

はじめに

鉛は、その使い勝手の良さから、古代より様々な分野で利用されてきた。クレオパトラの目元を綾取ったのは方鉛鉱（鉛の鉱物）の粉であったといわれる。その特徴的な鉛の利用とビジネスは歴史とともに変化している。そのため、銅・亜鉛に続き、鉛においても先人の足跡を辿ることし、利用状況、生産国、資源開発会社、生産技術の変遷などの鉛資源に関わる様々な歴史をまとめることとした。

今回から3回にわたり鉛に関わる歴史について概説することとする。

第1回 鉛の国際的な需給の歴史と変遷

1. 鉛利用の特徴と変遷

(1) 歴史上の主な鉛利用の興亡

古代から身近に使われてきた主要金属の中で、鉛は比較的柔らかく加工が容易なため、また、物理・化学的性質が他の金属と比べ特徴的なため、歴史の中で様々な分野で、先ず鉛が使われてきた。その反面、鉛は毒性を持つことや優れた代替品の出現などで、多くの用途で使われなくなった。隆盛と減退を繰り返してきた金属といえる。歴史上の鉛の主な用途を次に示す。現在、鉛の用途の主体をなすのは蓄電池（バッテリー）である。

①化粧品（アイシャドー、白粉）

鉛の鉱物である方鉛鉱はエジプトの先王朝時代から粉末にして目の化粧料として使われてきた。クレオパトラの目元を綾取ったのは方鉛鉱の粉といわれている。今でも北アフリカのバザールでは、方鉛鉱が量り売りされている。

白色顔料として、「鉛白」は紀元前4世紀頃には使用されていた。鉛白の主成分は、塩基性炭酸塩（ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ）で、近年になり亜鉛華、リトポン、酸化チタンなどの白色顔料が使われるようになるまでは、隠ぺい力の大きい唯一の白色顔料として使われていた。現在では、鉛白は人体に有害のため使用制限を受け、生産が減っている。

②錘、屋根瓦

比重の大きさを利用して、エジプトでは先王朝時代に、漁網の錘に鉛が使われていた。ローマでは、鉛の薄板で屋根を葺いていたといわれる。今も趣味の釣りでは、鉛が錘に使われている。

③鉛管—水道管—

給排水用鉛管の利用は紀元前より用いられていた。ローマ人は、ローマ市に水道を造っただけでなく、その帝国と植民地の各地に水道を敷設し、水道用導管として鉛管を使用した。ポンペイの遺跡からは給水用鉛管が発掘されている。

ローマの水道では、泉や川から引いてきた水は、アーチや地下の本管をとおり、先ず貯水槽に送られ、各消費者に配水される。個人用配管には鉛管が一般的に用いられた。また、水道管の栓、接手、道路の分水箱などにも鉛が用いられた。

現代も水道用本管は鉄製などであるが、個別配管には鉛管が広く使われていたが、最近では、塩化ビニールやポリエチレンに切り替わっている。

④半田

半田付けという技術を利用し始めたのは非常に古く、ローマの遺跡の中にも高い純度の共晶半田で接合された器物が発見されている。

鉛の接合剤としての利用は、紀元前3000年頃には始まっており、メソポタミアから出土した遺物の銅製の鹿の角が鉛で接合されていた。

また、今日においても半田は最も広く使われ、日常生活に密着しているが、鉛に毒性があるために、鉛抜き（鉛フリー）の半田に転換している。

⑤印刷用活字

1440年、ゲーテンベルクによるとされる近代活版印刷術の発明により、鉛と錫による活字金の利用が始まった。それ以後、文字印刷の主流として活版印刷が利用され、宗教改革や科学革命を促し、産業革命の礎となった。近代文明は活字印刷物の文字を中心として発展したといえる。しかし、活版印刷は、鉛合金の活字を利用するため、工場の衛生上に問題があること、版が重く印刷機の構造も頑丈でなければならず、取り扱いも不便で、印刷スピードも遅いため、写真植字法などの印刷技術の進歩とともに、その役割を終え、活版印刷はほとんど使われなくなっている。将来は、極上等の書籍、便せん、挨拶状など、その特徴を発揮する分野のみに使われるようになると思われる。

