アルミニウム技術史：第1回

アルミニウムの発見：フリードリッヒ・ヴェーラー

鈴木 雄一*

Discovery of the aluminum element: Friedrich Wöhler

Yuichi SUZUKI*

1. アラムとアルミニウム

アルミニウムの名称は、みょうばん（明礬）のヨーロッパにおける呼び名「アラム」（英語：AlumまたはAlumn, ドイツ語：Alauns, フランス語：alun, ラテン語：Almen）に由来する。アラムは古くから世界中で広く知られた鉱物で、ローマの有名な歴史家プリニウスの「博物誌」¹⁾に出てくる。天然のアラム石（明礬石）をアルメン（Almen）と呼び、紀元前1000年ころにエジプト人がアルメンを絵の具の結合剤や染料に使ったとある。16世紀になると、世界最初の金属の総合技術書と云われるアグリコラの「デ・レ・メタリカ」²⁾に、アラムの抽出法の説明がある。図1は精製作業を描いた2枚の銅版画の内の1枚で、アラムを水に溶いて煮詰めている。一方、中国で明礬は白礬とも呼ばれ、宗應星が1637年に出版した技術書「天工開物」³⁾に染色剤としての利用が書かれている：「布を木紅色に染めるのに、蘇木を水に煮出し、明礬と五倍子を入れる」。同書によれば、礬は近代の用語で言う金属の硫酸塩で、白、青（緑）、赤、黄、胆の5種類に大別される。大半が薬品として使われ、明礬は安価で、もっとも代表的な礬とされた。李時珍の書いた薬学書の「本草綱目」に礬の説明がある。同書を小野蘭山が翻訳補訂した「本草綱目啓蒙」⁴⁾の巻之七に、和産の白礬について記述がある：「唐にて明礬と云うは礬石中の上品、透明なるものを云う。本邦にて総じて明礬と云うは誤りなり。（中略）続日本紀に曰く、文武天皇二年、近江国白礬を献ず、元明天皇和銅六年、相模、飛騨、若狭、讃岐等、白礬を貢ずる」。この時代、明礬（アラム）は日本でもよく知られた薬剤であった。

アルミニウムは元素として地球上に大量に存在するが、金、銀、銅、水銀のように天然の金属として産出しない。隕石として空から降ってくることもない。アルミニウムはアラムの成分を化学的に分離する研究と努力の結果、人工的に得られた金属である。

2. アンドレアス・シグムンド・マルクグラーフ

アラムの成分を化学的な方法で最初に分析した人物は、ドイツの化学者アンドレアス・シグムンド・マルクグラーフ（Andreas Sigismund Marggraf）である⁵⁾。彼は1754年にアラムの性質を調べ、純アルカリを加えて構成物質を分離した。通常粘土に含まれている同類の物質をドイツ語でアラム土類（Alaunerde）またはトネルド（Thonerde）と名づけた。

この時代、化学的に分解できない物質をまとめて土類（英語：earth, 独語：erde, 仏語：terre）と呼んでいた⁴⁾。マルクグラーフは分離したアラム土類を十分に洗浄・乾燥した後、硫酸を加えたが、もとのアラムに戻らなかったと報告した。彼はドイツ、シチリア、ポーランドの各地から粘土を集め、硫酸を加えて蒸留した。結晶化は容易でなかったが、適量のアルカリを添加するときれいなアラムの結晶ができた。アラムから得た土類を硝酸に溶かして溶液とし、これを蒸発させ、残渣を焼成してもやはり土類のままであった。これらの結果からアラムの土類は石灰や石灰石と違う別の物質だと結論した。

アンドレア・シグムンド・マルクグラーフは1709年3月3日にベルリンで生まれた化学者である。ベルリンとストラスブルグで化学を学び、ベルギーのハレで医学、フライベルグで鉱山学と金属学を学んだ。1735年に故郷に戻り、宮廷の主任薬剤師だった父親の助手となった。ベルリン科学アカデ

図1 アグリコラ「デ・レ・メタリカ」に描かれたアラムの抽出法²⁾

ミーのメンバーに選ばれ、1754年にアカデミーの化学研究所に入った。1760年に物理クラスの主任になった。

マルクグラーフの業績は多岐にわたり、とくに甜菜からの砂糖の抽出法と、亜鉛の製造法の2件の研究で知られる。彼はそれまで砂糖きびでしか作れなかった砂糖を甜菜から抽出する方法を考案し、欧州の砂糖産業のきっかけを作った。1747年に、国内の農場で採れる甜菜を乾燥してからアルコール中で煮沸し、砂糖を沈殿させることに成功した。顕微鏡で甜菜の根の中に小さな砂糖の結晶を検出した。分析手法として、薬剤による化学的な分析法だけでなく、はじめて物理的手法を使った。マルクグラーフは砂糖抽出の経済的効果を知っていたが、商業化しなかった。マルクグラーフの学生だったフランツ・アチャードが研究を進め、甜菜からの砂糖の経済的な抽出方法を完成して商品にした。

