

06-471

高エネルギー重イオン反応の研究

High Energy Heavy-Ion Reactions

高エネルギー加速器研究機構・日本原子力研究開発機構
J-PARCセンター長 教授

永 宮 正 治
Shoji Nagamiya

略 歴 昭和19年5月24日生

昭和42年 東京大学理学部物理学科卒業

◇ 47年 大阪大学大学院理学研究科博士課程修了(理学博士)

◇ 47年 東京大学理学部助手

◇ 52年 カリフォルニア大学ローレンスバークレー研究所研究員

◇ 54年 同 主任研究員

昭和57年 東京大学理学部助教授

◇ 63年 コロンビア大学物理学科教授

平成 9年 東京大学原子核研究所教授

◇ 9年 高エネルギー加速器研究機構教授

◇ 18年 高エネルギー加速器研究機構・日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター長

業績の概要

永宮正治博士は、30年前には未開拓であった高エネルギー重イオン反応の研究分野を黎明期より開拓し、これを原子核物理学の最先端の研究分野にまで発展させた国際的第一人者である。高いエネルギーをもつ原子核同士の衝突現象の解明は、それがあまりにも複雑であるため、至難の業と思われてきたが、永宮博士は1970年代からバークレーにできたベヴァラック加速器を用いて独自の研究を始め(第1期)、これをブルックヘヴン研究所において発展させ(第2期)、K中間子の発生現象における異常性を発見するなど、世界をリードする成果をあげた。さらに、同研究所に作られた世界初の重イオン衝突型リングにおいて、国際チームを率いて、高エネルギー原子核衝突現象の研究を開始し(第3期)、宇宙初期の物質創成にもかかわる重要な結果を生み出しつつある。

3期に亘る研究のうち、第1期の研究は、1970年代の半ばから約10年間、この分野の黎明期に行われた。当時、核子当り1.2GeVという高エネルギーの原子核ビーム(これを高エネルギー重イオンビームと呼ぶ)は、カリフォルニア大学ローレンスバークレー研究所のBevalac加速器でしか得られなかった。そのため、世界各地からこの研究所に研究者が集まり、初期の実験研究が始まった。博士は、激しい反応の起こる中心衝突の部分に着目し、その部分からのパイ中間子やK中間子生成を測定する実験を始めた。ほぼ独力で、当時としては大きな磁気スペクトロメーターを2年がかりで作り上げ、実験を進めた。この実験から得られた結果のハイライトは、①このエネルギー領域では、入射

原子核が標的原子核によってカミソリで削ぎ取られるような核切断反応が起こること、②中間子や核子のスペクトルは指数関数型のエネルギー分布となるが、その傾きは粒子によって異なること、③重粒子や ^3He といった複合核は、併合過程(coalescence)と呼ばれる二次的反応で形成される、等であった。これらの結果は、文献1)に詳しく報告されている。当時、このエネルギー領域の重イオン反応では、何が起こるかを示唆する理論のガイドもなかったもので、実験結果が提出された直後はすべてが驚きであった。永宮博士のグループによる一連の実験結果は、この領域の反応機構を明確にしたという点で評価でき、その後に展開する研究のさきがけとなった。当時、この分野の実験者数は高々数十名と少なく、実験グループも数少なかった。永宮博士は実験のスポンサーとなって、この分野の立ち上げに貢献した。当時のBevalac全体のレビューは、文献2)にまとめられている。

Bevalacでの実験結果が、そのままパズルとして残り、10年後位に解決したものもある。たとえば、上記②の「傾き」の違いであるが、この原因は、衝突によって圧縮された原子核物質がその後爆発現象を起こすためであることが、1990年代半ばに決着した。

第2期の研究は、1980年代の半ばから米国ブルックヘヴン研究所のAGS加速器を用いて行われた。この頃には、米国とCERNにおいて重イオン加速が始まり、実験者数も一挙に500名程度に増えた。永宮博士はAGSにおける最初の重イオン実験のスポンサーとなり、約50名の日米混合実験チームを率いて研究を開始した。AGSでは核子当り15GeVの重イオンビー

ムが加速され、このエネルギーでは、原子核物質が通常原子核の数倍から10倍程度の密度となるという理論的予測が発表された。また、そのような高密度状態では、核子集団がクォークスープに相転移し、ストレンジクォークが多量に作られ、K中間子の収量が異常に増大するという予言も発表された。そのため、最初の実験ではK中間子測定が企画された。

しかしながら、AGSにおいて発生するK中間子を通常の磁気スペクトロメーターで選別して計測するのは、当時、至難の業とされた。そこで、博士らは、粒子識別のカナメとなる時間分解能の飛躍の向上を手がけた。数100ps以下の時間分解能は不可能だと信じられていたが、さまざまな工夫の末、数百本のシンチレーター全てに対して50psの時間分解能を得、重イオン反応におけるK中間子測定に成功した。

