

# ラジウムの歴史

## *The history of radium*

*Kenneth SD\*. Radiology 2:334-42,1924*

放射性物質の発見はX線の発見にすぐ続き、その一部はCrookes管に見られる現象に端を発するものであった。管内の真空度が十分な状態では、陰極側のガラスが明るい黄緑の光で輝く。1895年、Roentgenはこの状態で真空管から、人体や通常光では不透明な物体を透過する光を放出することを発見した。彼はこれを「X線」と読んだが、その後発見者の名誉を讃えて「レントゲン線」と呼ばれるようになった。

現在では、X線は陰極線がガラスに作用して発生することが分かっているが、1896年、フランスの数学者Poincaréは、真空管内の蛍光がレントゲン線の原因であるという仮説を唱えた。これによれば、すべての蛍光物質は十分に照射されればレントゲン線を放出することになる。幾人もの科学者がこの仮説を研究したが、中でもHenri Becquerelは、蛍光、燐光研究のパイオニアである父Edmond Becquerelから特別なトレーニングを授かっており、この研究にはうってつけであった。ウランの蛍光は、その後発見される驚くべき現象とは無関係であった点でBecquerelのスタートラインは間違っていたといえよう。実際のところこの時点で、ウランはこの現象を引き起こしうる唯一知られている蛍光物質であった。彼の最初の実験は比較的単純なものであった。彼は写真乾板を黒い紙で覆い、その上に硫酸ウランの結晶をいくつか載せて日光に当てた。数時間後に乾板を現像すると、結晶の淡い像が得られた。仮説が証明され、太陽光に照射されたウランが放出した蛍光がレントゲン線を発生し、結晶の下の黒い紙を透過したのである。Becquerelは当然のことながら、実験を繰り返そうと考え、今度は乾板と結晶の間に黒い紙だけではなく、厚さ0.1mmの十字型の銅板を置き、ウランの放射線が厚い物体を通過するかどうか確認しようとした。Becquerelにとって幸いだったことに、日が照らなかった。結晶と銅板を載せた乾板を暗室に数日間置いて太陽が出るのを待ったが、ついにしびれを切らして乾板を現像してみたところ、驚いたことに鮮明な画像がうつっていた。光をすべて遮った状態で、ウランはそれ自体が明らかな変化を示すことなく、エネルギーを放出していたのである。実験を数回繰り返し、Poincaréの仮説は誤りであることを証明することができた。しかし、ウランが太陽光を蓄えて蛍光物質としての特性を発揮し、別の形でもっと緩徐にエネルギーを放出している可能性を考える必要があった。もしそうならば、ウランを暗室に置いておくと、作用

は次第に弱くなってゆくはずである。しかし実験を繰り返して、数か月後になっても、ウランの作用はまったく減弱しなかった。放射能現象、つまりウランが自発的に放射線を放出していることが、こうして確立されたのである。放出されている光線は、発見者に因んでBecquerel線と名付けられた。Becquerelの1896年の論文は多くの研究者を同様な研究に向かわせた。その中には、ドイツのElster, Giesel, Schmidt, イギリスのKlemin, Crookes, カナダのRutherfordがいた。