1746年に、マルクグラーフはカラミンと炭素の混合物を密閉容器中で加熱して金属亜鉛を分離した。銅を使わない最初の亜鉛の精錬法であった。亜鉛の精錬はマルクグラーフより前、1738年から1740年にかけて英国のウィリアム・チャンピオンが同じプロセスを開発しており、特許を取っていた。1742年頃にスウェーデンのアントン・フォン・スワブも同じ製法を開発した。マルクグラーフは後発であったが、精製の工程をわかりやすく説明し、精製の理論を提供したため、最初に亜鉛を分離した人物として認められている。彼のプロセスは1752年に商業化された。

これらのほかの研究成果に、アラムの分析、りん酸の観察、銀やすずなどの純化、尿からのりんの抽出などが挙げられる。彼は生来すぐれた化学分析家であり、炎の色でナトリウムとカリウムを見分ける方法や、青酸カリで鉄を見分ける方法をよく知っていた。

3. アルミナの命名

アルミナの呼び名を世に広めたのは、1787年にフランスから出版された化学書「化学命名法」⁶⁾である。4人の著名な化学者、ド・モルボー、ラボアジェ、ベルトレおよびド・フルクロアがまとめた化学物質の体系的な命名法に関する最初の書である。同書に添付された表が世界中に出回り、新

しい命名法を広く認めさせた。これによって、アルミナの新しいフランス名、アルミーヌ (alumine) が一般に定着した。同書の中に新旧の名称を比較した表 (図2) によると、新しい名称アルミーヌは、それまで「明礬の土類」(Terre de l'alun)、または「明礬の基」(Base de l'alun) と呼ばれていた。これらの語はマルクグラーフが付けたドイツ語のアラム土類 (Alaunerde) に相当する。

著者の1人、ルイ・ベルナル・ギトン・ド・モルボー (Louis-Bernard Guyton de Morveau) は同書の出版に先立つ1761年にアルミーヌの呼び名を提案しており、この物質を未発見の金属の酸化物であると主張するラボアジェと意見が一致していた。当時ド・モルボーは百科事典 (Encyclopédie méthodique) を編纂しており、化学物質の命名は解決すべき重要なテーマのひとつだった。これらの事情から彼がアルミナの最初の命名者とされている。ド・モルボーはエコール・ポリテクニク (École polytechnique) の設立者の一人で、鉱物学の教授であった。1807年に科学アカデミーの会長となった。

4. ハンプリー・デービー

アルミニウムを金属として実験的に把握したのは王立協会のハンプリー・デービー (Humphry Davy) であった。1808年にデービーはアルミナをはじめとする土類を分解する実験を行った。純金属としての抽出は成功しなかったが、アルミナを構成する金属の呼び名にアルミウム (Alumium) を提案し、その年の王立協会で発表した (図3)。デービー電気分解の実験の様子は、1812年に出版した「化学の要素」⁷⁾に次のように書かれている：「アンモニアまたはカリウムの溶液をアラムの溶液に投入すると、ある物質が沈殿した。これを洗浄して赤熱するとアルミナになった。この物質は特別な金属を含むが、今度の実験で完全に自由な状態のアルミウムは得られず、他の金属物質との合金が得られるだけであった。しかし、他の金属とアルミウムが違っていることは十分に予想された。アルミナはアルカリ土類のように水銀と接触させて電解しても分離できなかった。その化学的構造を明らかにするために1808年にはじめた実験は、鉄を溶かして、負の電位を接触させるものであった；土類を湿らせておき、高い電圧をかけた。純鉄より白い色をした金属の小球が得られた；水中でゆっくりと泡立ち、白色の粉で覆われた、塩酸溶液中でアルカリによって分離し、アルミナと鉄の酸化物を生成した」。デービーはこの後、カリウムの蒸気を高温のアルミナに通す実験を行い、アルミナが酸素を含むと結論した。

ハンプリー・デービーは1778年に、コーンウォールのペンザンスで木彫職人ロバート・デービーの子として生まれた。1794年に父親が亡くなると、デービーは外科医ジョン・ビンガム・ボーラスの病院に弟子入りした。病院の薬局で化学を学び、自宅の屋根裏部屋で化学実験を行った。1798年

Had I been so fortunate as to have obtained more certain evidences on this subject, and to have procured the metallic substances I was in search of, I should have proposed for them the names of silicium, alumium, zirconium, and glucium.