⑥鉄砲の弾

鉛の弾丸の鑄造は、1650年頃ルパート王子（Prince Rupert、英国）により初めて行われたとされる。球形の弾丸の製造は、鉛に砒素を入れて溶かし、水槽の上

に取り付けた篩い状のものを通して水中に注入すると、砒素のため表面が収縮し球形になるという。また、大型の弾丸は鋳型によって鋳造した。

我が国では、戦国時代に急激に鉄砲が普及し、武士は、戦いに臨んで鉛の弾丸を鋳造した。また、築城の際には、屋根を鉛瓦で葺いて、一朝事ある時のために鉛を備蓄した。

現在では、軍用の通常の弾丸は、弾芯を金属で覆うメタルジャケット弾が主で、弾芯の鉛を真鍮のジャケットで覆っている。鉛が剥き出しの弾丸は狩猟用のみで、散弾銃の弾も鉛製である。

鉛弾問題：狩猟家の間で、鉛弾で仕留めた獲物が放置され、その死骸を食べた猛禽類が鉛中毒で死んでしまうという問題が起きている。また、放置された散弾による水辺生態系の鉛汚染により水鳥が鉛中毒になると危惧されている。このため、世界各地で鉛規制が進められている。日本でも2000年度の猟期から、鉛散弾の使用を禁止する「鉛散弾制限地域」を都道府県が設定する制度が設けられている。

⑦金、銀、銅製錬

歴史時代の製錬では、鉛の化学的性質を利用して、金、銀、銅の精製を行っていた。

我が国では、戦国時代に金・銀精製に灰吹法が導入され、江戸時代には銅の南蛮吹が開発され、灰吹鉛の需要が増大した。鉛は、金・銀・銅製錬の必需品であった。

南蛮吹は、含銀銅鉱に鉛を合わせて吹き、銀を鉛に含ませて貴鉛をつくり、銅と鉛の融点の相違で、まず南蛮床で加熱して貴鉛をしぼり取り、このタレ鉛を従

来からの灰吹法によって精製するものである。江戸時代では、精錬用鉛が不足し、一時期、鉛の輸入が行われていた。

⑧蓄電池

鉛蓄電池は1858年頃のフランス人プランテ（Gaston Plante）の研究が端緒といわれている。

1854年ドイツ人ジンスターデン（Joseph Sinstedden）が希硫酸を電解液として陰陽両極に鉛板を配して電解を行った後、この電流を断つと電解電流と方向反対の起電力を生じ、ある時間電流が流れる現象を発見した。プランテはこの現象の実用化に成功したものである。プランテはこのように電気エネルギーを化学エネルギーとして蓄電する現象を研究し、1860年にFrance Academy of Scienceに鉛蓄電池を提出した。

多くの種類の蓄電池が発明されているが、鉛蓄電池はそれらに比して、エネルギー密度、出力密度とも格段に優れているとはいえないが、まずまず実用に値するものであり、かつ他の電池に比しコストが安くて信頼性の高い電池であるため、現在も広く利用されている。

⑨ガソリン添加剤—アンチノック用—

自動車の普及と走行性能向上指向により自動車用ガソリン及び航空機用ガソリンのオクタン価を向上させる添加剤として、「四エチル鉛」が盛んに使われたが、大気汚染問題で、使われなくなった。

第2次大戦後の日本でも鉛需要の興亡がみられた。日本の鉛地金（一次鉛）の内需変化を図1に示す。日本の鉛消費は、高度成長期には、従来からの用途とともに無機薬品や工業原料として幅広く使われていたが、現在の鉛消費はほとんど蓄電池に使われている。

