

【原子力ポイント】 広く利用されている放射線

(113) 「ピラミッド透視、長半減期核種の消滅処理など」ミュー粒子の意外な使い道(その3)

広く利用されている放射線(46)で、「福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）事故で溶け落ちた核燃料の位置や大きさを、宇宙からの放射線“ミュー粒子”で探る技術が話題になっている」と紹介しました。その後、「ミュー粒子による原子炉の透視」は成功したのでしょうか。今一度、探ってみましょう。

ゆりちゃん：もう一度、簡単に「ミュー粒子による原子炉透視」の目的を教えてください。

タクさん：前の紹介から早や3年が経過、覚えていなくて当然ですね。東京電力は今、原子炉の廃止措置にむけた取組みを真剣に進めています。溶け落ちた核燃料（以下、燃料デブリ）の位置や大きさを知り、安全に取り除く方法を早く決めなくてはならないのですが、“燃料デブリ”が在る場所の放射線レベルは極めて高く、人が近づくことができません。そのため、エジプトのピラミッド探査で活躍したミュー粒子（前回の本コラムで紹介）を使って原子炉内部を透視する試みが、2015年2月から9月にかけて福島第一原発1号機で、2016年3月から8月に2号機で、2017年5月から9月に3号機でそれぞれ行われました。

ゆりちゃん：ミュー粒子を使った原子炉透視の内容について、もう少し具体的に教えてください。

タクさん：図1を見て下さい。ミュー粒子を使った透視技術には散乱法と透過法があります。散乱法は透過法より詳細に燃料デブリ分布を識別できるという長所がありますが、高度な分析のために検出器が大型になってしまうという短所があります。一方、透過法は細かな分析が「苦手」という短所がありますが、検出器を小型化できるという長所があります。福島第一原発では燃料デブリの位置と分布のおおよその状況を早期に知る必要があったため、検出器を比較的簡単に設置できる「透過法」を採用し、ミュー粒子などの「荷電粒子」が通過すると蛍光する「シンチレータ」を使って、ミュー粒子の強度と入射方向を測定し、燃料デブリの位置と分布状況を評価しました。

ゆりちゃん：実際に原子炉の透視を行った結果はどうだったのですか？

タクさん：図2を見て下さい。福島第一原発の1号機、2号機および3号機において原子炉を透視した結果が次のように整理されています。すなわち、「1号機では炉心域に燃料デブリの大きな塊はないことが観測された。このことから、熔融した燃料のほぼ全量が格納容器に落下し、元々の炉心部には燃料がほとんど存在していない」と推定されました。また、「2号機では原子炉圧力容器の底部に燃料デブリと考えられる高密度な物質の存在が観測された。また、炉心の内部にも燃料が一部存在している可能性のあることが観測された。これらのことから、熔融した燃料の一部は原子炉圧力容器下部プレナムおよび格納容器に落下したが、燃料の一部は元々の炉心部に残存している」と推定されました。さらに、「3号機では炉心の内部に燃料デブリの大きな塊は観測されなかった。このことから、多くの燃料デブリが格納容器に落下している」と推定されました。これまで未知であった「燃料デブリ」の状況が垣間見えてきました。

ゆりちゃん：森島先生も、福島第一原発の燃料デブリの観測に参加されたと聞きましたが、本当ですか？

タクさん：広く利用されている放射線(111)で森島先生を「ミュー粒子を検出する特殊な写真フィルム（原子核乾板）を開発してピラミッド内部を探査した人」と紹介しましたが、覚えてくれたのですね。その通りです。そして、2号機原子炉内部の透視に挑戦しました。2015年3月20日のプレスリリースで「原子核乾板は小型で電源を必要としないため、放射線量が高い場所でも短時間で設置できた。そして、事故により炉心熔融が疑われる2号機と健全な状態の5号機において、ミュー粒子の同時測定を行った。その結果、2号機の炉心内部の物質質量（燃料デブリも含む）は5号機よりも有意に少なく、事故によって炉心