C H I M I Q U E. 153	
Noms nouveaux.	Noms anciens.
Alcohol.	Esprit de vin.
Alcohol, indécl.	Esprit ardent.
Alcohol de potasse.	Lilium de Paracelse.
Alcohol potass.	Teinture âcre de tartre.
Alcohol nitrique.	Esprit de nitre dulcifié.
Alcohol nitricum.	
Alcohol réfineux.	Teintures spiritueuses.
Alcohol refinosa.	
Alliage.	Alliage des métaux.
Connubium metallicum.	
Alumine.	Terre de l'alun.
Alumina.	Base de l'alun.
	Argile pure.

図2 ド・モルボー、ラボアジェ、ベルトレおよびド・フルクロア「化学命名法」⁶⁾の新旧対照表の一部

図3 ハンプリー・デービーの論文⁷⁾の抜粋、アルミウムの名が他の元素とともに載っている

にデービーはブリストルの気体研究所に入所した。笑気ガスを製造して人体への効果を調べた。痛覚を取り除く薬効に気がついていましたが麻酔剤として使うに至らなかった。1799年にベンジャミン・トンプソン (Benjamin Thompson) が英国国民への知識普及のための王立研究所を創設し、トンプソン自身が初代所長になった。トンプソンは摩擦熱の研究で熱力学の進歩に貢献した。デービーは1801年にトンプソンの王立研究所の化学講演助手と実験主任になった。デービーはボルタ電池を使った電気分解の実験に力を入れ、反応性の高い金属を次々と抽出した。1807年に、水酸化カリウム (KOH) を電気分解してカリウムを発見し、同じ年に同様の方法で金属ナトリウムを得た。1808年に石灰と酸化水銀の混合物を電気分解してカルシウムを発見した。スウェーデンのベルセリウスのグループが石灰と水銀の混合物の電気分解でカルシウムのアマルガムを得たことを知って、さらに実験をすすめた結果であった。その後、電気分解法によって、マグネシウム、ほう素、バリウムを発見した。6つの元素を発見した化学者は、これまでにハンフリー・デービー一人しかいない。そのデービーですら、アルミニウムは単離できなかった。

1810年にデービーは、塩素を現在の名称であるクロリン (chlorine) と名付け、それが化合物ではなく元素であると主張した。塩酸を電気分解しても酸素が得られない事実を示し、酸は酸素の化合物だとするラボアジエの説をくつがえした。1819年にデービーは、平民の科学者としては最高の準男爵を授けられた。翌1820年に王立協会会長に就任した。

5. ハンス・クリスチャン・エールステッド

デービーに続いてアルミニウムの分離で成果を上げたのは、電磁誘導の発見者として有名なハンス・クリスチャン・エールステッド (Hans Christian Ørsted) であった。エールステッドは物理学者であったが、電気のあるゆる使い方に興味を持ち、アルミニウムの電気分解による分離に成功した^{8),9)}。

エールステッドは1777年にデンマーク南部のランゲランド島で生まれた。父親は小さな薬屋を営んでおり、子供に十分な教育を与えられなかった。ハンスは古い教科書から算数を一人で学び、時々、私教師の指導を受けた。12歳で父親の薬局の助手になった。必要な化学知識を楽しみながらすぐに身に付けた。コペンハーゲン大学に入学しようと勉強し、17歳で大学入学の認定資格を取った。コペンハーゲン大学では、科学、哲学、医学を学んだ。22歳でイマヌエル・カントの哲学を題材にした論文「知識体系と自然形而上学」で学位を取った。1801年にヨーロッパを遊学する奨学金を得て、3年間をすごした。この間、ドイツで物理学者のヨハン・ヴィルヘルム・リッター (Johann Wilhelm Ritter) と会い、電気物理と電気化学に興味を持った。リッターは1804年に33歳で病死するまで、ミュンヘンのバイエルン科学アカデミーで研究をつづけ、電気を使って多くの発見をした。1799年に水の電気分解、1800年に電気めっき、1801年に熱電現象と電流による筋肉の収縮について発表した。帰国したエールステッドは、大学で化学と形而上学の講義をはじめた。個人から授業料を取る私講師であった。1806年にコペンハーゲン大学の教授になった。彼の講義があまりに評判がよかったからだと言われる。