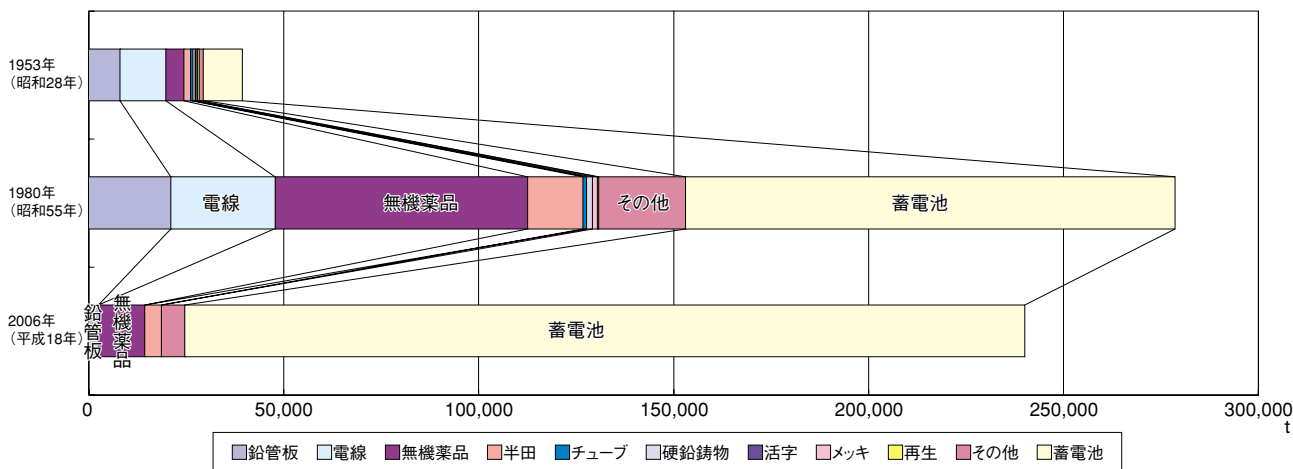


図1 日本の鉛地金（一次鉛）の内需変化

出典：資源統計年報、鉱山

(2) 鉛の性質

鉛が古代からよく利用されてきたのは、鉛の金属としての特異な性質による。

鉛は、古くから使われていた主な金属と比べて、原子番号が高く、原子量が大きく、密度が大きく、比熱は小さく、融点は低く、極めて柔軟であり、電気およ

び熱伝導性は低いのが特徴である。他の主要金属との特性の比較を表1に示す。鉛は加工がしやすく、ある物性では金・銀の方が優れていても安価であることから鉛の方が広範囲に利用されることが多い。

鉛は融点が低く柔軟なため、歴史的に鉛管、半田、活字合金等に使われる。また、密度が高く柔軟なため、

現代では、鉛板は防音材、防振材、放射線吸収材などに利用される。

また、鉛化合物として、古来より種々の顔料やガソリン添加剤など化学的特性が利用されている。

「鉛白」は塩基性炭酸鉛で、紀元前4世紀頃から、近年酸化チタンなどの白色顔料が使われるようになるまで、隠ぺい力の大きい唯一の白色顔料として使われてい

た。「黄鉛」はクロム酸鉛で黄色顔料に使われる。「リサージ」は一酸化鉛で、赤色、橙色、黄色が作られる。また、リサージは屈折率を上げるためにクリスタルガラスに添加される。「鉛丹」は Pb_3O_4 を主成分とする黄赤色の粉末で、光明丹ともいい、紀元前1世紀頃にエジプトで作られたという。四エチル鉛などのアルキル鉛はアンチノック剤としてガソリンに添加された。

表1 主要金属の特性対比表

	アルミニウム	鉄	銅	亜鉛	銀	錫	金	鉛
原子番号	13	26	29	30	47	50	79	82
原子量	26.98	55.84	63.54	65.40	107.86	118.71	196.96	207.2
密度	2.69	7.87	8.96	7.13	10.50	7.31	19.32	11.35
比熱(0~100°C) J/kg·K	917	456	386	394	234	226	130	129.8
融点(°C)	660	1,536	1,084	419.5	961	231.9	1,064	327
沸点(°C)	2,520	2,863	2,571	907	2,162	2,603	2,857	1,750
凝固収縮量(%)	6.26	4.40	4.05	4.70	3.8	2.80	5.17	3.44
線膨張率(20~40°C)×10 ⁻⁶	23.1	11.8	16.5	30.2	18.9	22	14.2	28.9
熱伝導率(0°C, W/m·K)	236	83.5	403	117	428	68	319	36
電気比抵抗(0°C) 10 ⁻⁸ Ω·m	2.50	8.9	1.55	5.5	1.47	11.5	2.05	19.2

