

## 第4章 レントゲンのX線防護対策

### □4-1. 「トタン小屋」の製作時期

レントゲンは、ダムに対して「トタン小屋」の製作時期は「初期の頃」と答え、その使用目的は「移動用暗室」や「写真乾板」のかぶりを防ぐためと説明している。「移動用暗室」の使用方法は具体的に述べていないため、単に「暗幕代わり」だけと受け取られかねないが注意が必要だ。レントゲンにとっては自明のことなのだがX線の実験において暗室とは、可視光線に対する暗室という役割だけでなくX線に対する暗室という2つの役割がある。例えばX線防護や写真乾板のかぶりは、可視光線だけではなくX線の影響でもあり単なる暗幕代わりではない。

レントゲンはダムに意図的に間違った説明しているわけではないが、「トタン小屋」の製作目的の全体は、いろいろな理由がオーバーラップしているので、「移動用暗室」の意味やその使用方法の全体像をダムに短時間で説明することは困難であったからだろう。以下では、レントゲンがダムに対して説明できなかった「トタン小屋」の設計の背後にあるものとトタン小屋の製作時期についてもふれていきたい。

トタン小屋はいつ頃製作されたのか、というわれわれの重要な疑問点に対してレントゲンは、次のようなヒントを与えてくれている。レントゲンは、ダムの質問に答えて、「**初期の頃の実験**では―――不便だったので」と答え、「トタン小屋」は実験を始めてからまもなく製作を開始したことをうかがわせる答え方をしている。

レントゲンがX線の存在に気がつき、本格的に実験を始めたのは11月8日(日)からである。彼は、学内で極秘に研究を進めるために学生や助手がいなくなる金曜日の夕方から日曜日の夜まで、集中的に実験を開始している。金、土、日曜日の週末3日間はX線に被ばくし、残りの4日間はX線被ばくのない通常の大学の仕事をするというローテーションで週末実験を繰り返している。1895年12月28日に論文を投稿するまでのレントゲンのスケジュールを1895年のカレンダーを復元し、週末実験が何回実施できるか割り振ってみる。すると表1のように12月20日(日)まで合計6回実施されたものと推定できる。

表1では6回の週末実験を前半3回と後半3回に便宜的に分けてみた。「初期の頃の実験では―――」というレントゲンのいう「初期」とは、すくなくとも終末実験の前半3回の中のどこかではなかろうかと推測できる。

ただ、このトタン小屋の構造をよくみると、これを設計するには実験によるX線についての

一定程度以上の知見が不可欠ことがわかってくる。「初期」の頃といっても実験を始めた1回目の直後ではなく、少なくとも2回目以降程度の知見の内容に見合った時間が必要なが分かってくる。



表1. レントゲンの週末実験などの日程（予想）

表1のコメント：表には、すでに第1章で述べた論文発表にまつわるレントゲンの緻密な情報戦略のスケジュールの流れが一望できる。ここではその前の段階の実験とX線障害の発症、その対策の実施またそれをまとめる論文執筆がどのように行われたのかがこの2ヶ月のカレンダーからみていこう。

設計に必要な一定程度の知見とは、例えばトタン小屋の全体は、X線の遮蔽能力の高い亜鉛板を使っていること。そしてクルックス管と向き合う正面の壁の亜鉛板は、直径46cmもの大きさの円形にくりぬかれたX線の取り込み窓が作られている。そのくりぬかれた部分には、可視光線を遮蔽するがX線は透過しやすいように1mm厚のアルミニウム板で蓋をしている。

このように亜鉛板やアルミニウム板のX線に対する透過特性を考慮して窓を設計している。これを見ると、レントゲンは、様々な金属がX線を遮蔽する性能の違いを定性的に理解しているだけでなく、一定程度だろうが定量的に理解するレベルにまで知見が及んでいることがわかる。また、初期の段階ですでにX線の写真乾板に対する感光作用にも気がついており、写真乾板のかぶり(X線による感光)を防ぐための対策にトタン小屋が必要であるこ