この頃、ポーランドのMarie Sklodowska(後のCurie夫人)は、パリ大学の学生で、BecquerelとCurieのもとで物理、化学の学位論文の研究を行っていた。Sklodowskaの技術、正確度、知性を高く評価したBecquerelは、Becquerel線の研究をするようにすすめた。彼女の最初のテーマは、比較的単純なものであった。すなわち、「放射能がウランだけでなく他の元素にも存在する」ことを示すことであった。他の物質にも、弱いながらもこの性質があると考えていたが、まず元素の放射能を正確に測定する必要があった。この実験のために金箔検電計を用意した。この検電計を使って、彼女は様々な鉱石を系統的に調べ、トリウムがウランと同程度の放射能を持つことを発見した。しかし、彼女の論文発表直前に、ドイツのSchmidtがこの同じ金属に放射能を発見したことを発表していた。これに屈することなく、Curie夫人はウラン含有鉱石を調べて、ウランと同程度の放射能を持つことを発見した。最初の試料は、Becquerelが自分の実験に使っていたボヘミアのJoachimsthal産鉱石であった。これはピッチブレンド(pitchblend、瀝青ウラン鉱)として知られるもので、硬さと色がピッチ(瀝青)に似た黒い鉱石である。化学的には比較的純粋なウランの酸化物であるが、鉛、洞、ビスマス、バリウムなど他の元素を少量ずつ含むことが知られている。当時はその50%以上を占めるウランのために採掘されていた。Curie夫人が鉱石を砕いて乾燥粉末とし、検電計で放射能を調べると、純粋なウランよりも数倍強力な放射能をもつことがわかり、いずれの試料でもウラン含有量から予想されるよりも4~5倍の放射能が検出された。

Becquerelは以前から、ウランの放射能は原子固有の性質であるとしていた。つまり観測される放射能はウラン原子の存在量によってのみ決まり、他の物質との結合には影響されないということである。とすれば、ウラン鉱石の強い放射能は、ウラン自体よりさらに強力な放射能をもつ物質が存在するという仮定でしか説

\*Fellow in Radiology, The Mayo Foundation, Rochester, Minn.

明できない。Curie 夫人は夫も研究に引きこんで、協力して未知の元素の分離にとりかかった。オーストリア政府の厚意を得て、以前に使ったのと同じ種類のウラン残鉱 1 トンを手に入れた。ピッチブレンドをその成分に分離する作業は、現在でも著しく難しいものであるが、特に、現在では最も高品位な鉱石でも 1000 万分の 1 しか含まれていないことが分かっている未知の元素を探し求める Curie 夫妻には多難な仕事であった。放射性物質分離の目安としては、Pierre Curie の検電計で、放射性物質による電離を測定した。化学的な分離処理ごとに、沈澱物と蒸散により乾燥させた上清をそれぞれ試験し、放射性物質が沈澱、上清のいずれに存在するかを確認していった。この方法は、迅速な定性、定量分析法である。ここには一般的な考え方のみ記す。

まず鉱物を炭酸ナトリウムと加熱し、ついで塩酸に溶解し、硫化水素で処理する。透明な溶液から、黒い混濁した沈澱が得られる。銅、鉛、ビスマスを含む沈澱を分離すると、相当量の放射能がビスマスに随伴することが判明した。このビスマスに結合した放射性元素は、Curie 夫人の祖国に因んでポロニウムと命名された。ポロニウムはラジウムの壊変産物のひとつで、現在、ラジウム F とされている。透明な溶液にアンモニアを加えると、鉄とウランを含む新たな沈澱を形成する。この沈澱は、ウランを含むのももちろん放射能をもつが、上清を試験したところその放射能はその何倍も強力であった。上清に硫化アンモニアを加えると、非放射性的沈澱が得られる。最後に、残った上清に炭酸アンモニアを加えてその沈澱物を試験すると、もとのピッチブレンドよりも数倍強力な放射能が認められた。化学的に分析すると、この沈澱は主にバリウムからなることがわかった。純粋なバリウムを検電計で計測すると完全に非放射性的であることから、ピッチブレンドから得られたバリウムは、従来の化学的処理では分離不可能なバリウム類似の新たな物質を含んでいることは明らかであった。最終的な分離は、分別晶析法という、時間と手間のかかる方法で、これが 2 つの元素を分離する唯一の方法である。放射能をもつバリウムは、塩化バリウムに変換され、溶液を蒸散、乾燥して得られた結晶を熱湯に溶解した。溶液を冷却し、析出した結晶を集めるともとの物質よりさらに放射能が強かった。従って塩化バリウムとともに、塩化バリウムよりも水溶性の小さい塩化物を形成するバリウム類似の放射性金属が存在することが明らかであった。この新しい元素は、その放射性から「ラジウム」と呼ばれた。彼らはさらに大量の原料に分別晶析法を繰り返すことにより、さらに強力な放射能をもつ物質を作り、ついにウランの 30 倍の放射能を持つ物質を手にした。この最終生成物は、純粋ではないにせよ、少なくともこの新しい元素を多く含む物質である。白金線をこの塩に浸してからブンゼン灯の炎にいれると、残念なこ