出典:理科年表、金属データブック

(3) 人体と鉛—鉛の毒性—

鉛の持つ毒性がその利用の分野を閉ざしてきた。

鉛中毒の症状については、古い時代から知られており、紀元前から鉛の毒性について注意が払われていた。古代エジプトにおいては鉛が殺人剤であるとまで信じられていた。このために鉛中毒症状が鉛を取り扱う者に現れるので、工業界への鉛の応用が著しく遅れたといわれている。

鉛は呼吸器や消化器を介して人体に吸収され、最終的には骨に沈着して蓄積される。体内からは主に尿に含まれて排泄されるものの、体内の濃度が半分になるには約5年かかるといわれる。鉛製錬、鑄造、印刷、蓄電池製造、鉛管溶接など鉛を取り扱う作業者が、鉛を含む粉塵を吸入して貧血、腹痛、鉛縁(歯茎の青黒い線条)などの鉛中毒に罹患することが多い。

○大奥—宮中での白粉中毒

江戸時代から大正年間まで、女性が化粧するときに首から胸まで白粉を塗るため、乳幼児の授乳の際、鉛白の入った白粉をなめた乳幼児に鉛毒性脳膜炎が発生した。特に江戸城大奥や宮中での乳幼児の鉛中毒が問題になった。我が国では、含鉛白粉は1935年に禁止された。

○ローマの鉛中毒

古代ローマの白粉には鉛白が使われ、この乱用によって慢性の鉛中毒を起し、この結果出産率の低下を来したため、国力の疲弊をまねき、ゴート人の侵入を防ぎきれなくなると、一部で考えられている。また、水道の鉛管の影響やローマ人は食器にまで鉛を使ったためその影響もあるといわれている。

○新宿区牛込柳町交差点周辺の大気汚染

ガソリンのオクタン価を高めるために四エチル鉛が

添加されていたが、1970年の牛込柳町交差点周辺における自動車排出ガスによる鉛鉛害問題が契機となって、鉛の環境汚染を防止するため、1975年レギュラーガソリンへの鉛の添加が廃止された。

○ワインと鉛中毒

ワインと鉛は歴史的に深い係わりがある。ワインを甘くするため、また、保存するために古代から鉛が使われていた。甘くなるのは、鉛がワイン中に生じる酢酸と反応して酢酸鉛(鉛糖)を生成するからである。長い中世では、各地で奇妙な腸炎が発生した。胃痛、貧血、衰弱などの症状がみられ、長患いの結果死に至るものであった。これらの病気は、すべて鉛中毒で、それぞれ鉛に汚染されたワイン、リンゴ酒、ラム酒などが原因であった。また、これら飲料に鉛を添加することは品質保存のための秘訣として19世紀まで当然のこととして行われていた。ワインの瓶1本について鉛の塊(散弾)を一つ投入するだけのことであった。この鉛はゆっくりと溶けて、期待通りの機能を果たした。最近も輸出用ワイン樽から鉛が検出されたというようなニュースを聞くことがある。

2. 世界の鉛利用と生産の歴史

(1) 鉛利用の始まり

①鉛の登場

人類の歴史の中で、最初に利用された金属は銅といわれ、紀元前5000年までには金属の形で利用されたことが明らかになっていることから、利用の起原は紀元前6000年まで遡ると一般に推定されている。鉛は、これに大部遅れて登場する。

エジプトでは、先王朝時代の装身具、漁網の錘、耳

輪などに鉛が使われ、メソポタミアでは、アル・ウバイド出土の銅製鹿は、角が鉛で作られ本体に接合されていた。いずれも紀元前 3000 年頃の遺物と考えられることから、鉛はおよそ 5000 年前には使用されていたことになる。

