



# 放射能の

# はなし

野口邦和

*Kunihisa Noguchi*

新日本出版社

まえがき——世界を震撼させたフクシマ

二〇一一年三月十一日、三陸沖でマグニチュード九・〇の地震が発生した。一九二三年の関東大震災（マグニチュード七・九）を上回る、日本国内観測史上最大、世界でも一九〇〇年以降四番目に大きな規模の地震だという。巨大地震とその後続く巨大津波による犠牲者の全容は本稿執筆時点でいまだ不明だが、四月末現在で死亡者約一万五〇〇〇人、行方不明者約一万一〇〇〇人と伝えられている。おそらく東日本大震災として、「フクシマ」とともに後世に永く語り継がれるだろう。

地震発生時、東京電力福島第一原子力発電所では六基中三基、同第二原子力発電所では四基すべてが運転中だった。福島第一、第二原発ともに地震感知器が水平方向一三五ガル、垂直方向一〇〇ガルの揺れを感知すると、原子炉内に制御棒が一斉挿入され、原子炉は緊急停止するようになっていた。地震の強い揺れを感知し、運転中の福島第一、第二原発の原子炉はすべて緊急停止した。福島第一原発では送電鉄塔が倒壊して外部電源を喪失したため、炉心冷却系が作動しなかった。しかし、外部電源喪失に備えた非常用ディーゼル発電機が一斉に動き出し、

炉心冷却系が作動して事も無げに炉心を冷却し始めた。東電にとつて、この段階まではすべて「想定内」の事態だった。

ところが高さ一四〜一五メートルもの巨大津波により、非常用ディーゼル発電機が地震発生の五六分後にすべて停止した。外部電源喪失時における頼みの綱のディーゼル発電機が停止した原因は必ずしも定かでないが、その設置方法や設置場所が不適切で、かつ津波の想定が甘かったとの批判を免れることはできない。備えのバッテリーもダウンし、福島第一原発は全電源喪失に陥った。

一方、福島第一の約一二キロメートル南にある福島第二原発の四基もすべて地震により緊急停止し、冷却水を海水で冷やすシステムが正常に働かなくなるなどのトラブルがあった。しかし、外部電源により炉心冷却系が作動し、三月一五日までに四基とも棋氏一〇〇度以下の冷温停止状態にすることができた。

全電源喪失により冷却機能を失った福島第一原発のその後の経過は無残だ。一〜三号機は核燃料の温度上昇に伴って冷却水が蒸発、水蒸気により原子炉圧力が上昇し、原子炉水位は下がった。温度の上昇した燃料被覆管のジルコニウム合金と水が反応して水素ガスが発生し、原子炉水位をさらに下げた。高温に耐えられなくなった燃料被覆管のジルコニウム合金が溶融し、やがて核燃料も膨張して損傷、溶融してはばらに崩れ、压力容器底部に落ちた。压力容器底部には制御棒や中性子線モニターなどを炉心に挿入する穴がある。もちろん穴は制御棒や中性子線モニターなどを納めるハウジングと呼ばれる金属のさやと溶接されている。压力容器とさやとの溶接部が高温でひび割れを起こし、溶融した燃料の一部は格納容器にまで漏れ出た。こうして原子炉の圧力ばかりでなく格納容器の圧力も高くなっていった。

一号機では三月一二日午前、格納容器内の気圧を下げるため、ベント（弁開放による排気）を開始した。ベントは一九七九年三月の米国スリーマイル島原発事故後、苛酷事故（シビアアクシデント）対策として欧米や日本の原発で採用されたものである。格納容器圧力が高くなり過ぎて破壊すると、格納容器内に存在する大量の放射性物質が放出されてしまう。この最悪の事態を防止するため、ベントすれば放射性希ガス、放射性セシウム、放射性ヨウ素などの気体状または揮発性の放射性物質が放出されるだけで済む。これがベントの考えだ。だが同日午後、水素爆発が起こって原子炉建屋上部が吹き飛び、同日夜には海水とホウ酸の炉心への注入を開始した。

二号機でも一三日午前ベントを開始、一四日夕刻には海水を炉心に注入開始、一五日〇時に再びベントを開始した。同日六時過ぎに圧力抑制室付近で水素爆発があり、圧力抑制室が損傷した。

三号機でも一三日朝にベントを開始、同日一三時過ぎに海水とホウ酸水を炉心に注入開始した。一四日早朝に再びベントを開始したが、同日一時過ぎに水素爆発が起こって原子炉建屋上部が吹き飛んだ。同機では、二〇一〇年九月からプルトニウム・ウラン混合酸化物（MO

X) 燃料を使って運転中だった。

四号機では使用済燃料貯蔵プールの水温が上昇し続け、一五日前に原子炉建屋で火災が起こった。自衛隊と東京消防庁による使用済み燃料貯蔵プールへの注水が行われた。使用済み燃料貯蔵プールへの注水は、三号機でも一七日以降、断続的に行われた。