とにバリウムに特徴的な緑の炎しか見えなかった。しかし、この光をスペクトル分析すると、バリウム以外に淡い輝線が認められた。さらに結晶化を進める必要があった。生成物の放射能はさらに高まり、新しい物質に特徴的な赤い色がブンゼン灯の炎を占めるようになった。さらに分離を繰り返す、その度に試料の量は減り、ほんのわずかになったが、ついにバリウムのスペクトル線が見えなくなった。想像を絶する労力と忍耐の末、純粋な塩化ラジウムがついに分離されたのである。純粋な塩化ラジウムの放射能は、発見者自身にとっても驚異的なものであった。検電計はほとんど瞬時に放射し、写真乾板はそばに近づけただけで感光した。その後、ラジウムの放射能はウランの 200 万倍であることが明らかとなった。

しかし、この 12 年後の 1910 年に、Curie 夫人と Debierne が、化学的にバリウムに似た、予期された通りの放射能を示す純粋な白い金属として元素を分離するまで、ラジウムそのものは入手できなかったことは興味深い点である。Curie 夫人が決定した原子量は 226.4 であった。金属ラジウムは、空気にさらすと空気中の水と反応して速やかに水酸化ラジウムに変化する。

1898 年、Curie 夫妻の論文発表は、大きな関心を巻き起こし、多くの優秀な研究者が新発見された元素の研究を開始した。Giesel は数ヶ月で抽出方法を単純化し、分別晶析法に要する時間を 3 か月から 1 か月に短縮した。彼は、ピッチブレンドから得られた放射性バリウムを塩酸ではなく臭化水素酸に溶解し、分別晶析法で分離しやすいラジウムとバリウムの臭化物を生成した。この方法により、Giesel はそれまでにない量（ウラン残鉱 1 トンあたり 4 グレイン、訳注：1 グレインは約 65mg）の臭化ラジウムを手にすることができた。これはボヘミアの Joachimsthal のピッチブレンドから抽出したものであった。ラジウム含有鉱石の価値を知ったオーストリア政府がその輸出を禁じたため、フランスとイギリスは世界中でラジウム鉱の探索にとりかかった。ラジウムは、地球の地殻に幅広く微量に分布していることがわかった。Strutt, Joly, Knocke らは、火山岩、泉水、海水にも微量のラジウムを発見した。

イギリスのコーンウォールにピッチブレンドが発見されたが、非常に少量であった。1899 年、2 人のフランス人鉱物学者がアメリカでピッチブレンドを探索し、ユタ州コロラドに大量の埋蔵鉱石を発見した。彼らはこれをフランス人化学者 Carnot にちなんでカルノタイト (carotite) と命名した。この鉱石の分析ではラジウムが含まれていたが、ピッチブレンドに比べるとかなり少量であった。しかしそれでもその発見以来、現在使用されているラジウムの 80% はこれから作られているものである。その後 14 年間のラジウム生産は非常に小さな規模でしかなかった。ワシントン D.C. の鉱

業局の広報誌によると、地球上のラジウムの供給量（約30g）のうち、アメリカからヨーロッパに送られた鉱石から18gが生産され、この大きな輸出量に対して、アメリカ国内の保有量は2g以下であった。

しかしこの報告書が出る少し前に、Vanadium Steelの創始者でありVanadium Steel CompanyのトップであるJoseph M. Flanneryは、その姉がんで死亡したことからラジウムに関心を持った。彼はラジウムで姉の命を救える可能性があることを知り、このような場合に使えるように国内のラジウム活用を決意した。彼はバナジウムその他の仕事から手を引き、この仕事に全力を傾注した。14か月の準備と実験の末、1913年にアメリカ初のラジウム抽出に成功した。これは全く新しい分野で、アメリカでは他にこれを知る人はなかった。抽出方法は、鉱石のラジウム含有量が100倍も多いヨーロッパのものとは全く異なるものであった。