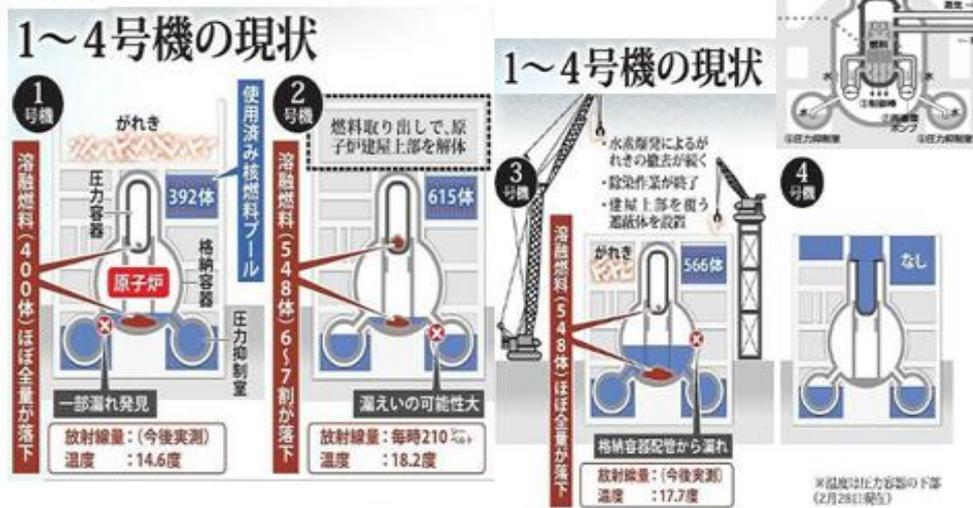
溶融が起こったことを裏付けるデータ取得に成功した」と述べています。その後、東京電力は2018年1月22日、2号機で実施した原子炉格納容器の内部調査の撮影動画を公開しました。压力容器下部の損傷がそれほど見られず、炉心部に燃料の一部が留まっている可能性が高くなりました。これにより「ミュオン粒子を活用して原子炉内部を透視する技術の実用可能性が裏付けられた」といえるでしょう。

(原産協会・人材育成部)

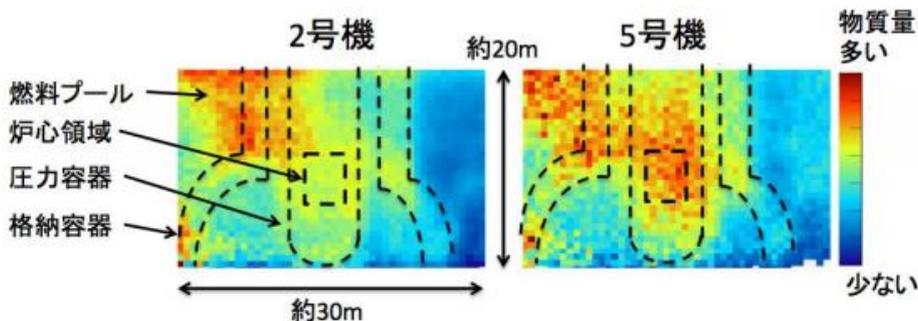
図1. ミュオン粒子を用いた物質分布測定の実原理
(東芝作成資料より)

	散乱法	透過法
測定方式	散乱角度	平面強度分布
測定原理		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・粒子の散乱角度の解析から物質の種類まで識別できる。 ・分解能が高い(30cm単位での識別)。 ・ミュオン粒子の検出器は大型(10m単位)である。 ・検出器の稼動に電源が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・物質の「ある、なし」の判定に優れている。 ・分解能が低い(1m単位での識別)。 ・ミュオン粒子の検出器は小型化(1m単位)できる。 ・検出器の稼動に電源が不要。

図2



毎日新聞(2017年3月3日付)から引用



*カラースケールは、赤い色ほどその方向の物質が多く、青い色ほど物質が少ない。縦軸のスケールは炉心位置における長さ(単位はm)

図3. ミュオン粒子を用いた原子核乾板による福島第一原子力発電所2号機と5号機の透視結果

(参考:名古屋大学プレスリリース「2015年3月20日」より)