

メタ研歴史探訪

—金属と著名人 金と理論物理学者ボーア—

日鉄鉱業株式会社技術顧問 五味 篤

ニールス・ボーア(写真 1)^(注1)は、「現代物理学の父」と称される、デンマークのユダヤ系理論物理学者で、1903 年にコペンハーゲン大学に入学、1911 年に英国マンチェスター大学のアーネスト・ラザフォード(写真 2)^(注2)の指導のもとで原子模型の研究を行った。ラザフォードは、原子は中心に正に荷電した原子核と核外にあって円軌道を周遊する負に荷電した電子からなるという原子模型を提唱した。その後、ボーアはコペンハーゲン大学に戻り、1921 年にニールス・ボーア理論物理学研究所(Niels Bohr Institute:写真 3)を設立し、ラザフォードの原子模型を修正し、代わってボーアの原子模型を提唱した。ボーアの原子模型は量子論的な水素原子模型といわれ、電子は粒子として原子核の周りに波として存在し、その軌道の円周の長さは電子の波長の整数倍に等しいとした。1922 年に原子論構造の研究によってノーベル物理学賞を受賞した。



写真1 ニールス・ボーア
(Niels Henrik David Bohr)
<https://baike.so.com/doc/530781-561978.html> より転載

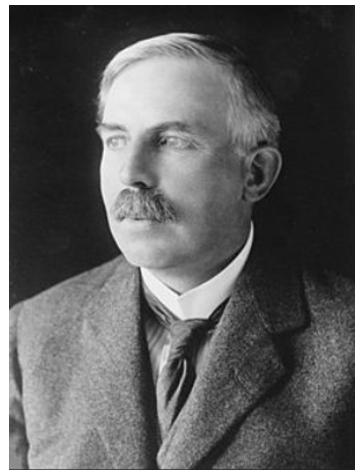


写真2 アーネスト・ラザフォード
(Ernest Rutherford)
<https://birthday-database.com/person.html?id=31252> より転載



写真3 ニールス・ボーア理論物理学
研究所
ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)
(1970):ニールス・ボーア 図版 p.32 より転載

1933 年頃になると、ユダヤ系科学者に対するナチスの弾圧が厳しくなり始めた。デンマークのコペンハーゲン大学にあったボーアの研究所は、職を追われてドイツを離れなければならなくなった多くのユダヤ系研究者の最初の避難所となった。ボーアはスイス、スウェーデン、英国、米国の研究者達と連絡をとって研究者の就職ポストを捜し、種々の事務手続きも行って、彼らのドイツ国外への亡命を支援した。

ドイツの製薬会社 BASF 社の技師カール・ボッシュ(Carl Bosch:1874 - 1940 年)は反ナチス主義者で、ヒトラーに「ユダヤ系の科学者を追放することは、ドイツから物理や化学を追

放することである」と警告したが、ヒトラーは「それならこれから百年、ドイツは物理も化学もなしにやっていこうではないか」と答えたという。

ドイツの反国家社会主義者でナチスを公然と批判し、ユダヤ系研究者を擁護したマックス・フォン・ラウエ(写真4)^(注3)と、ユダヤ系研究者ジェームズ・フランク(写真5)^(注4)は自分達の名前が刻まれたノーベル賞メダルをナチスに没収されないようにするために、ボーアの研究所に送って保管して貰っていた。ラウエは1914年に物理学賞、フランクは1925年に物理学賞を受



写真4 マックス・フォン・ラウエ
(Max von Laue)

<https://alchetron.com/Max-von-Laue> 寄り転載



写真5 ジェームズ・フランク
(James Frank)

<https://alchetron.com/James-Frank> より転載

賞していた。ナチスは1935年に投獄された平和活動家カール・フォン・オシエツキー^(注5)がノーベル平和賞を受賞したことで、それ以降はドイツ人がノーベル賞を受賞することを禁止していた。また、ドイツから国外に金を持ち出すことを違法としていた。デンマークでラウエとフランクの2つのノーベル賞金メダルを発見されたなら、メダルに名前が明記された彼らは処刑される可能性があった。

遂に1940年4月にナチス・ドイツ軍がデンマークに侵攻してきた。



写真6 ゲオルク・ド・ヘヴェシー
(George de Hevesy)