原子力災害特別措置法に基づく住民の避難と屋内退避が内閣総理大臣により指示された。一日夜に福島第一原発の半径三キロ圏内の避難、一〇キロ圏内の屋内退避、一二日早朝には半径一〇キロ圏内の避難、同日夜には半径二〇キロ圏内の避難、一五日には半径三〇キロ圏内の屋内退避と、目まぐるしく拡大していった。

損傷箇所からの放射性物質の漏出は事故以来ずっと続き、大気中への放出量は、これまでに放射性ヨウ素が原子炉内の二〜三パーセント、放射性セシウムが一〜二パーセントと評価されている。福島県や近隣の県はもちろんのこと、一五日前には東京都内でも通常の一〇倍の空間線量率を示した。野菜や原乳も放射性ヨウ素や放射性セシウムで汚染され、暫定規制値を超える食品の出荷停止が相次いだ。

海洋への放射性物質の漏出も続き、これまでに大気中に放出された量の約一割が放出された。漏出しているのは溶融した核燃料から核分裂生成物などが溶け出した冷却水の一部と見られている。また、高濃度汚染水を保管する場所を空けるため、低濃度汚染水一萬四〇〇トンが海に捨てられた。世界に類例のない容易ならざる事態に直面し、解決の道筋が見えない。

東電によれば、一〜三号機の炉心および三〜四号機の使用済み燃料貯蔵プールの安定的かつ循環式冷却、大気および海洋への漏出箇所の密閉に六〜九カ月を要するという。ここまでたどり着けば、ようやく峠を越えたといえるかも知れない。しかし、放射性セシウムで汚染された大地は残り、被害・損害を受けた人びとに対する補償問題も控えている。

放射能、放射線、放射線の人体影響、放射線防護の基礎知識などをまとめた本書は、福島第一原発事故問題を考える際の強力な手助けとなるにちがいない。多くの人びとに読まれることを願ってやまない。

二〇一一年五月九日

野口 邦和

## 目次

一	まえがき——世界を震撼させたフクシマ	1
	放射能の発見	13
	エックス線の発見	13
	放射能の発見	15
	ポロニウムとラジウムの発見	18
	中性子の発見	21
	超ウラン元素発見の試み	22
	核分裂の発見	24
二	放射線障害の発見	30
	ウラン鉱山労働者の肺ガン	30

三 放射線と放射能の基礎知識…………… 43

- 放射線障害で生涯苦しみ続けたキュリー夫人 33
- 初期のエックス線取扱者 35
- ラジウム夜光塗料の女工 37

微小粒子の流れ——放射線 44

放射線の減弱の仕方——逆二乗の法則 45

原子の種類を区別する——元素と核種 48

放射能の種類——放射性壊変 50

放射能の強さの単位——ベクレルとキュリー 55

放射能の減衰の仕方と速さ——半減期 57

人体内での放射能の減衰の速さ——実効半減期 61

人体内における放射能の変化——ふろおけ理論 64

長い連鎖をなす放射性壊変——永続平衡 68

四 放射線の人体影響と防護の基礎知識…………… 74

電離と励起 74

直接作用と間接作用 75

放射線をあびた量——被曝線量 78

実効線量とその実用量 80

影響の受けやすさ——放射線感受性 86

放射線障害の分類 90

急性障害の全身型——急性放射線症 94

放射線防護の考え方 97

五 核兵器の放射線と放射能…………… 102

核兵器とはなにか 102

もつとも基本的な核兵器Ⅱ原爆 104

現代の核兵器の原型Ⅱ水爆 109

現代の核兵器 111

核兵器が爆発すると…… 114

核兵器使用の被害——広島・長崎の場合 122

核実験の被害——マーシャル諸島の場合 126

核兵器関連施設による被害 133

六 原子力発電の放射線と放射能

補章

原子力発電とは何か 141

原子炉内に蓄積する放射能 144

原子炉の潜在的危険性 151

気になる核分裂生成物 155

シビアアクシデント 162

その後のチェルノブイリ 164

否定されたプルサーマル 169

MOX燃料 173

アップストリームの放射線と放射能 179

JCO臨界事故 180

再処理工場の放射線と放射能 183

放射性廃棄物施設の放射線と放射能 187

〔補〕 原発労働者の被曝 191

福島原発災害の危機と国民の安全 192

現実の事態に対応できない緊急時対策 192

住民の被曝を避け、安全にするために 195

原発の危険から国民の安全を守るために 209

おわりに 214

〔二〇メモ〕

ラジウム夜光時計について 40

核爆発の際の核分裂生成物の放射能 138

## 一 放射能の発見

### エックス線の発見

いまだき『大発見』などという少し古めかしい感じがするかもしれないが、読者は一九世紀末の物理学における『三大発見』を知っているだろうか。二中間子論の提唱や坂田モデルと呼ばれる素粒子の複合モデルの提唱などで知られる世界的な物理学者であった坂田昌一名古屋大学教授（一九一〇～一九七〇）によれば、それはエックス線の発見（一八九五年）、放射能の発見（一八九六年）、電子の発見（一八九七年）だという。そしてこの三大発見は互いに密接に関係している。