とも言及している。驚異的なスピードの観察力といえる。初期の段階で X 線の感光作用(電離作用)にも気がついている。放射線の発見を巡って、膨大な数におよぶ科学者がこうした写真乾板のかぶりを体験しているが、誰もそれを放射線と関連づけることが誰もできず、欠陥品の写真乾板としてかたづけしていた。それをあつという間にレントゲンはつきとめている。おそらくその原因は、レントゲンの研究テーマが放電実験そのものではなくエーテルを伝わってくる「縦波の電磁波」の発見という仮説を携えて放電実験を実施しているからだろう。レントゲンの視点は未知の線が電磁波と言う視点から実験が展開されている。紫外線の電離作用の延長線上から「未知の線」の写真乾板への電離作用を考えたり、偏光現象の確認実験にも成功していないが取り組んでいる(偏光現象が確認できれば、自分の縦波仮説は否定される)。

レントゲンは X 線の現象を前にして一人で「何度も何度も同じ実験を繰り返して、自分を納得させなければなりません。」と述べている。共同研究者なしで X 線の驚異的現象を前にすれば当然のことだっただろう。こうした点から、初期の段階の実験においては、後半の週末実験と比較してレントゲンの実験はさまざまな科学の基本的現象をひとつひとつ確認するために長時間を要し、被ばく量も格段に多い X 線まみれの日々であった事が予想される。

レントゲンは当時においていかに抜群に優秀な実験物理のプロであったとはいえ、1 回目の週末実験 3 日間で先に述べたトタン小屋を設計する基本的知見まで到達するのは困難と思われる。他方、トタン小屋の製作時期が後半の週末実験まで伸ばすと、「初期の頃」というレントゲンの説明と矛盾してくる。こうしたことを考慮して、トタン小屋が製作された「初期」の時期とは、第 2 回目の週末実験、あるいは火傷が発症するまでのタイムラグを考慮して 3 回目の週末実験にかかる前後の時期である可能性が高いと言ってよいだろう。

また、このレントゲンの火傷の発症時期に矛盾がないかどうかを検証するために、当時の X 線障害発症者の被ばく時間の記録や E.トムソンによる自身の指で X 線被ばくの人体実験をした記録があるが、その記録とレントゲンの被ばく時間の推定時間をつきあわせる方法がある。この点から検証しても矛盾はないが、その詳細は稿をあらためて紹介したい。

#### □4-2. 「初期のトタン小屋」

レントゲンはダムのインタビューを終えると、次の実験のために「トタン小屋」のバージョンアップに着手している。以下では最初に製作したトタン小屋はこれから「初期のトタン小屋」と呼び詳しくふれていくが、それを改善した「トタン小屋」は「バージョンアップ版」と呼び区

別していきたい。

雑誌記者ダムが細かく報告しているデータから書き上げた初期の「トタン小屋」を使った実験室の平面図は図 15 に示した通りだ。その図面などからレントゲンの実験方法に大きな変化を読み取れることが二つ見られる。

第 1 にあげられるのが、すでに述べたようにトタン小屋の壁の仕様である。正面の窓のみ X 線をよく透過する 1 mm 厚のアルミ板を使用していることを除いてすべての壁は X 線が透過しにくい亜鉛板が使用されていること。第 2 は、レントゲンはトタン小屋を「移動用暗室」(傍点筆者)と呼んでいることから「クルックス管」と「トタン小屋」を移動してその距離を実験に最適な距離に調整して実施していること。

ダムが実験を体験した時、クルックス管(X 線源)とトタン小屋の距離はあらかじめ約 5 インチ(約 12 cm)であったことが雑誌で報告されている(図 15 参照)。これは、あらかじめレントゲンがかなり接近した値にセットしていたからである。そしてレントゲンはダムをトタン小屋に招き入れ、すぐに厚い書籍を X 線が透過する実験を体験させている。本を蛍光板の前に置いたり、取り除いたりしても本によって本の後ろにある蛍光板の光り方に全く変化がなく、X 線は本の影響を全く受ることなく通り抜けていることをはっきりと確認をしている。X 線はトタン小屋の内部にどのように広がっていくか、その様子は図 15 で図示した矢印をみれば明らかのように、ダムは、トタン小屋の中で実験しているにもかかわらず、実はまったくといって良いほど X 線から防護されていないことがわかる。クルックス管とトタン小屋の距離が 10 cm 程度の場合、X 線の取り入れ窓の大きさが直径 46 センチもあるので、亜鉛板によって X 線をさえぎる人間一人分の影のスペースはほとんどできない。写真乾板程度の大きさであればその防護スペースは確保できるかもしれない。ダムとクルックス管との距離は 20~30 cm しかない位置関係では、亜鉛板による X 線の遮蔽効果も発揮されず、トタン小屋はあってもなくても実験者に対する X 線の被ばく量はほとんど変化がないといってよいだろう。