<https://www.pinterest.jp/pin/533324780843866289/> より転載

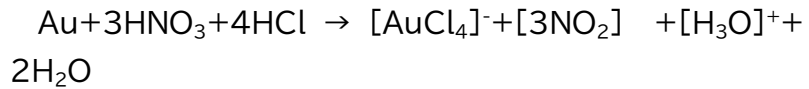
米国の友人達はボーアとその家族に危険が及ぶことを恐れ、ボーアにいつでも米国に招待する用意があることを頻繁に知らせてきた。しかし、学生達の教育のため、また研究所を守るため、ボーアと家族はできるだけデンマークに留まる覚悟をしていた。その背景には、研究所を正常な形で維持することはナチスに対する抵抗になり、それはまたデンマーク市民を勇気づけることに繋がるとの考えがあったからという。また、研究所は長年にわたりユダヤ人科学者を保護してきた。ナチスはそのことを承知しており、ボーアもデンマークが突然ドイツ帝国の一部となったことで、自分も標的になっていることを知っていた。ボーアの研究チームのメンバーで、1923年にハフニウムを発見していたハンガリー人科学者、ゲオルク・ド・ヘヴェシー(写真6)^(注6)は、当初はメダルをどこかに

埋めて隠すべきだと提案した。しかし、ボーアはナチス・ドイツ軍が建物のあらゆる場所を捜索し、敷地や庭を掘り返して、すぐに発見してしまう可能性が強いと考え、遂にメダル(写真7)を王水^(注7)で溶解することに決めた。他の貴金属と同様、金はかなり不活性であるが、王水には溶解する。王水と金の化学反応では、先ず硝酸が強力な酸化剤として最初に金と接触し、表面



写真7 ニールス・ボーアが1922年に受賞したノーベル賞メダル
Niels Bohr Institute,
University of Copenhagen
<https://nbi.ku.dk/english/www/niels-bohr/nobelprisen/> より転載

のいくつかの金原子から電子を剥ぎ取り、それらを荷電した金イオン (Au^{3+}) に変え、次に塩酸の塩素イオン (Cl^-) と金イオンとが反応し、四塩化金酸 (HAuCl_4) として溶解する。



しかし、直径 66 ミリメートル、重さ約 200 グラム、純度 23 カラットのメダルの金は、予想したほどにはなかなか反応しなかった。ナチス・ドイツ軍がコペンハーゲンの街を行進している間、ド・ヘヴェシーにとっては耐え難い午後の時間だったに違いない。ノーベル賞メダルの溶解の進行は遅かったが、時間が経つにつれ、何とか両方のメダルは無色の溶液になり、それがかすかに桃色になり、次に明るいオレンジ色になったと回想されている。ナチス・ドイツ憲兵が到着するまでに、メダルはフラスコの中で液化し、フラスコは研究室の高い棚に放置された。

ナチス・ドイツ憲兵が研究所を占拠したとき(写真 8)、彼らは略奪品や不正行為の証拠を求めて建物をくまなく探したが、棚のオレンジ色の王水のフラスコは手つかずにそのまま残された。3 年後の 1943 年、ナチス・ドイツ軍支配下のコペンハーゲンもユダヤ人科学者にとって、もはや安全ではなくなったため、ド・ヘヴェシーは遂にスウェーデンへと向かった。

ボーアに対しては英国諜報部から秘密メッセージが送られてきた。それは一束の鍵の中の一つに穿たれた孔に隠された、縦横 0.5mm 以下のマイクロフィルム(写真 9)で、英国に招待する内容であったが、ボーアは引き続きデンマークに残ることにした。しかし、1943 年 9 月にユダヤ人強制移送計画が察知されたため、遂にボーアと家族はスウェーデンに脱出し、ボーアの



写真8 理論物理学研究所の門に立つナチス・ドイツ兵
研究所は 1943 年から 1944 年にかけて約 2 箇月間ナチス・ドイツ軍によって占領された。ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)(1970):ニールス・ボーア 図版 p.19 より転載