真空度のよいガラス管にプラスとマイナスの電極を封じ込めて電流を通じてやると放電現象が起こり、ガラス管が発光するようになる。ドイツの化学者ヨハン・ヴィルヘルム・ヒットル



X線発見当時のレントゲン

であるかを研究した時代だった。

ドイツの物理学者ヴィルヘルム・コンラート・レントゲン（一八四五〜一九二三）も、そうした研究者のひとりだった。一八九五年一月、レントゲンはクルックス管とよばれる真空管を使って陰極線の研究をしていた。その時、クルックス管の近くに置いてあったシアン化白金バリウムを塗布した紙が蛍光を発したことから、レントゲンは目に見えない未知の「線」がクルックス管から放出されていることに気づき、この放射線を「エックス線」と名づけ、一八九五年二月にヴュルツブルク物理医学会に「新しい種類の線について（第一報）」を提出した。ちなみに双子の姉妹「きんさん・きんさん」として知られた成田きんさん、蟹江きんさんは一八九二年（明治三五年）八月生まれで、このとき満三歳であった。

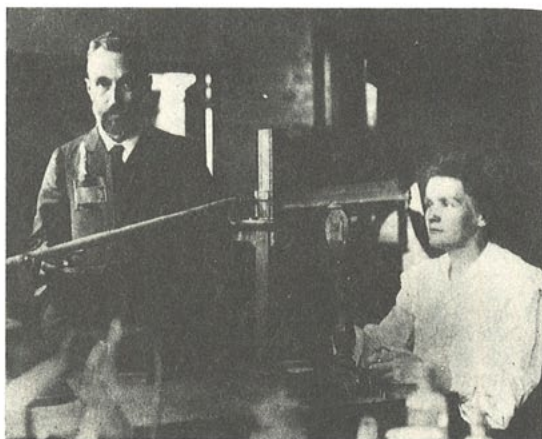
翌一八九六年一月初め、レントゲンがアンナ・ベルタ・レントゲン夫人の手や金属ケースの中に入れられた羅針盤、あるいは木箱の中の分銅のエックス線写真を第一報の別刷とともに知人の物理学者に送るやいなや、またたく間にエックス線発見のニュースは、世紀の大発見として世界中で報道された。エックス線が光を通さない物質を容易に透過して遮光した写真フィルムを感光させたことから、人体内の病気の診断に使えるのではないかと考えるものもに、エックス線の診断への利用が急速にすすめられた。一方、エックス線を照射された皮膚などが重い障害を受けたことから、乳ガンや胃ガンなどの患部に照射すればガン細胞を破壊できるのではないかと考えるものもに、エックス線のガン治療への利用も急速にすすめられた。

## 放射能の発見

エックス線を照射された蛍光物質（シアン化白金バリウム）が蛍光を発したため、エックス線の発生と蛍光現象との間にながしかの関係があるのではないかと、蛍光を発する物質は蛍光の他にエックス線のような放射線を放出しているのではないかと、と考える科学者が現れた。

フランスの数学者・天文学者・物理学者であった高名なジュール・アンリ・ポアンカレ（一八五四〜一九二二）は、そうした研究者の代表的存在であった。ポアンカレらの考えは明らかに間違っていたが、この間違った考えの影響を受けたのがフランスの物理学者アントワーヌ・

フは、陰極から放出されるある種の放射線が発光の原因になつていると考えた。ドイツの物理学者オイゲン・ゴルトシュタインは、この放射線を「陰極線」と名づけた。当時、電子はまだ発見されておらず、陰極線が真空管中で高速に加速された電子の流れであることはわかっていなかった。一九世紀後半の実験物理学の分野では陰極線に関する研究がひとつの流行であり、多くの研究者が陰極線の本性が何



研究室のピエールとマリー

その後、ニュージーランド出身のイギリスの物理学者アーネスト・ラザフォード（一八七二〜一九三三）らにより原子の構造が明らかにされ、不安定な原子核が自発的に別のより安定な原子核に壊変する性質が放射能であることが解明された。なお、国際放射線単位・測定委員会（ICRU）によれば、放射能は現在、「ある種の原子核が自発的に粒子あるいはガンマ線を放出し、あるいは軌道電子を捕獲して壊変し、あるいは自発的に核分裂を行う性質」であると厳密に定義されている。