1820年にエールステッドは、磁針の近くで電流を流すと、

針の指す方向が変化する現象に気が付き、物理学上の大きな発見である電流の磁気作用を見つけ出した。電流の流れる導線の周囲に円形の磁場が形成されるという新しい見解を示し、アンペールらに続く電磁気学の発展のはじまりをつくった。

彼は電流の物理的な作用だけでなく、その化学的な作用に興味を持ち、電気分解による金属の分離の実験を続けた。図4はエールステッドが実験をした頃のボルタ電池堆である。亜鉛極がすぐに消耗し、大きな電流を取り出せなかった。1825年に彼はアルミナの中に存在すると考えられる金属の分離を試みた。最初に、赤熱した木炭とアルミナの混合物の上に塩素ガスを流して液状の塩化アルミニウムを得た。塩化アルミニウムをつくったのはエールステッドが最初である。彼はこれにカリウムアマルガムを反応させて、アルミニウムアマルガムにした。アマルガム中の水銀を空気中で蒸留して飛ばし、すずのように見える金属を得た。エールステッド自身の表現によれば：「粘土の可燃性元素と塩素の化合物は、水の沸点より少し高い温度で不安定であり、おそらく炭素を混ぜたからであろうが、幾分黄色味がかかって、柔らかく、しかし結晶のようであった。水を強く吸収し、熱を発生しながら容易に溶けてしまう。カリウムアマルガムを加えて加熱すると分解して塩化カリウムとアルミニウムアマルガムになった。アマルガムは大気に触れると容易に分解した。大気に触れずに分留すると、すずに似た色と光沢の金属のかたまりになった」。

エールステッドが作成した金属は不純物の多い、とくに水銀を含むアルミニウムだったと考えられている。その後の研究者の調査や再実験の結果によれば、過剰な塩化アルミニウムと低濃度のカリウムアマルガムを使えば、もっと純度のよいアルミニウムが作れたはずとされている。エールステッドは実験の結果をデンマークのあまり知られていない雑誌に投

図4 エールステッドが実験をした頃のボルタ電池堆

稿し、当時の学会からほとんど注目されなかった。

6. フリードリッヒ・ヴェーラー

エールステッドの実験をもとにして、不純物の少ない金属アルミニウムの抽出に成功したのは、ドイツの化学者フリードリッヒ・ヴェーラー (Friedrich Wöhler) であった。

ヴェーラーは1800年にフランクフルトに近いエッシャーハイムで生まれた。14歳でフランクフルトのギムナジウムに入学した。ここでは普通の成績の生徒だった。彼は必要な科目を勉強せずに、鉱物の収集に熱中し、化学の実験を自分ではじめた。ヴェーラーの鉱物集めの趣味は、同好の収集家であった有名なヨハン・ヴォルフガング・ゲーテと知り合うきっかけとなった。若いヴェーラーは新物質に大きな興味を持ち、ベルセリウスがスウェーデンの硫酸の中にセレンを発見すると、すぐに同じ物を含むボヘミアの酸を見つけた。フリードリッヒ・シュトロマイヤー (Friedrich Stromeyer) がカドミウムを発見すると、亜鉛から調製したものを送った。ヴェーラー少年の最初の野望はカリウムをつくることだった。しかし彼の持っていた電池はロシア製の銅貨と亜鉛板を交互に重ねたもので、この目的に不十分だった。彼はゲイリュサックとテナールがやった化学的な方法をこころみた。カリウムと炭素の混合物を黒鉛のつぼ中で白熱し、妹がふいごを吹く仕事を受け持った。2人は光り輝く金属カリウムの出現と一緒に楽しむことができた。若いヴェーラーはいろいろなものに興味を持った。数学に関する賞を取り、油絵や銅版画を描いた。ローマ遺跡の中からコインや小物を集め、ドイツの詩をたのしんだ。

