

表題：放射線の単位 (1)

副題：ご挨拶 と 放射線の歴史 100 年

筆者：化学工学会 SCE-Net 環境研究会 郷 茂夫

(放射線影響学会会員)

2021 年 4 月 29 日作成

読者の皆様へ；今後、連載形式レポートで、放射能や放射線に関わるいろいろな小論を載せてゆきたいと思います。主な目的は、低線量（率）放射線の健康影響ということについて、色々な角度から再考していただくために、事実に基づくデータや情報を共有してゆくことです。できるだけ身のテーマを取り上げ、簡潔な小論で取り組みたいと思っています。

初回の表題「放射線の単位」（これは 7 回くらいの連載で、副題はその回限りの小テーマです）は放射能と放射線の基礎的事項ですので、**ご存じの方はスキップして下さい。**

さて、連載の初回は、表題のように、今後の連載でよく使われることになると思われます。「放射線の単位」についてお話しします。放射能や放射線の単位につきましても、線量単位の組み立てとその理屈の話がわかりにくいと思われる方が少なくないと思います。

例えばよくある疑問として、放射線の実体から見た身体の外部影響と内部影響の違いが分からない；身体の吸収線量とはどうやって測るのか、測定器を肉体に埋めるわけにはいかないでしょう；実効線量とは計算値だと言うが本当か、放射線測定器で辺りを測ればシーベルト単位で表示されるがどう違うのか；ベクレルは放射線の数を示すというけれど、どこから放射線が来るのか、またシーベルト値を知りたい；日本人公衆被ばくの線量限度は 1mSv とするのはよく知られているけれど、皮膚の線量限度が 50mSv とはどのようなことか；放射線は大きなエネルギーを持つと言うけれど、それは一体どのように身体に作用して最後はどこへ吸収されるのか；自然放射線で 10 mSv 以上もある場所があると言うがなぜか、ヨーロッパなどで問題と言われてきた住居環境のラドン被曝について、年間約 10 mSv の上限基準値があると聞いた、などなど腑に落ちないことが多いと思います。このような疑問点について、再勉強不要になるように、本連載を通じて、根源までお話しして

できればと思っています。

今回は、入り口の副題として「放射線の歴史 100 年」から始めます。100 年と申しまして放射線の歴史のあけぼのとなる 20 世紀前半が主体です。後半は主に組織と医療への応用の歴史です。

1. はじめに

現在でも多くの人々にとっては、理解と納得が十分に及ばない面があり、なんとなく抵抗感がある放射線というものについて、放射線の歴史から、どのようにして発見されたのか、どう利用されて来たのかを知ること、身近に感じることもできるかと思います。レントゲンが X 線を発見した時、世界は大騒ぎになり、レントゲン写真館が繁盛したそうです。でも何も知らない民衆には傷害を被る者も出たのです。

2. 放射線の歴史

120 年以上前の 1895 年（明治 28 年）、レントゲン博士が、偶然にも、今で言う放射線の一種である X 線を発見したことをきっかけに、それから 5 年間で、 α 線、 β 線、 γ 線が次々に見出されました。そして、すぐに X 線の医療への応用が始まっています。1930 から 1932 年にかけて、中性子が実証され、原子核物理の基礎が形作られました。1938 年に核分裂反応が発見され、1945 年には広島、長崎への原爆投下があり、原子力時代へ進んでいったわけです。

1928 年に、今の ICRP の前身である国際 X 線およびラジウム防護委員会 ICXRP の第 1 回勧告があり、以来、放射線の防護に関わり世界のリーダーシップをとってきました。

1977 年に、ICRP (International Commission on Radiological Protection) は放射線防護に確率的影響という概念を導入し、また線量の概念はより精緻になって来ました。その過程で提示された「LNT 仮説」などは今も世界的に議論が続いています。

日本では、1909 年に、初の国内医療用 X 線装置が完成して、医療への技術展開が続きました。やや遅れましたが、1942 年日本放射線技術学会創立され、1950 年代に入り、放医研や放影学会が設立されました。