#### □4-3. 「初期のトタン小屋」の防護システム

レントゲンが通常トタン小屋を使って実験をしている方法は、ダムが体験した実験の方法と、実は全く異なっている。ダムに実施した実験方法では、正確にいうとトタン小屋があってもなくても変わらないものであった。ダムに実施した実験メニューは、厚い本で X 線の通り道をさえぎってもさえぎらなくても蛍光板の発光の仕方が変わらないことを確認させ、紙は X 線をよく透過する素材であることを確認させる内容であった。

ダムが体験した実験は、もし X 線防護を配慮した方法で行うのであれば、レントゲンは次のように実施するだろう。

レントゲンは、トタン小屋を作る以前から実験を始めるに先だって、いつもライトを消し「暗闇の中で目を順応させるためにしばらく待機」(『レントゲンの生涯』W.Robert Nitske, 考古堂、p76)してから実験を始めている。トタン小屋を製作したあとも、目を完全な暗黒に慣らし目の感度を最高の状態にし、この状態で X 線源からできるだけ距離を大きくとり、なおかつ実験結果が適切に観察できる位置までトタン小屋を移動し、それを実験に最適な状態としたものと思われる。

実験結果を最適に確認できて、クルックス管とトタン小屋の距離を最大にする位置がセットできたら、レントゲンはトタン小屋の内部に入って扉を閉め、内部の暗黒に十分になれ目が最高の感度になってから実験を始める。そのために一度暗室に入ったら外に出る必要がないようにトタン小屋の内部に、クルックス管の電流を遠隔制御するための電流コントローラーも引き込んでいる。こうした実験の方法は、トタン小屋の位置確定まで試行錯誤し、実験の準備に時間はかかるが、X 線の被ばく量は大幅に減少させることができる。これがレントゲンが「移動用暗室」と呼んだ使用方法と思われる。ただの暗室ではなく「移動用」の暗室である理由である。

こうした方法によって、もしクルックス管から今までの距離の 3 倍離れることができれば X 線の被ばくは 9 分の 1 になる。10 倍離れることができれば被ばくは 100 分の 1 にもなる。被ばく線量率(単位時間当たりの被ばく量)は距離の二乗に反比例するのでその効果は急激に現れてくる。被ばく量が距離の 2 乗に反比例する法則について、レントゲンはクルックス管から 10 cm、20 cm の距離でデータをとり、「第 1 報」の論文において X 線の強度の変化が 2 乗に反比例する法則の実証に成功したことを述べている(注 X)。トタン小屋の移動による距離による X 線防護の効果は、レントゲンは簡単にその効果を計算し予測できていたものと思われる。またクルックス管とトタン小屋の距離が大きくなるにつれ、トタン小屋に入射する X 線は平行光線の状態に近くなるので、トタン小屋による X 線の遮蔽スペースも大きくなっていくことも自明なことであった。

ダムの実験方法ではレントゲンがあらかじめクルックス管とトタン小屋の距離を 5 インチ(12 cm)というかなり接近した距離に設定している。その理由は厚い書籍の透過実験でダムが

暗闇になれる時間待機する必要もなくすぐにその実験結果を確認できるようにするためだろう。ダムの実験メニューは一つしかなく「被ばく時間」が短いので、「ダムの X 線の被ばく量」は、少なくとも問題にならないと判断したものと思われる。ここではタン小屋を移動して X 線被ばくに対する防護を考慮した最適の位置をさがす方法はとらず、迅速に実験結果を確認する方法を優先したものと思われる。

ここでタン小屋の窓のサイズが 46 cmもある事についてふれておきたい。タン小屋の X 線の引き込み窓のサイズが直径 46 センチというのは異様に大きいサイズである。X 線防護の観点からすると、窓は小さくして X 線ビームを絞り、小屋の内部にいる実験者が X 線に被ばくするのをかわしやすくするのが常識である。もちろんレントゲンはそのことを理解した上で X 線の窓を 46 cmにしているものと思われる(注)。