19歳になったヴェーラーはマルブルグ大学の医学課程に入った。次の年に化学者のレオポルド・グメリン (Leopold Gmelin) の下で学ぶためにハイデルベルグに移った。そのかわり彼は医学に深い興味を持ち、産科の治療医になる気だった。1823年に医学博士の学位を受けた。医学コースにいるときも化学実験を続けた。グメリン教授はヴェーラーの卓越した化学技術を見落とさなかった。彼に化学のために医学を断念することをすすめた。ヴェーラーは化学をさらに勉強するため、ストックホルムのイエンス・ヤコブ・ベルセリウス (Jöns Jacob Berzelius) に、研究室に入れるか問い合わせの手紙を書いた。8月1日にスウェーデンの教授は今に残る有名な返事を出した：「レオポルド・グメリン様の監督の下で研究している人なら私から学ぶものなどわずかしかないが、(中略) あなたが望むなら来たらよいでしょう」。立派な学生を得たベルセリウスは、ヴェーラーに当時難しいと言われたゼオライトの分析をまかせた。ベルセリウスはすべての分析をまず彼自身でやってみせ、操作の詳細を具体的に説明した。ヴェーラーがあまり急いで仕事をするとう「ドクター、それは早くできるが、よい結果を得られない」と注意した。ヴェーラーがストックホルムにいたのは一年に満たなかったが、ベルセリウスの教育はヴェーラーの人生に大きな影響を与えた。ベルセリウスは亡くなるまでヴェーラーと手紙を交換し、親密な交流が続いた。

1825年にヴェーラーはベルリンに新設された市立工業学校の化学と鉱物学の講師となり、3年後に教授になった。アルミニウム分離の研究は主にこの学校でなされた。この頃から、有機化学を得意とするユストゥス・フォン・リービッ

ヒ (Justus von Liebig) との長く続く交流がはじまった。リービッヒが研究した雷酸塩 (AgONC) と、ヴェーラーの研究によるシアン酸塩 (AgOCN) が、化学分析の結果が同じであるのに、化学的性質がまったく異なることを見つけ、異性体の概念を生み出した。1835年にゲッチンゲン大学のシュトロマイヤー教授が亡くなり、ヴェーラーは後任の教授に選ばれた。ゲッチンゲンでは有機化合物の研究に力を入れ、尿素の合成に成功した。

1800年代の初めにベルセリウスがスウェーデン語の「化学の教科書」の著作をはじめると、ヴェーラーはドイツ語に翻訳して普及に努めた。「化学の教科書」は世界中の言語に翻訳され、最高水準の教科書として広く読まれた。

7. ベルセリウスの「化学の教科書」¹⁰⁾

ヴェーラーのアルミニウムの研究について、ベルセリウスは「化学の教科書」第2巻 (図5) の中で次のように書いている：「デービー、私、エールステッドによる数多くの挑戦が、不成功また一部成功におわった後に、ヴェーラーが苦勞してこの金属の分離抽出に成功した。エールステッドは、赤熱したアルミナと炭素の粉の混合物の上に塩素ガスを流して、それまで知られてなかった無水塩化アルミニウムをつくった。

ヴェーラーはこの塩化アルミニウムをカリウムとともに加熱してアルミニウムを分離した。還元は非常に激しい炎をとまなうので、実験はガラスの容器では実行できなかった。小型の陶器製、または白金製のつぼが最適で、容器のふたはワイヤで固定する必要があった。つぼの底に鉱油がつかないように注意して、炭素を含まないカリウムの小塊を置き、その上を体積的に同量の塩化アルミニウムの小片で覆った。しっかりふたをしたつぼをアルコールランプで加熱し、は

図5 ベルセリウス「化学の教科書」第2巻の表紙¹⁰⁾

はじめはゆっくり、陶器の場合は炎が入らないように、次第に火を強くして、時間を待った。還元のはじまりは音の発生とるつばの壁の突然の白熱ではっきりとわかった。分解した2つの物質の量は、カリウムが多ければアルカリが多く残り、塩化アルミニウムが多ければ一部しか還元されなかった。還元された物質は、完全に溶融し、黒灰色であった。るつばを完全に冷却し、水を満たした大きなガラス容器に投入すると、塩状の物質は少量のいやな臭いの水素ガスを発生して溶けた。注意深く見ると、とくに太陽の日のもとで、小さな金属の粒のような灰色の粉が沈殿しているのが見えた。沈殿が落ち着いてから、液体を流しだして、濾過し、冷水で洗浄、乾燥した。それがアルミニウムであった。

この状態におけるアルミニウムは灰色の粉末で、プラチナの粉末に非常によく似ていた；大きな粒は乾燥後も金属の光沢が見られ、細かい粒はすずの白い金属光沢をもったスポンジのようであった。磨いた鋼の下で粉末は完全にすずの白い金属光沢を持ち、めのう乳鉢で擦ると一体化して金属の膜になった、粉末状態のアルミニウムは、水電極対を使っても通電せず、低い電気性しか示さなかった、良好な伝導性が継続するとは思えなかった。鉄鍋を使って加熱しても溶解しなかった。」同書はさらにアルミニウムの化学的な性質について述べているが、いずれも粉末状のアルミニウムに関する記述である。