ウラン元素は、一七八九年にドイツの化学者・鉱物学者マルティン・ハインリヒ・クラプロートによりピッチブレンドとよばれる黒く重い鉱石（ウラン鉱石の一種で、日本語では瀝青ウラン鉱という）の中から発

アンリ・ベクレル（一八五二〜一九〇八）だった。ベクレルは父アレクサンドレ・エドモンド・ベクレルとともに二代にわたってりん光や蛍光（励起エネルギーを吸収した物質が熱をとまわずに発光する現象のうち、比較的発光時間の長いものをりん光、短いものを蛍光という）を研究しており、手元に多数のりん光物質や蛍光物質をもっていた。ベクレルは手持ちのりん光物質や蛍光物質を片っ端から調べていった。

エックス線の発見からおよそ三ヶ月後の一八九六年二月、ベクレルはりん光物質として知られる硫酸ウラニルカリウム（ $K_2UO_4(SO_4) \cdot nH_2O$ ）というウラン化合物を太陽光線にさらしたあと、遮光した写真乾板と密着させると写真乾板が感光すること、すなわち目に見えない放射線がウラン化合物から放出されていることに気づいた。そして繰り返し何回も実験を重ねた結果、①未知の放射線が放出される現象はりん光現象や蛍光現象とは無関係である（未知の放射線が放出される現象は太陽光線にさらすこととは無関係である）、②この放射線はエックス線とは性質が異なる（そのため、当初は「ベクレル線」あるいは「ウラン線」などと呼ばれた）、③この放射線の強度はウランの化学形や存在状態とは無関係でありウラン濃度が高くなるほど強くなることを明らかにした。

ベクレルが発見した現象、すなわちある種の原子が自発的に放射線を放出する現象を、のちにポーランド出身のフランスの化学者マリー・スクロドフスカ・キュリー（キュリー夫人、一八六七〜一九三四）は「放射能」と名づけた。

見された。それは、ウランの放射能をベクレルが発見した一〇〇年以上も前のことであつた。こうなるとうラン以外の既存の元素の中に放射能をもっているものはないかと考え、片つ端から既存の元素が調べられた。こうして一八九八年にマリイ・スクロドフスカ・キュリーとドイツのG・C・N・シュミットがそれぞれ独立に発見したのがトリウムの放射能であつた。

科学史においてしばしば先陣争いのもとになる同時発見が起こつたのである。トリウムの放射能の発見をめぐつてキュリーとシュミットが先陣争いをしたかどうかは知らないが、もともと人間の能力に大きな差はない。他人の研究成果を自分のものと偽つて主張するのは論外であるが、既存の元素ウランの放射能が発見されれば、当然の帰結としてウラン以外の既存の元素の放射能の有無が関心の的となり、多くの研究者がそれを調べたに相違ない。その結果、キュリーとシュミットがほぼ同時期に運良くトリウムの放射能を発見したまでのことである。

表1①(28~29頁)に「放射能および放射性核種に関する重要な研究」の年譜を掲げるので、参考にしてほしい。

### ポロニウムとラジウムの発見

トリウムの放射能が発見された一八九八年は、新元素ポロニウムとラジウムが発見された年でもあつた。これも放射能の発見と密接に関係している。当時、マリイ・スクロドフスカ・キ

ュリーの夫である物理学者ピエール・キュリー(一八五九~一九〇六)は、兄のジャック・キュリーと共同で現在の電離箱の原型に相当する放射線測定器(エレクトロメータ)を開発し、放射線によって電離された空気の電離量を測定することにより、写真乾板よりはるかに高い精度と感度で放射能の強さを測定することができた。この放射線測定器を使ってマリイは、鉱物、石、砂など自然界で手に入るものを片つ端から測定していった。その結果、純粹なウランやトリウムよりもピッチブレンドのようなウラン鉱石の方が四~五倍ほど放射能の強いことがわかつた。

この測定結果からマリイは、ピッチブレンドの中にウランやトリウムよりも放射能の強い未知のなにかが含まれている、しかもこのなにかはこれまでに発見されていなかったことから微量であるに違いない、と確信した。実際、天然のウラン-グラム中に存在するラジウムの質量は、およそ〇・〇〇〇〇〇〇三四グラムになる。これは、たとえばウランを一〇%含むウラン鉱石一トン(一〇〇〇キログラム)中に存在するラジウムの質量がおよそ三四ミリグラムであることを意味する。マリイの洞察力の確かさは見事というほかはない。

こうして何カ月もかけて大量のピッチブレンドの中から既知の元素を取り除いていった結果、強い放射能をもつた二つの新元素が七月と二月に相次いで発見された。最初に発見された新元素は、マリイの祖国ポーランドにちなんで「ポロニウム(元素記号Po)」と名づけられた。また、あとで発見された新元素は非常に放射能が強く光り輝いていたため、ラテン語の光線を意