(注)山崎岐男氏は「孤高の科学者 W.C.レントゲン」、P122-P123、医療科学社、1995 においては、X 線の引き込み窓のサイズを「4.6 cm」と一桁小さい値で報告している。ダムは雑誌 McClure's Magazine Vol6, No.5, April の記事において「46 cm」と報告し、山崎岐男氏との間に食い違いが生じている。本稿ではダムの雑誌 McClure's Magazine の値を正しいとみなし、タン小屋による防護性能の検討をしている。

レントゲンが X 線の取り入れ窓をこれだけ大きくせざるを得なかった理由は、レントゲンの論文「第 1 報」のなかで報告されている実験メニューと密接な関係があると思われる。たとえば、レントゲンは当初 X 線の遮蔽性能は物体の密度の大きさに決定されているのではないかと考え、その素材を使って透過性の比較実験を行っている。ガラス、アルミニウム、方解石、石英など、約  $0.2\text{kg/m}^3$  の同じ密度をもった物体を同じ厚さにした試料を用意し、それぞれに等量の X 線を照射する。このとき X 線の透過性が同一かどうかを確認するために、試料を同一平面に配置して透過 X 線の違いを確認する実験を行っている。この実験を行うためには複数の試料を同一平面に配置し、そこにできるだけ X 線を均等に照射するためには X 線のとり入れ窓を大きくするしかなかったものと思われる。窓を絞って小面積で個別に同一量の X 線を照射し、比較する方法もないわけではないが、当時では技術的に困難であっただろう。X 線発生装置の安定性に問題があり、照射強度の正確な再現性が期待できなかったからだろう。

また X 線の透過性は原子量の大きさとどういう関係があるのかを調べる実験においても同じ問題が生じている。「白金、鉛、亜鉛、アルミニウムの薄板を圧延によって作成し、これら

がすべてほぼ同じ透過性能になるまでそれぞれの薄板の厚さを調整させていく根気のいる実験もしている。この時もそれぞれの透過性が同一になっているかどうかを検証するためには、密度の実験と同じ理由で大きな X 線の窓が不可欠になったものと思われる。

こうした実験内容から X 線の取り入れ口を大きくして、トタン小屋の中に広い照射面にわたって一定の強度の X 線を確保しなければならなかった。すでに火傷を体験していたレントゲンはこうした被ばく環境の中で、実験を続行するために、X 線の防護システムをトタン小屋を移動型暗室として使う方法を考案したものと思われる。

その要点を再度まとめてみる。まず、トタン小屋によって外部の可視光線を徹底的に遮蔽して内部に完全な暗黒空間を作る。その暗闇に時間をかけて目を順応させ、最高の感度の状態にする。高感度な視力で実験観察に支障が生じない範囲で放電管との距離を可能な限り大きくしていき、X 線の被ばく率を小さくしていく。被ばく量は距離の 2 乗に反比例して急速に小さくなる。それに対して、被ばく量は単純に時間の大きさに比例して増大するだけである。このため実験では距離を 2 倍大きくすると、同じ被ばく量になるのに 4 倍の時間を確保でき、実験観察に余裕を持って取り組むことができるようになる。レントゲンは実験が始まったらトタン小屋の外に全く出て行かなくてもよいように放電管の電流の制御をトタン小屋の中から遠隔制御するコントローラーの製作の製作も行い、その対策は徹底している。

レントゲンはダムに対して X 線が厚い書籍を透過する実験を丁寧に説明しながら実施しているが、トタン小屋の機能やいまだ科学的証明がなされていない X 線障害やその防護の必要性、レントゲンが実施している防護対策の詳細についてもまったく説明していない。また、何故トタン小屋の中には、クルックス管を入れないで、観察者だけが入るかも説明していない。ダムもこのことの質問をしていない。一雑誌記者にこの一部始終を話しても理解してもらえない事は不可能であったと判断したからだろう。

レントゲンの実験室の公開の目的は、科学的に証明されていない X 線防護システムの詳細ではなく、それに X 線の実験にさいしてレントゲンにとって小屋の存在が不可欠なトタンを X 線に被ばくしている多くの人々に知らせることであったのではないだろうか。

X 線源は外部に残しレントゲンだけ「トタン小屋」の中に入って実験していること、それが X 線の実験を続けるうえで不可欠なことであることを人々に印象づけたかったのではなかろうか。X 線は悪魔の光線ではないが、反対に天使の光線でもない。X 線を取り扱う者は常に用意周到な「トタン小屋」という準備をしている事実を知って欲しかったのではないだろうか。

(4 章終わり)