バルクの金属アルミニウムは1845年にやはりヴェーラーによって作成された。実験の原理は前回と同様であったが、ナトリウムの置き方や反応時間に工夫して粒状の金属を得た。200倍の顕微鏡を使って、溶融凝固したほう砂の小球から粒状の金属の薄片を取り出し、比重を測定した。「32mgの粒の比重は2.5、ハンマで伸ばした34mgの薄片は2.67であった。室温で白色であり、磁性はなかった」と報告した¹¹⁾。ミュンヘンのドイツ国立博物館に、ヴェーラーが作製したアルミニウムの薄片と尿素が、ガラス製のアンプルに入った状態で保管されている¹²⁾。

ヴェーラーはゲッティンゲン大学の教授を長くつとめ、数々の栄誉を受けたが、何よりも喜んだのは、彼の生徒がやってくれた60歳、70歳、80歳の誕生日と尿素合成の50周年記念のお祝いだった。82歳で亡くなる少し前、彼は親しい友人に、後で開けてくれと小さな箱を渡した。箱には小さなス

プーンが入っており、「ベルセリウスからのプレゼントだよ、彼はこの白金のスプーンを長い間研究に使った」と書かれていた。ヴェーラーは青銅や大理石の像を建てることを好まず、彼の指示で普通の石碑に名前だけが刻まれた¹³⁾。

参考文献

- 1) Gaius Plinius Secundus: "The Natural History", 大プリニウス「博物誌」, 英語版は John Bostock, M.D., F.R.S., H.T. Riley, Esq., B.A., Ed., アラムに関する第35巻, 第52章は次のサイトで閲覧できる <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Atext%3A1999.02.0137%3Abook%3D35%3Achapter%3D52>
- 2) Georgious Agricola: "De Re Metarica", (1556, ラテン語の第1版), 英語版は Herbert Clark Hoover, Low Henry, Dover Publications, (1950), 図1はp. 567. 三枝博音による本書の全訳「デ・レ・メタリカ：近世技術の集大成—全訳とその研究」, 岩崎学術出版社, (1968) は国会図書館のデジタルコレクションで閲覧できる
- 3) 宗應星, 薮内清訳注：天工開物, 平凡社, (1969), 79.
- 4) 小野蘭山：本草綱目啓蒙I, 平凡社, (1991), 150.
- 5) 1911 年版Encyclopædia Britannica, Volume 17, Marggraf, Andreas Sigismund の項. http://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Marggraf,_Andreas_Sigismund
- 6) De Morveau, Lavoisier, Bertholet and De Fourcroy: Méthode de Nomenclature Chimique, Chez Cuchet, (1787), 153. 田中豊助, 原田紀子, 牧野文子訳：「ラボアジェ, 化学命名法」, 内田老鶴圃新社, (1976). 原書はフランス国立図書館のサイト <http://gallica.bnf.fr/> で閲覧できる
- 7) Humphry Davy: Elements of Chemical Philosophy: Part 1, Vol. 1, Bradford and Inskeep, (1812). <https://archive.org/details/elementschemica00davygoog>
- 8) Dan Ch. Christensen: Hans Christian Oersted, Oxford, (2013), Chap. 42: Alminium Priority and Nationalism, 424–430.
- 9) 王立協会公式ページ：同協会のフェローのすべての論文が掲載されている. <https://collections.royalsociety.org/dserve.exe?dsqIni=Dserve.ini&dsqApp=Archive&dsqDb=Persons&dsqSearch=Code==%27NA8200%27&dsqCmd=Show.tcl>
- 10) Jöns Jacob Berzelius: Lehrbuch der Chemie, Vol. 2, Dresden, Arnold, (1844), 157. 田中豊助, 原田紀子訳：「ベルセリウス化学の教科書」, 内田老鶴圃, (1989) の「はじめに」にアルミニウムに関する記載がある. <https://archive.org/details/lehrbuchderchem06berzgoog>
- 11) Wöhler: Annalen der Chemie und Pharmacie, **53** (1845), 442.
- 12) A. Feldman and P. Ford: Scientists and Inventors, Aldus Books, (1979), 131.
- 13) M. E. Weeks: Discovery of the Elements, J. Chem. Educ., (1933), 163–177.