Flanneryがカルノタイト鉱石の供給源とした鉱山は、コロラドの南西部、線路から100km離れた、乾ききった土地にあった。鉱山は約2,000km<sup>2</sup>の範囲に広がっており、集積工場と配送基地は多くの鉱山からアクセスしやすいところに設けられた。山中の鉱山から鉱石を運び、また水や資材を山中の鉱夫に届けるのにはロバが使われ、すべて本部が統括した。

1913年の最初のラジウム抽出以来、アメリカは世界最大のラジウム生産国となり、1922年には当時地球上で利用可能な推定175gのラジウムのうち、120gを生産していた。アメリカにおけるラジウム処理の概要は以下のようなものであった。カルノタイト鉱をまず細かい粉末に砕いて集積工場ですべて袋詰めにする。袋はロバ、馬車、トラックなどで鉄道に運ばれて還元工場に輸送され、そこで精製される。これはCurie夫人が最初にラジウムを分離したときの方法とほぼ同じであるが、もっと大規模である。約500トンの粉末化鉱石が、500ポンド（約220kg）の塩化バリウムラジウムになる。これがさらに研究室に送られ、臭化物に変換され、分別晶析法で分離される。1gのラジウムを得るには、カルノタイト鉱石500～600トン、蒸留水1万トン、石炭1,000トン、化学薬品500トンが必要である。現在作られているラジウムは事実上すべて、臭化物、塩化物、硫化物の塩である。臭化ラジウム、塩化ラジウムは水溶性で、主にラジウムエマナチオンの生成に使用され、不溶性の硫酸ラジウムは主にさまざまな治療用アプリケーションに使用される。

近年、アフリカのベルギー領コンゴの鉱石から抽出されたラジウムが市場に出回るようになった。これは大戦直前にベルギーの銅採掘業者が発見していたものであるが、戦争への悪影響を危惧して秘匿されていた。ここ数年、ようやく大規模な掘削が始まった。これは概ねボヘミアのピッチブレンドに類似したもので、こ

の結果ラジウムの価格は1g当り12万ドルから7万ドルに下落し、アメリカの鉱山の一部は、高品位の鉱石を手にした新会社に太刀打ちできず、一時的に閉鎖に追込まれた。新しく発見された鉱山がどの程度のラジウムを生産できるのか、現在のところ不明である。

## ラジウムの物理・化学的性質の発見と応用

Wilson, Thompson, Rutherford, Townsendによる気体電離の理論(1896-99)は、ラジウム分離のみならずその放射能の研究にも大きく貢献した。1899年、Giesel, Becquerel, Villardらにより、ラジウムからの $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線が分離され、研究された。 $\alpha$ 線は正に荷電したヘリウム原子で、ラジウム原子から秒速14,000～20,000kmで放出される。透過性には乏しく、事実上紙1枚で阻止できる。その後Curie夫人は、これがラジウムが放出する熱の主たる原因であることを示し、「1gのラジウムが1時間に放出する136カロリーの総エネルギーのうち、125カロリーが $\alpha$ 線によるものである」とした。 $\beta$ 線は、X線管の陰極線に類似ないし同一のものであることが分かり、負に荷電した粒子（電子）で、高速で飛翔してその速度に応じて厚さ1～5mmのアルミニウムを透過しうる。最近その速度が測定され、光速の2～98%であることが分かった。 $\gamma$ 線はX線のように電荷を持たない放射線で、より透過性が高い。 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線と異なって磁石によって偏向されず、屈折も反射もしない。電離作用、写真作用、蛍光作用を持つが、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線に比べると弱く、その比は $\alpha$ 線10,000、 $\beta$ 線100、 $\gamma$ 線1の割合である。しかしこれを補って余りある透過性を持つ。最近、ニューヨークのFaillaは、25m厚の鉛の後に $\gamma$ 線を検出したが、原則として10cmの鉛で99%が阻止される。ラジウムの $\gamma$ 線とX線を比較すると、最も短い $\gamma$ 線と同程度の透過性を持つX線を発生するには、200万ボルトの装置が必要と考えられる。Giesel, Becquerel, Villardらがこの研究を行なっているのと同様に、Rutherfordはトリウムが気体の放射性物質を放出していることを示し、これを「トリウムエマナチオン」と称した。この気体は気体を電離したり、写真乾板を感光する能力があるが、トリウム化合物から分離するとその放射能を急速に失う。この直後、Curie夫人は、ラジウムの近くに置いたものはすべて一時的な放射能を帯びることを示した。その後Dornによって(1901)、この誘導放射能は、ラジウムが放出する気体によって物質の上に放射性物質が付着するためであることが明らかとなった。この類似から、このガスは「ラジウムエマナチオン」と呼ばれ、多くの面、特にその放射能においてトリウムエマナチオンに類似する。化学的には高分子量の不活性、不安定な気体としてふるまう。