驚いたことに、 K^+/π^+ 比が、重イオン反応においては陽子反応に比べて3-4倍も大きくなっていることが分かった3)。 K^+ 発生の変な増大は、大きな話題となり、その後、クォークスープ形成以外の理論からも解釈が進んだ。さらに、二つの K^+ 中間子の同時測定から干渉パターンが測定され4)、K中間子発生源のサイズがパイ中間子発生サイズより小さいことが判明した。さらに、異種のK中間子の同時測定からの ϕ 中間子の精密な質量測定、等々、K中間子測定に関連したユニークな測定が次々と報告された。最近になって、ドイツGSI研究所において行われた研究では、永宮博士らの実験がさらに発展し、原子核中ではK中間子の質量が減少していることが明らかになり、宇宙でのK中間子凝縮の可能性が示唆されている。そのような重要な展開の糸口を作りだした博士が、如何に優れた着想と実験遂行能力を持っていたかが分かる。

1990年代の前半からRHICと呼ばれる超高エネルギーの重イオン衝突型加速器が建設されることとなり、永宮博士の研究の第3期が始まる。RHICでは、超高温の宇宙初期の状態が実験室で作出せると予測され、クォークやグルーオンが溶融した「クォークグルーオンプラズマ」(QGP)という新しい相が形成されるのではないかと期待が集まった。自然界ではクォークは常に小さい領域に閉じ込められているが、この新しい相では、クォークは閉じ込めから解放される。

2つの大きな実験(PHENIXとSTAR)が認可され、PHENIXは300名以上の研究者を抱える最大実験グループとなった。永宮博士は、この実験チームの最高責任者であるスポークスマンを、グループ結成時点の1991年から務めることになり、博士のリーダーシップの下に検出器の建設が始まった。この時期にはこの分野の実験研究者も2,000名程度にまで増大し、原子核物理学の一大分野に成長した。

実験開始後、二つの異常現象が観測された。第一は、パイ中間子に関するjet quenchingと呼ばれる現象で

ある5)。大きな運動量を持つパイ中間子はクォークと反クォークの対生成によって生成されるが、QGPが生成されると、大きな運動量を持つクォークはQGP内部で大きなエネルギー損失をする。そのために、大きな運動量を持つパイ中間子はプラズマ内部で消失し、収量が減少する。これがjet quenchingである。

第二は、粒子流の形状に関する測定で、反応後の粒子分布は流体的な様相を示すことが発見された6)。これは、クォークやグルーオン多体系の素早い熱平衡化に伴って起こる現象であると理解されているが、粒子流の形状に関するデータを理論的に解析すると、粘性がほぼゼロの完全流体であることも最近分かった。実験開始前の理論では、もしQGPが存在するとすれば、ガス状に作られるであろうと信じられていた。したがって、宇宙初期にはクォークやグルーオンのガスではなく、液体が形成されていたのではないかと話題をまいた。このことは、日本の新聞でも報道された。

その他、PHENIX実験からは、次々と新しいデータが発表されている。このようなグループのリーダーであった永宮博士の功績は非常に大きい。

かつて未開の分野であった「高エネルギー重イオン反応」の分野は、現在では、国際会議で毎回700-800名以上の参加者を集める熱気あふれるものとなっている。黎明期からの30年間、永宮博士はもっとも長く持続的に、この分野の形成発展に尽くし、国際的潮流を作り上げて来た。永宮博士が国際的に如何に高く評価されているかは、ノーベル賞受賞者のT.D. Lee博士が、ブルックヘブン研究所に計画中のRHICで中心的役割を果たすべき人物として、東大助教授であった永宮博士をコロンビア大学正教授に抜擢したことからも窺われる。実際、博士は原子核物理学全体の中で国際的中心をなしている。

1990年代後半から、永宮博士はPHENIXのスポークスマンを後継者に譲り、日本の大型加速器計画J-PARCを立ち上げた。

業績に関する主要文献

- 1) S. Nagamiya, M. -C. Lemaire, E. Moeller, S. Schnetzer, G. Shapiro, H. Steiner and I. Tanihata: Phys. Rev., C24, 971-1009 (1981).
- 2) S. Nagamiya and M. Gyulassy: High-Energy Nuclear Collisions, Adv. in Nucl. Phys., 13, 201-315 (1984).
- 3) T. Abbott, et al. (E802 Collaboration): Phys. Rev. Lett., 64, 847-850 (1990).
- 4) Y. Akiba, et al. (E802 Collaboration): Phys. Rev. Lett., 70, 1057-1060 (1993).
- 5) S. S. Adler, et al. (PHENIX Collaboration): Phys. Rev. Lett., 91, 072301-1~072301-6 (2003).
- 6) S. S. Adler, et al. (PHENIX Collaboration): Phys. Rev. Lett., 94, 232303-1~232303-6 (2005).