以下、年表形式で、放射線の歴史とストーリーを振り返ってみたいと思います。

なお、**ICRP の防護概念や線量限度の変遷**については後の連載で解説します。

西暦	発見者, 創始者	内 容
1789	クラブロート (ドイツ人化学 者)	ヨアヒムスタール銀鉱山（現在チェコ国内）から採れる黒い鉱物 ピッチブレンドから、 <u>新しい元素を発見し、ウランと名付けた。</u> ウランの酸化物や塩化物は、鮮やかな色や緑色の蛍光を発するため、ガラス、陶器、磁器などの着色剤として利用されていた。
<p>※この間 100 年間余り、放射線の認識の糸口になるような事実は知られなかった。 しかし、原子、分子に関わる発見と概念はかなり進歩していた。</p>		
1895	レントゲン (ドイツ)	<p><u>最初の放射線「X線」の偶然の発見</u>； 放電管を用いて「陰極線」の研究をしている時に、放電管の外の 2メートル先に置いた蛍光板の輝きを見て、未知の線種を認識 し、X線と名付けた（発見の経緯は下の挿話を参照下さい）。 翌年にこの論文が発表されると世界中に知れ渡り大反響になっ た。また病気の診断などへの利用が直ちに始まった。 1901年には 第1回ノーベル物理学賞を受賞した。</p>
<p><発見のストーリー></p> <p>排気された減圧、真空のガラス管内に陰陽二本の金属電極を封入して両極に電圧を加えると、空気中よりはるかに低い電圧で放電が起こり、管内に蛍光が生じる。この現象は、17世紀中頃からわかっており、多くの研究が行われていた。独ブリュッカーらは磁石によって影響を受けるある種の線が、陰極から発していると提示した。独ゴルトシュタインは他の観察からこの線を「陰極線」と命名した。多くの科学者が、それぞれの放電管（それぞれヒットルフ管、クルックス管と呼ばれる）を開発して陰極線の正体を解明する研究がなされた。</p> <p>1893年、レナルトは陰極線（これは今で言うβ線ではなく、管の左端/陰極金属から放出される電子線であり、右端の陽極に向かう放電である、高電圧をかけるということはそこに電気回路があることになる）を放出する放電管の右端面に薄いアルミ箔を張った小さな窓を取り付けた、新しい放電管（レナルト管）を作成して、この窓から放電管の外の空気中に取り出すことに成功していた。ただ、この陰極線はうすいガラスの壁では阻止されてしまった。</p> <p>翌年、レントゲンはレナルト管を取り寄せ、レナルトの陰極線の実験を追試し、アルミ箔の窓から空気中に出た陰極線の存在は確認できたが、陰極線が届くのは、アルミ箔の窓から空気中数センチの範囲に限られていることもわかった。次にアルミ箔の窓のないヒットルフ管やクルックス管を用いて、陰極線が外に出ないことを確かめようとした。</p>		

ところが、その実験の結果、高電圧を加えて通電すると、放電管の外側の近くにあった蛍光板が、レナルト管の時と同様に輝いたのである。さらに蛍光板を放電管から2メートル遠ざけても、なぜか輝きは消えなかった。これを見てレントゲンは、陰極線とは異なる未知の線が放電管から出ていると考えた。レントゲンは自分の見た不思議な現象を理解するために、それから数週間、寝食を忘れて実験に取り組んだという。

目には見えないが物質(ガラス管)を透過する、それは、黒い厚紙をも通過できる線だった。板きれも通過した。しかし、金属版は通過しなかった。この光のようなものの正体は不明であったため、X線と名付けられた。これが最初に発見された放射線である。

写真乾板にも作用があるはずとの思い付きから、レントゲンはこの線の通りみちに写真乾板をおき、妻を説きふせて手を管と乾板の間に入れさせた。コイルにスイッチを入れた。乾板を現像したところ、彼と妻は驚愕した。**手の骨がはっきりと現れ**、そのまわりに筋肉がうすく輪郭をえがいているのを見たのである。 図1にレントゲン装置を示す。