トリウムエマナチオン、ラジウムエマナチオンとそれによる放射能付着の問題は、RutherfordとSoddyを

して放射性物質の原子壊変の理論を推し進めさせ、これは現在広く受け入れられている。「放射能」は、原子の自発的転換の直接の結果である。この現象は、放射性物質それぞれに一定の速度で起こり、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を放出して新しい物質を生成し、この新しい物質がさらに転換して最終的に安定な原子に落ち着く。この壊変過程は、既知の化学的、物理学的的方法では、変化、促進することはできない。ラジウムの壊変では、ラジウムエマナチオンになり、この時これまで $\alpha$ 粒子として良く知られていた電離ヘリウム原子を放出する。ラジウムエマナチオンの原子は非常に不安定で急速に減衰し、「ラジウムA」として知られる固体に変化する。ラジウムAは、非常に急速に変化して、3分後にはその原子数はもとの半分になり、 $\alpha$ 粒子を放出して別の物質ラジウムBに転換する。この物質は半減期26分で、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を放出してラジウムCになる。ラジウムCは半減期19分、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を放出してラジウムDとなる。ラジウムDは、比較的放射性が弱く、推定半減期は16.5年で、 $\beta$ 線を放出してラジウムEとなる。ラジウムEの半減期は5日で、 $\beta$ 線を出してラジウムF、すなわち以前にポロニウムとして知られていたものに変化する。ポロニウムの半減期は136日で、 $\alpha$ 線を放出してこの系列の最終生成物であるラジウムGとなる。これは化学的に鉛と区別できず、原子量206であるが、通常の鉛は207.1である。ラジウムが放射能を失う速度は半減期として表わすことができる。これはラジウム原子数が壊変により半数になる時間である。これとともに当然のことながら、放射能も半分になる。この時間は、1,680年と推定され、この場合100年で3%の放射能が失われることになる。ラジウムエマナチオンの半減期は3.85日で、30日後に残る放射能は0.5%である。しかし、ラジウムからのラジウムエマナチオンの発生速度は、エマナチオンの減衰速度に比例するので、エマナチオンとラジウムは一定の平衡を保つことになる。Rutherford, Soddy, Becquerel, Giesel, Dorn, Curie 夫人らによるラジウムの顕著な特性に関する研究は、物質の構成、特に電気と物質の関係、分子や原子の構造に関するそれ以前の考え方の根本的な刷新を迫るものであった。

1900年、ラジウム光線の皮膚への作用を最初に記録したのは Walkhoff であったが、まもなく Giesel も 0.2g のラジウムに 2 時間曝露すると、2~3 週後に色素沈着を伴う強い反応が見られ、その後水泡、痂皮形成をみることを報告している。治癒後もその部位には発毛が見られなかった。ラジウム治療が最初の発展を見たのは、1901年、有名な「Becquerel 火傷」によるものであった。Becquerel は、非常に放射能が強いラジウムを試験管に入れてベストのポケットに数時間入れていた。2 週間後、ラジウムによると考えられる強い皮膚の炎症が出現した。Pierre Curie も、自らの体で実験し、