鉛は丈夫な金属が必要とされる武器や道具類に必要な物理的諸性質を全く欠いた金属であることから、金属の歴史に遅く登場したと考えられている。

②鉛と銀

鉛と銀は、歴史上同時期に登場する。銀は自然銀や銅鉱石、金鉱石からも採取されるが、その産出量は多くなく、ほとんど鉛鉱石(含銀方鉛鉱)の処理により生産され、鉛と銀がともに出現したと推測されている。

鉛と銀の生産が緊密に結びついているという証拠が技術的にも考古学的にも明らかになっており、鉛鉱石の処理によって銀を大量生産することはとても込み入った一続きの冶金工程である。供給面からみると、鉛の歴史は、銀の歴史でもある。

(2) 古代から中世の鉛

①エジプト

エジプトでは、方鉛鉱が先王朝からコプト時代までの極めて長い期間、目の化粧品として広く使われていた。

エジプトには重要な方鉛鉱の鉱山が 4 か所あった。第 1 は、紅海沿岸のサファーガ(Safaga)湾の南 2 マイルの古代モンス・クラウディアヌスにあり、この方鉛鉱は僅かに銀を含む。第 2 は、エジプト東部、港町クセイル(Quseir)の南方 70 マイルのケベル・ローサス(Gebel Rosas)で銀を含まない方鉛鉱を大量に産出した。第 3 の方鉛鉱の鉱床は、テーベ地方のシエラの東方のバーラム(Bahram)山地にある。第 4 は、紅海岸に近いラス・ベナスの北西 50 マイルの、ゲベル・アブ・ハムミド付近のウム・セミウキ(Um-Semiuki)の銅鉱石に伴うものである。

古代から中世における主な鉛鉱山・鉱山地帯を図 2 に示す。



出典：古代の技術史(上)、他

図 2 古代から中世における主な鉛鉱山・鉱山地帯

②小アジア

小アジアには含銀方鉛鉱の鉱床が数多くあり、とくに、26 か所以上の重要な鉛鉱山が記録されている。カッパドキアのタブレット(書板)には、十分発達した銀・鉛の生産とアッシリアとの交易が詳しく記録されている。

小アジア方面では紀元前 3000 年以前には、鉛、銀が得られていたと推定されている。方鉛鉱をばい焼還元する技術のほか、鉛を使う灰吹法、その前提である銅の中の鉛、銀などの分離方法も紀元前 3000 年当時には、

ポントスにおいて発明され、開発されていたと考えられている。この知識は次第に古代近東に広まって、ついに紀元前 15 世紀には一般に使用されるようになったと考えられている。

③アッシリア

アッシリアの原初の法典では、紀元前 2000 年に鉛が通貨として使用されると規定しているが、アツシュルの神殿(紀元前 1250 年頃)からは、印形を持った鉛の貨幣が出土している。また、ウルの遺跡からは年代が不詳であるが、鉛製の管、壺の破片が発見されている。

④近東～インド

インドには古代から多くの鉛鉱山があった。モヘンジョ・ダロで銀が発見されており鉛鉱山の存在が推定されている。インドの北方のバクトリアやトランスオクサニアではペルシャ時代またはそれ以前から採掘されてきた銀と鉛の産地がある。また、アフガニスタンやアマダリア川の北の地域にも多くの鉛鉱山がある。フェルガナ地方にも鉛鉱山の記録がある。

ペルシャでは、マシュハド近傍のニッチ山、ピナルード山、東部ケルマーン南方のムルガーク、カスピ海沿いダームガンの山々やエルブルズ山脈などには豊かな方鉛鉱の鉱脈が数多くあった。

メソポタミアには方鉛鉱の鉱山はなくて、アルメニアとクルディスタンの山中に豊かな鉱山が多くあった。メソポタミアを取り囲む山々には豊かな含銀方鉛鉱鉱床があったので、メソポタミアでは、鉛と銀は早くから利用されることになった。