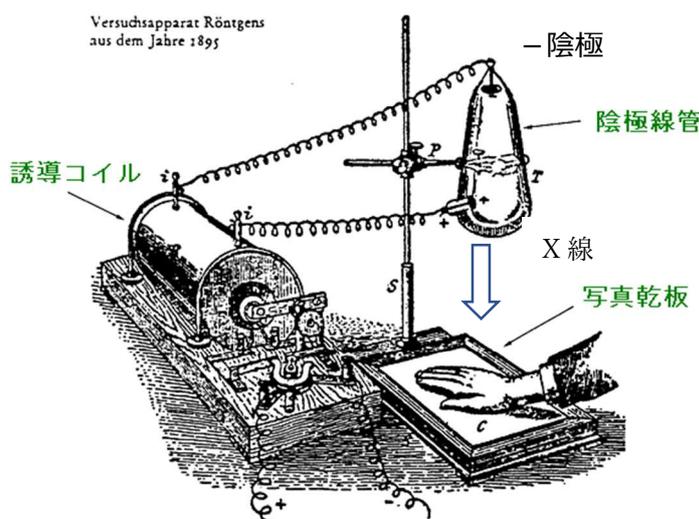


図1 レントゲンの装置の概念図

【出典】W. Robert Nitske、山崎政男（訳）：X線の発見者レントゲンの生涯、考古堂(1989年)

その反響の大きさ；X線発見の大ニュース；

目に見えないこの放射線は、可視光線を通さない紙や木は透過するが、人の骨や金属の鉛に対しては不透過であることが分かった。すなわち、放電管と写真乾板の間に不透過の物質を置くと、その影が写った。試しに妻の手を写真乾板の上に置き、15分間照射したところ、手の骨と金属の結婚指輪だけが写った写真が撮れたわけである。

<p>レントゲンは、1895年12月28日、「放射線の一新種について」と題した論文をビュルツブルグ物理医学会に提出し、会報に掲載された。この論文は翻訳されて、1896年1月発行の「Nature」誌、同年2月の「Science」誌に掲載され、専門家の中で大きな反響を呼んだのである。こうしてX線発見のニュースは世界中に広まり、多くの研究が行われると同時に、一般の人々の関心をも呼び起こした。手のひらのX線写真を記念に撮ることが流行し、そのための写真館まで開業したと言われている。しかし、何も知らない民衆には、放射線障害を起こした例もあった。</p>		
1896	アンリ・ベクレル (フランス)	<p>蛍光物質の研究をしていたベクレルは、実験用の天然ウラン鉱石と一緒にしまっておいた写真乾板（光に反応するガラス板）が感光していること、X線類似光線に気づいた。ウランは他からエネルギーを与えられなくても、自然に放射線を発生する能力、つまり「<u>放射能</u>」を持つことを発見した（放射能の認識）。</p>
1896	(英, 米)	<p>エドウィン(英)骨折をX線写真によって診断, ジョーンズら(米)頭蓋内の弾丸をX線写真に写す。</p>
1896	(日本)	<p>この年、日本では数グループがX線の実験をしている。</p>
1896~ 1898	マリー&ピエール キュリー夫妻 (フランス)	<p><u>放射性物質</u>；ポロニウム, ラジウムの発見； ウラン以外の元素について調べていた時、トリウムからも放射線が出ていることを発見し、さらにウラン鉱石のピッチブレンドからウランよりもはるかに強い放射線が出ていることを見出した。彼女は夫と協力してピッチブレンドを処理し、1898年に新しい放射性の元素ポロニウム、続いてラジウムを発見した。この功績から1903年に夫妻はノーベル物理学賞を受賞した。</p>
1898	ラザフォード (イギリス)	<p><u>アルファ線、ベータ線の発見</u>；ウランからα線とβ線の2種類の放射線が生じていることを発見し、アルファ線とベータ線と名付けた。翌年にはα線とβ線の分離に成功した。 ラザフォードは原子核の発見や放射性元素に関する研究・貢献から「原子物理学の父」とも呼ばれている。</p>
1899	(日本)	<p>日本では数カ所の有力病院にX線装置が設置された。</p>
1899	(スウェーデン)	<p>スチンペック；皮膚癌のX線治療に成功。(治療と言う意味では世界最初の試み)</p>
1900	ポール・ヴィラール (フランス)	<p><u>ガンマ線の発見</u>；X線に似て透過力が高く、電荷を持たない未知の放射線を発見した。この放射線は1903年にラザフォードによって電磁波であることが示され、γ線と名づけられた。</p>