ラジウムの新しい特徴を発見して、パリの St. Louis 病院の医師 Danlos に医療用として試料を分与した。同年 Danlos は、塩化ラジウムによる紅斑性狼瘡の治療を報告した。ラジウムの量が許す限り速やかに、ヨーロッパ、アメリカの研究者がその利用法を研究した。ラジウムの治療薬としての効能を最初に唱えたアメリカ人は、おそらくボストンの物理学者 Rollins である。Rollins はそれまで X 線治療に大きな関心をもっていたが、1900年、前面がアルミニウムの小さな金属箱に強度 1,000 (ウランの 1,000 倍の放射能をもつ) ラジウム 500mg を入れて、同じくボストンの Williams [訳注: Rollins の義兄, Francis Williams] に治療用として手渡した。Williams はこのラジウムを蚕食性潰瘍と狼瘡の治療に使用したが、X 線にくらべて作用が弱く、一時は放棄していた。1903年、Williams は外国に出かけて 100mg の純粋な臭化ラジウムと、放射能がより少ない大量のラジウムを手に入れ、帰国すると Boston 市立病院にラジウムクリニックを開設した。同年ニューヨークの Sowers は、電話の発明者 Alexander Graham Bell から興味深い手紙を受け取った。彼はこれを American Magazine 8 月号に、この助言を医師が受入れることを明らかに意図して発表した。ここにその全文を再掲する。

Sowers 医師 侍史:

私は貴殿より、X 線やラジウムが放出する光線が体表の癌に顕著な治療効果をもつことを知りました。しかし、深部に位置する癌についてはこれまで満足な結果が得られていません。このような場合、不成功の一因は、外部に照射された光線が癌組織に到達するまでに様々な深さの健常組織を通過しなければならないためであると考えました。

X 線を放出する Crookes 管は、癌の中に入れるにはもちろん大きすぎます。しかし、少量のラジウムを細いガラス管に封入して、癌の中心部に挿入できない理由はなく、そうすれば病変組織に直接作用できます。この方向で実験してみることはできないでしょうか。

(署名) Alexander Graham Bell

ラジウムを最初に治療に供したアメリカ人は疑いなく Rollins であったが、ともかく成功と言える結果を出した初のアメリカ人医師はニューヨークの Abbe であった。その最初の論文「ラジウムと放射線」(Radium and Radio-activity) は 1904 年に出版され、第 2 報「ラジウムの秘めたる力」(The subtle power of radium) にはこう書かれている。「Curie 夫妻の研究室で製造された最高のラジウムによって、過去 15 か月間で経験した記録を供覧することを喜びとするものである。電信

による早期注文により、彼らが(今や歴史的となった)熱量決定に使用した大量の試料の一部である、強度 30 万のラジウム 0.15g を入手することができた。これに加えて、ドイツの業者から入手した強度 100 万とされる強力な試料を使用し、海外の研究者の業績を確認するとともに、いくつかの自験例を加えることができた」。

ヨーロッパにおけるパイオニアは、Lazarus, Mache, Szilard, Dnalos, Wickham, Degrais, Bashford, Becquerel, Czerny, Freund, Bayet, Schiffらで、アメリカでは前述の人々の他、Hammer, Cleaves, King, Morton, Duane, Kunz, Robarts, Trowbridge, Metzenbaum, Pegram, Piffard, Pusey, Tracey, Winklerらの名前が挙がる。