⑤エーゲ海・ギリシャ

エーゲ海地方では、中期ミノア時代（紀元前 2000～1000 年）に鉛と銀の遺物が出現している。

ギリシャでは、紀元前 600 年頃ラウリオン鉱山が開発され、鉛と銀の鉱山として有名で、稼行対象はほとんど方鉛鉱で、銀含有量は平均トン当たり約 1.7kg に及んだといわれる。ラウリオン鉱山の採掘は、初期には簡単な露天掘から始め、次第に立坑が掘られ、その数は、ついに 2,000 か所以上に及んだという。

また、当時、北アフリカのカルタゴでは、組織的な鉛鉱山が開発され、鉛の量産が行われていたといわれる。

⑥ローマ

ヨブ記には「ああ、今、できれば私のことばが書き留められればよいのに、ああ、書き物に刻まれればよいのに、鉄の筆と鉛とによって、いつまでも岩に刻みつけられたい。なぜなら私は私の救世主が生きておられることを知っているから…」と記されている。これがどのように描かれたかについては、研究者によって意見が分かれている。ある者は、文字は鉛の板の上に鉄筆で単に刻まれたただけだと主張し、ある者は岩に文字を鉄筆で刻んだあと、溶融した鉛をその刻みに流し込んだのだと主張している。

紀元前後には、中近東・ギリシャの採鉱・冶金技術はローマ帝国に受け継がれていた。ローマは優れた土木技術を鉱山に応用し、坑内採掘の給・排水技術を飛躍させた。ローマ領スペインのリオ・チント鉱山では、8 対の水車で坑内水を 30m の高さまで揚水していた。

ローマ時代の鉛製錬は、方鉛鉱をばい焼して、溶錬するもので、その炉は自然通風を最大限に利用するため丘の上に築造され、その結果得られた粗鉛には 1t 当たり 1.2～4.5kg の銀を含んでいたといわれる。

ローマ時代の鉛の用途は、主に水道用鉛管、建築用鉛板、半田、白粉である。紀元 79 年にベスビオ火山の噴火のため廃墟になったポンペイから給水用鉛管が発掘されている。水道橋をはじめとする給排水施設での

鉛の使用は極めて進んでいた。鉛管の製造には鉛板を曲げ合わせ、その境目を半田付けしており、鉛と錫の合金である半田も同時に使用されていた。

また、建築用に鉛の薄板、厚板が大規模に使われたが、これはエジプトにおいてピラミッドの石積みの際、石と石のクサビとして鉛を流し込んだ技術の延長である。ビザンチンでは、大理石建築物の柱あるいは柱頭のパッキングとして使われている。薄板は屋根に葺かれていた。

ローマの白粉には、鉛白が使われた。また、ローマ人は羊皮紙に鉛で線を引くことを知っており、これが現在の鉛筆（Lead Pencil）の名の起源となっている。実際には黒鉛（グラファイト）が鉛筆の芯の材料になっているが、その昔は鉛であったことの名残である。

⑦欧州

ブリテン島のローマ人による鉛資源の開発は、ローマ人がブリテン島に達すると（紀元 49 年）すぐに開始され、秩序だった組織的な生産と貿易が行われた。深部の採掘が行われた証拠はなく、鉱石のほとんどは浅掘りによって得られたと考えられる。ここの鉛地金は、入念に造った鑄型に流されて、日付の入った鑄塊に造られた。これらは、水道管や貯水槽や食器に用いられ、ローマ時代の高い生活水準に貢献した。

フランスでは鉛鉱石は、ロデズ、ジュヴァンダン、ピレネー、ブルターニュなどで、ローマ人の征服以前から採掘されたが、ローマ人の占領後、外国との競争のために閉山された。

イタリア本土では鉛鉱石のほとんどがトスカナ地域で採掘された。サルディニア島の鉱山はフェニキア人が採掘した。

スペイン・ポルトガルでは、早い時期から銀・鉛が採掘されていた。古代、大量の銀が産出したという話が残っているが、真実は不明であった。しかし、あちこちの遺跡に大量のスラグの山が残されており、このスラグの深さや量を見積もるのは難しいが、総量でおよそ 2,500 万 t ないし 3,000 万 t に達する（表 2）。