1900～		上述の放射線の正体は、その後明らかにされ、アルファ線はヘリウム原子核が速く飛んでいるもの、ベータ線は電子が速く飛んでいるもの、ガンマ線は見えない光の仲間であることがわかった。
1909	(日本)	島津製作所、医療用 X 線装置(わが国最初)を完成.
1910	(日本)	X 線診断学 (今日の放射線診断学、画像医学) が誕生.
1913	ソデイ (英)	アイソトープの概念を提出
1913	(日本)	レントゲン研究会設立 (東京)
1913	(ドイツ)	ドイツ放射線医学会、放射線防護規則を発表
1918	(アメリカ)	イーストマンコダック社, パターソン社 X 線用フィルムを発売
1919	(日本)	六桜社、日本初の X 線ペーパー発売
1920	ザイツら(独)	X 線 1 回大量照射による子宮がんの治療結果を発表
1920 年代	(独, 英) 電離箱 = 荷電粒子検出 装置 近年の電離箱 ; アルゴンを使用	<u>電離箱</u> とは 1920 年代に開発された荷電粒子検出装置で、(初期に見出されたのは) 正負の電極間に空気の入った箱で電極間に電圧がかかっているときに荷電粒子がガス中を通ると、ガス分子が電離され、発生した電子はすみやかに正の電極へ移動するので、荷電粒子が電離箱へ入ったことが正電極の電位の変化により検出できる。また荷電粒子が継続的に電離箱に入射されれば正電極の平均電流より粒子の入射量が測定できる。電極間の電圧を増加させると電離した際に発生した電子がガスと衝突して二次電子が発生し、その数は荷電粒子がガス中で失ったエネルギーに比例するので、 <u>粒子の計数とエネルギーの推測が可能</u> になるというものであった。
1924	(国際)	「国際放射線単位測定委員会 ICRU 」設立
1928	(国際)	国際 X 線およびラジウム防護委員会 ICXRP 第 1 回勧告を発表
1930 頃	キュリー夫人の 娘夫妻イレヌ とジョリオ	アルファ線をベリリウムという金属に当てると透過力の強い新しい放射線が出ることを発見していた。(後の中性子の発見につながる)
1932	チャドウィック (イギリス)	中性子の発見 ; チャドウィックは、この透過力の強い放射線をいろいろな物質に衝突させると陽子のはじき出されることを確認し、この放射線が陽子とほぼ同じ質量をもち電荷をもたない中性の粒子「 <u>中性子</u> 」であることを実証した。

	ラザフォードの弟子チャドウィック	アルファ線でベリリウムを衝撃した際に発生する放射線「ベリリウム線」の正体が師・ラザフォードが予言した中性子であることを突き止めた。当時、原子は陽子と電子から構成されていると考えられていたが、原子の構造をうまく説明できない矛盾点を抱えていた。中性子の発見によりその矛盾が解決された。
1934	ジョリオ・キュリー夫妻	放射性元素を初めて人工的に生成した；アルミニウムに放射線のアルファ線を当て、リン 30（放射性）を得ることに成功した。人工放射性同位元素発見である。
1934	パターソン(英)	ラジウム線量表発表
1935 (S10)	湯川秀樹 (日本)	原子核の中で陽子と中性子を結び付けている粒子「 <u>中間子</u> 」の存在を、1935年に予言した。後にそれが実証され、日本人ではじめてのノーベル賞受賞者となった。
1936	ラザフォード	原子構造の解明； アルファ線を金属に当てる実験によって、原子のほとんどの質量は中心にある小さな領域（原子核）に集中していることを明らかにした。チャドウィックの中性子発見によって、原子核は陽子と中性子から構成されていることが明らかになった。
1938	ハーン（ドイツ）、マイトナー（オーストリア出身）	核分裂の発見； ハーンは、ウラン原子に中性子を吸収させた時に、核は大きくなり、バリウムが生成されることを見出し、より小さい原子（バリウム）に分裂することを発見した。マイトナーは、これはウラン原子核がほぼ半分に割れたためであると結論した。 <u>中性子によってウランの核分裂が起こることを発見した</u> 。マイトナーはこの現象を「 核分裂 」と名づけた。
1939	イレーヌ、ジョリオ（フランス）	ウランの核分裂から新たに中性子が2ないし3個発生することを測定した。これによって、 <u>核分裂連鎖反応を起こすことができる可能性が高まった</u> 。
1941	(米)	リビングッド、 ^{60}Co の発見
1941		放射性ヨウ素によるバセドー病治療開始（初めは ^{130}I 、後に ^{131}I ）
1942	(日本)	日本放射線技術学会創立
1942	イタリア出身のフェルミら（アメリカ）	フェルミら最初の原子炉建設、人工の原子炉の誕生； 黒鉛のブロックを積み上げた中にウランを入れ、核分裂連鎖反応を起こすことに成功。その際に、中性子吸収材のカドミウムから作られた制御棒を用いて、出力が一定になるよう制御した。