### ラジウムによる初期の疾患治療

皮膚癌, 尋常性狼瘡, 紅斑性狼瘡, 乾癬,	
ポートワイン母斑 (Danlos)	1902
白斑症 (Rehns, Salmon)	1904
ケロイド (Williams, Wener, Herschell)	1904
湿疹 (Lassar)	1904
疣贅 (Abbe, Bockoff)	1904
色素性母斑 (Hartigan)	1904
乳癌 (Lassar, Abbe)	1904
黄色腫 (Barcat, Bond)	1905
肉腫 (Morton)	1905
子宮頸癌 (Abbe)	1905
子宮筋腫 (Abbe)	1905
眼球突出性甲状腺腫 (Abbe)	1905
湿疹 (Blaschke)	1905
毛瘡, 酒さ, 紅色苔癬 (Blaschke)	1905
血管腫 (Wickham, Degrais)	1906
湿疹 (Wickham, Degrais)	1906
口唇・舌・口腔粘膜の上皮腫 (Abbe, Dominici)	1908
鼻瘤 (Wickham, Degrais)	1909

初期の 10 年間、ラジウム治療には 2 つの困難があった。すなわちラジウムの供給不足、および治療用ラジウムの標準化法の欠如である。精度を高めるために、放射線電気学会 (Congress of Radiology and Electricity) のブリュッセルでの会合では、Curie 夫人に標準を設定するよう依頼した。これは純粋な塩化ラジウム 21.99mg を細いガラス管に封入したものであった。1912 年 3 月、これは国際ラジウム標準 (International Radium Standard) として採択され、パリ近郊セーブルの国際度量衡局に保管された。世界中の政府がこの複製を用意し、アメリカではワシントン D.C. の米国家度量衡局がこれに当たった。前述のようにそれまでは、ラジウムの放射能はウランとの比較で決定されていた。例えば、強度 1,000 と言えば、ウランの 1,000 倍の放射能をもつという意味であった。その後、ラジウムの量を比較する方法として  $\gamma$  線が広く使われるようになった。これは、ラジウム治療の標準化に向けた最も重要な進歩であった。方法は比較的簡単で、 $\alpha$  線、 $\beta$  線を

遮蔽し、 $\gamma$  線の電離能を金箔検電計で計測するものである。米国内で販売されるラジウムはすべて、ワシントン D.C. の標準ラジウムと  $\gamma$  線法により 30 日間にわたって比較され、それに応じて格付けされる。

Danlos の素朴なアプリケータはその後の研究者によって手が加えられ、その一部は現在も使われている。Dane はニス塗り板を導入し、Dominici はラジウム塩を満たした金属管を考案したが、これは Alexander Graham Bell のアイデアによるものとする。その後、これらの管は端を尖らせて腫瘍に刺入できるようになった。Dominici は、相応の放射線量が必要な場合に、刺激性の  $\alpha$  線、 $\beta$  線を適当なフィルタで除去することの必要性を初めて唱えた。

ラジウムの代わりにラジウムエマナチオンを管やアプリケータに入れて治療線源とする方法は、1912 年に London Radium Institute で初めて使用された。ラジウムからエマナチオンを取り出す最もよい方法として知られていたのは、試料を水あるいは稀塩酸に溶解して、その容器を通常の水銀ポンプにつなぐことにより、発生したエマナチオンを水銀の上で容易に収集できるという方法であった。このようにして得られたラジウム塩の溶液は、ただちにさらなるエマナチオンを発生し、ラジウム量に応じた平衡に達するまで続く。ラジウム 1g と平衡するエマナチオンは一定量であることが見いだされ、現在この量は発見者に因んでキュリー (curie) とされている。この量は通常の目的には非常に大きなものなので、ミリキュリー、マイクロキュリーが一般に使用され、それぞれ 1mg, 0.001mg のラジウムに相当する。ラジウムエマナチオンの放射能を考えると、ラジウムから気体を分離してガラス管に封入すると、3 時間にエマナチオンが放出する放射能は、ガラス管をラジウムで満たした場合と同じであるという事実は驚くに値しない。しかし、このガラス管の放射能は徐々に減衰し、約 30 日後には治療目的には役立たない程度になる。London Radium Institute で最初に使用されたエマナチオン工場には、当然のことながら多くの改修、改良が加えられ、現在ではラジウムが放出するエマナチオンの 90% 以上が収集、利用できるようになった。エマナチオンは多くのクリニック、施設で利用されているが、経済的に利用できるに十分なエマナチオンを放出するには、0.5g 以上のラジウムが必要となるので、一般的とは言えない。