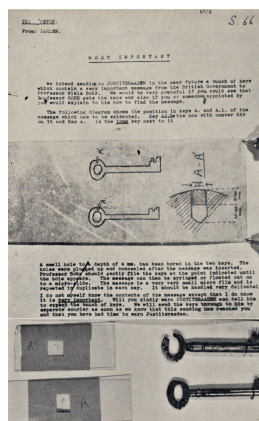


写真9 英国諜報部から送られてきた秘密メッセージ
鍵に穿たれた孔にメッセージが書かれたマイクロフィルムが隠され、顕微鏡によって判読された。ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)(1970):ニールス・ボーア 図版 p.22 より転載

みが英国に渡り、さらに 1943 年 11 月には米国ニューメキシコ州ロス・アラモス(注 8)に滞在、次第にロバート・オッペンハイマー(注 9)が統率する原子爆弾製造のマンハッタン計画に関与するようになった。

ナチス・ドイツ軍の敗北後の 1945 年 8 月に彼が研究室に戻ったとき、例のオレンジ色の液体の入ったフラスコはそのまま残されていたのが確認された。彼は溶解した金を沈殿物として回収し、1950 年 1 月頃に

事情を記した手紙とともにその沈殿物をストックホルムのスウェーデン・アカデミーに送った。その後、ノーベル財団は元の金を使用してメダルを再鋳造し、1952 年にラウエとフランクに再授与した。フランクは 1952 年 1 月にシカゴ大学での授賞式で再鋳造されたメダルを受け取ったことが記録されている。



写真 10 デンマーク歴史博物館のあるフレドリクボー城(Frederiksborg Slot)
<https://www.pinterest.jp/pin/458522805803228840/> より転送

ボーアもノーベル賞メダルを持っていたが、フィンランド救済のための資金を集めるために、1940 年 3 月にオークションに出品された。落札者は匿名で、後にボーアのメダルをフレドリクボー城(Frederiksborg Slot)のデンマーク歴史博物館(写真 10)に寄贈し、現在もそこに展示されている。

金を溶解する溶液としては、王水のほかに、セレン酸(熱濃セレン酸)、ヨードチンキ、酸素存在下でのシアン化物(シアン化ナトリウム、シアン化カリウム)の水溶液がある。

金銀鉱石からの金銀の製錬には、一般にシアン化ナトリウムやシアン化カリウムによって金銀を抽出する青化製錬法が採用され、現在も日本では唯一、鹿児島県いちき串木野市の三井串木野鉱山(株)が青化製錬所を操業して、金銀鉱石から金銀を回収している。

(注 1) Niels Henrik David Bohr (1885- 1962 年) デンマークのユダヤ系理論物理学者で、量子力学の確立に貢献した。コペンハーゲン大学ニールス・ボーア理論物理学研究所は、開かれた研究所として外国から多くの物理学者を受け入れ、自由で活発な議論に基づく共同作業によって、たえず新しいものを追い求める「コペンハーゲン精神」が満ち溢れた。1937 年には日本に招待され、各地で講演した(写真 11)。アインシュタイン(写真 12)とは量子力学の基礎論の分野で、多くの議論を戦わせた。1941 年にドイツの原爆開発チーム「ウランフェアライン」(Uranverein)の一員



写真 11 1937 年 4 月東京大学理学部第2号館で講義するニールス・ボーア。

通訳を仁科芳雄博士(1890 - 1951 年)が務めた。仁科は 1923 年にニールス・ボーア理論物理学研究所に留学し、1928 年に帰国後は理化学研究所でサイクロトロンの研究開発を行った。ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)(1970):ニールス・ボーア図版 p.16 より転載



写真 12 1954 年プリンストン大学における物理学者達

(左からニールス・ボーア、ジェームス・フランク、アルベルト・アインシュタイン、イジドール・イザーク・ラービ)ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)(1970):ニールス・ボーア図版 p.24 より転載

だったヴェルナー・カール・ハイゼンベルク(Werner Karl Heisenberg:1901-1976 年)がボーアを訪ね、「原爆は理論上開発が可能だが、技術的にも財政的にも困難であり、この戦争には間に合わない」と伝えるメモを手渡した。ボーアはそのメモをアメリカに逃れていたドイツ系ユダヤ人物理学者ハンス・アルブレヒト・ベテ(Hans Albrecht Bethe:1906 -2005 年)に渡したとされる。