1944	(スウェーデン)	ストランドキスト, 『分割照射における X 線の効果と照射期間』発表.
1947	リビー(米)	^{14}C 年代測定法発表.
1950	(SS2, 日本)	原子炉製の RI を初輸入(^{125}Sb)
1951	(ICRP)	国際放射線防護委員会 ICRP 発足
	(日本)	「診療エックス線技師法」制定, 日本放射性同位元素協会創立
1957	(日本)	放射線医学総合研究所の設立
1959	(日本)	日本放射線影響学会の設立
1961	(日本)	核医学研究会(後の日本核医学会)発足
1962	(日本)	国立がんセンター発足, 東海村に 第 1 号原子炉 建設
1967	(日本)	日本放射線機器工業会発足
1972	(英)	ハウズフィールド、X 線 CT を発明
1976	(日本)	千葉大、世界最初の電子走査型 X 線 CT が稼動
1979	(日本)	放医研、PET 臨床利用はじめる
以降は略します		

3. 参考文献：

ネットの参考文献から引用した部分が多いので、その URL を示します。どれか良さそうなものを参照してください。

1) [放射線の歴史 \(ies.or.jp\)](http://ies.or.jp)

環境科学技術研究所 (IES) ; 放射線のはなし > 放射線の歴史 ; 一般向け解説

2) [放射線の歴史 | 第 37 回 みんなのくらしと放射線展 \(housyasen-fukyu.com\)](http://housyasen-fukyu.com)

「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会 → 放射線のまるわかりラボ
→ 放射線の歴史.

3) [The Radiation Odyssey \(jaea.go.jp\)](http://jaea.go.jp)

JAEA 日本原子力研究開発機構 > 放射線と地球の旅 -The Radiation Odyssey-
> Stag2 放射線尾歴史と基礎知識 (一般向け解説)

4) [放射線と放射線機器の歴史 - \(一社\) 長野県診療放射線技師会 \(nagano-rt.org\)](http://nagano-rt.org)

放射線関係の機器開発の歴史も詳しく書かれています。

5) [放射線研究の幕開け ～レントゲンによる X 線の発見～ | 原子力災害専門家グループ | 東電福島原発・放射能関連情報 | 首相官邸ホームページ \(kantei.go.jp\)](http://kantei.go.jp)

これは、2011年福島原発事故の直後に組織された「原子力災害専門家グループ」の投稿の中で書かれたものです；首相官邸トップ>東電福島原発・放射能関連情報>原子力災害専門家グループ>放射線研究の幕開け ～レントゲンによるX線の発見～

6) [X線の偶然の発見 \(coocan.jp\)](http://coocan.jp)

個人のサイト；北山敏和の鉄道いまむかし>よくわかる科学史>15 X線の偶然の発見, 16 放射能の発見, 17 史上最大の科学の賭け；

X線の偶然の発見の経緯から、他の面白い挿話もある。この発見は世界の国々で大センセーションをまきおこしたということである。また、医者たちは直ちに、外科手術でX線が重要な働きをすることを見抜いたと言う。

7) [世界一簡単な放射線の歴史のお話（前編） - 生物学博士いいなのぶっちゃけていいですか？ \(iina-kobe.com\)](http://iina-kobe.com) 個人のサイトです。

8) <http://monitoring.tokyo-eiken.go.jp/etc/eventinfo/c759bf87ee2d51d8695a603b1c49a38d.pdf>

東京都健康安全研究センター環境保健衛生講習会 放射線の測定値の見方、考え方>放射線・放射能の基礎知識 身の回りの放射線。

9) [X線と放射能の発見 \(16-02-01-01\) - ATOMICA - \(jaea.go.jp\)](http://jaea.go.jp) ATOMICA 論説。

10) [放射線防護の歴史 \(09-04-01-01\) - ATOMICA - \(jaea.go.jp\)](http://jaea.go.jp) ATOMICA 論説。

(連載 001 おわり)