1912 年には、多くの施設でラジウム治療が行なわれていたが、経験という意味でもっとも重要だったのはおそらく Wickham と Degrais 率いるパリの Laboratoire Biologique du Radium (ラジウム生物学研究所) であろう。次いで重要だったのは Dominici のパリの St. Louis 病院で、この他ウィーンの高デルベルクにもラジウム施設があった。1913 年、Kroenig, Gauss, Bumm, Döderlein は、子宮頸癌の治療にメソ

トリウムを精製した試料からの大量の  $\gamma$  線を使用して驚くべき結果を報告し、ハレの婦人科学会で報告して、医学会に衝撃を与えた。「ラジウムフィーバー」がヨーロッパを席卷し、ラジウムの製造が需要に追いつかなくなった。当時は有害であったものの、この宣伝効果は、実直な科学者の管理下にあった大量のラジウムを、多くの良質な病院や施設が購入する契機となったという点ではそれなりに良い効果が得られた。アメリカでは、ラジウム治療は受容されたものの、大戦が始まってヨーロッパとの交流が不自由になるまで、治療学の重要な選択肢とはならなかった。大戦と、米国内でラジウムが大量生産されるようになって、その利用に大きな弾みがつき、現在では米国内ではその他の地域の2倍のラジウムが治療に使用されている。1912年移行のラジウム治療の発展については詳述しないが、初期の誇大な報告ほどの結果は得られていないものの、合理的、着実な進歩を遂げていると述べれば十分であろう。

ラジウム治療の限界が合理的に理解され、外科医、放射線科医の協力により、さらに良い結果が得られるようになっている。単一の方法に頼るよりも複数の方法を組み合わせることで、ラジウム治療は安全かつ健全な基盤の上に立つことが期待できる。

【参考文献】

1. ABBE, R.: The subtle power of radium. Tr. Am. Surg. Assn., 1904, XXII, 253-262.
2. ABBE, R.: Radium and radio-activity. Yale Med. Jour., June, 1904, 433.
3. BARCAT, J. J.: Précis de Radiumtherapie. Paris. Maloine, 1912, 326 pp.
4. CHASE, C.: American literature on radium and radium therapy prior to 1906. Am. Jour. Roentgenol., 1921, VIII, 766-778.
5. CLAUDE, G.: L'électricité à la Porte de Tout le Monde. Paris. Dunod and Pinat, 1919, 459-466.
6. COLWELL, H. A., and RUSS, S.: Radium, X-rays and the Living Cell. London. Bell and Sons, 1915, 34-85.
7. CURIE, P., and BEMONT, G.: Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende. Compt. rend. Acad. d. sc., 1898, CXXII, 1215-1217.
8. LEVY, L. A., and WILLIS, H. G.: Radium and Other Radio-active Elements. London. Marshall and Company, 1905. 13; 19; 20.
9. MACKEE, G. M.: X-rays and Radium in the Treatment of Diseases of the Skin. Philadelphia. Lea and Febiger, 1921, 22-25.
10. RUTHERFORD, E.: Radio-active Substances and their Radiations. Cambridge University Press, 1913, 335-346.
11. SIMPSON, F. E.: Radium Therapy. St. Louis. C. V. Mosby, 1922. 21; 22; 25; 26; 27; 29; 41.
12. STRUTT, H. J.: The Becquerel Rays and the Properties of Radium. London. Arnold, 1906, 26; 35; 36.
13. VIOL, C. H.: A sketch of the life and work of Joseph M. Flannery, Radium, 1920, XIV, 99-111.
14. VIOL, C. H.: History and development of radium-therapy. Jour. Radiol., Sept., 1921, II, 29-34.