（右）。

#### 4. おわりに

私はヴァレンナ会議に初めて参加したが、次回も参加したいと思った。そう思った理由の半分はヴァレンナという町を気に入ったからで、残りの半分は会議の主旨への賛同からである。核反応メカニズム研究の先端で世界の研究者が今どのようなことを考えているのかについて知ることができた。3年に一度という頻度も、参加者が最新の成果をフォローしていくのにちょうどよいと思う。また、これまで分野を牽引する役割を果たして来られた先生方を会議に招いてお祝いするという習慣は、他の会議にはない特徴として挙げることができると思うが、若い研究者にとって貴重な“特別講義”を受ける機会ともなっている。

核反応メカニズムについてはよく分かっていないことが多い。それは原子核という対象に備わった有限量子多体系としての奥深い多様性に起因している。実際、イオンの衝突条件（例えば、衝突エネルギー）をほんの少し変えるだけで、核反応は全く異なった様相を呈し得る。ヴァレンナ会議が核反応の基礎研究及び応用研究に関係する研究者同士の分野横断的なコミュニケーションの場として今後も有効に機能していくことを期待する。

同会議への参加を薦めてくださったLANLの河野俊彦氏に、この場を借りまして感謝の意を申し上げる。