- (注 2) Ernest Rutherford (1871 - 1937 年) ニュージーランド出身の英国で活躍した実験物理学者で「原子物理学の父」と呼ばれた。ラザフォード散乱による原子核変換などの業績により1908年にノーベル化学賞を受賞した。原子番号 104 の元素がラザホージウム (Rutherfordium)と命名された。
- (注 3) Max Theodor Felix von Laue (1879 - 1960 年) ドイツの物理学者。結晶による X 線の回折現象を発見し、X 線が電磁波であることを示した。その功績により 1914 年のノーベル物理学賞を受賞した。さらに、光学、結晶学、量子力学、超伝導、相対性理論といった分野への貢献をした。アインシュタインとの交友があり、相対性理論を「ユダヤ物理学」として蔑視したドイツの一派を批判した。ラウエはドイツ国内で迫害されたユダヤ系科学者たちを国外に密かに逃がすことにも協力していたが、同時に公然とナチズムに反対を唱えたために、ナチス・ドイツに睨まれることになった。
- (注 4) James Frank (1882 - 1964 年)ドイツのユダヤ系物理学者で、グスタフ・ヘルツ(Gustav Ludwig Hertz (1887 - 1975 年)とともに行った量子論を検証した「フランク=ヘルツの実験」にもとづき、1925 年にノーベル物理学賞を受賞した。1920 年からゲオルク・アウグスト大学ゲッティンゲン(Georg-August-Universität Göttingen)の第 2 物理研究所長を務めていたが、ナチス政権により大学を追われ、1934 年ボーアのいるコペンハーゲンを経由してアメリカへ渡り、シカゴ大学の教授などを務めた。第二次世界大戦中はマンハッタン計画に協力した。
- (注 5) Carl von Ossietzky (1889 - 1938 年) ドイツ平和協会の書記を務めるなど、積極的に反戦運動を展開し、ナチス・ドイツ軍がヴェルサイユ条約に違反して軍備を拡張する準備を進めていることを公にしたために反逆罪に問われた。
- (注 6) George de Hevesy (1885- 1966 年)ハンガリーのブダペストの貴族階級に生まれ、エトヴェシュ・ロラード大学、ベルリン大学、フライブルク大学の各大学で学んだ。その後、フライブルク大学、ストックホルムの有機化学研究所などに務めた。ボーアの提唱で、ジルコンから X 線分析法と分別結晶を繰り返すことにより、1923 年にハフニウムを発見した。1943 年に化学反応研究において同位体をトレーサーとして使用する応用研究でノーベル化学賞を受賞した。
- (注 7)濃塩酸と濃硝酸を 3:1 で混合してできる橙赤色の液体で、金や白金といった貴金属をはじめとして多くの金属を溶解できることから、錬金術師によって王水(Aqua Regina)と命名された。
- (注 8) Los Alamos National Laboratory. 1943 年に、マンハッタン計画の一環として原子爆弾の開発を目的として設立された。現在でも核兵器開発や軍事研究を継続しているが、同時に生命科学、ナノテクノロジー、情報通信、環境、材料工学、高エネルギー物理、中性子科学、安全保障など、さまざまな先端科学技術について広範な研究を行う総合研究所である。
- (注 9) Julius Robert Oppenheimer(1904 - 1967 年)理論物理学者。第二次世界大戦中のロシア

ラモス国立研究所の初代所長としてマンハッタン計画を主導し、原子爆弾開発の指導者的役割を果たしたため、「原爆の父」として知られる。水素爆弾の開発には反対したため、公職から追放された。

参考文献

大宮理(2022):ケミストリー世界史 その時、化学が時代を変えた！. (株)PHP 研究所. pp.333-335, pp.430-431.

齊藤勝裕(2025):「原子・素粒子・量子的世界」のことが一冊で丸ごとわかる. ベレ出版. p.44-45.

左巻健男(2021):絶対に面白い化学入門 世界史は化学でできている. pp.352-354.ダイヤモンド社.

ステファン・ローゼンタール(編)、豊田利幸(訳)(1970):ニールス・ボーア. 岩波書店.

西尾成子(1993):現代物理学の父 ニールス・ボーア. 中公新書 1135. 中央公論社.

ヒュー・オールダシー＝ウィリアムズ、安部恵子・鍛原多恵子・田淵健太・松井信彦(訳)(2017):エルドラド、「元素を巡る美と驚き アステカの黄金からゴッホの絵具まで(上)」. 早川書房. p.37-57.