表2 イベリア鉛・亜鉛鉱床帯のスラグ量

遺跡名	スラグ量
(シエラ・モレナ山脈の)リオ・チント鉱山地域	1,800万～2,000万t
タルシス鉱山地域	600万～700万t
その他スペインの遺跡	300万～400万t
ポルトガルの遺跡	100万～150万t
計	2,800万～3,250万t

出典:古代の技術史 上

ローマ帝国の採鉱冶金技術は、欧州大陸から英国諸島にまで及んだ。特に中部欧州での資源開発を促し、フライベルグでは 1136 年に銀を多量に含む鉛鉱石を発見し、その後一大鉱業地帯に発展した。ランメルスベルグ鉱床も 968 年に、マンスフェルト鉱床が 1215 年に発見された。ハンガリー鉱山は 814 年以前から開発されている。

これらの鉱業の発展を背景に、1556年アグリコラが鉱業技術の集大成であるデ・レ・メタリカを刊行した。

⑧東洋

中国では、錫に替わる金属として利用されていた。

日本では、天平年間に寺院の造営資材の中に鉛の調達が記録されている。鉛生産は675年に対馬から銀が献上されたとあることから、鉛も同時に生産されたと考えられている。

⑨ルネサンス期

一般に印刷術と火薬と羅針盤は世界の秩序を変えたルネサンス期の3大発明とされる。印刷術は、ドイツのグーテンベルク（Johannes Gutenberg、1397～1468）によって1440年（発明年は諸説ある）に発明された。活版印刷は、書物をたやすく安く作る、すなわち1冊の本を作るのと同じ時間で数百の本を作るという着想で、写本の労を省くことを目的に、印刷機の実現させたものである。活版印刷とは活字で組んだ版（活版）を用いるものをいう。それ以前の木版では一枚の板で作られ、文字の抜き差しが難しかったものに対して、文字の組み替えが自在にできるところから「生きた版」という意味で活版と名付けられた。活版印刷はグーテンベルクの発明以来、文字印刷の主流として利用されてきた。活字は、鉛を主とし、錫、アンチモン、少量のビスマスを添加した合金で作られる。

鉛の用途別消費量としては、金銀製錬用の貴鉛の原料として大半が使われたと考えられている。建築用としては、鉛板が製造された。また、特殊な用途として、H型断面に加工され、ステンドグラスの補強材（枠）に使用され、ゴシック様式の完成に貢献した。

(3) 産業革命後の鉛

産業革命は、ワットの蒸気機関に代表される、生産活動の機械化、動力化を特徴とする。その機械を造るための原材料を提供する製鉄業や石炭鉱業等が発展し、またその機械を使って鉱業がさらに発展した。また、それらの循環が様々な分野での金属の利用を促した。

鉛が硫酸による腐食に対し強いという性質（耐食性）も産業革命の時代に発見された。最初に鉛の硫酸に対する性質を観察したのは、J.R.グラウバー（1604～1670年）であり、これがJ.ローバックに引き継がれ、1746年英国において硫酸製造の際に鉛が使用されて、初めて鉛室法の基礎が確立した。この鉛の利用法がその後の化学工業や全産業に寄与することとなった。また、大規模な鉛室法による硫酸製造のための需要を満たすため、圧延法による鉛板の加工法が実用化された。

産業革命後の鉛利用は、鉛室法や圧延法などは一例で、鉛の主要用途である蓄電池、鉛管、半田、電線、無機薬品などについて新規需要が開拓され、従来からの冶金、釉薬用の他に広範囲に応用されることとなった。

鉛供給にも新しい流れが始まった。コロンブス以後のアメリカ大陸の情報は、金銀などの貴金属の獲得を目的としてアメリカ大陸への関心を高めた。中南米の

鉛鉱山はスペイン人によりメキシコで17世紀初頭に開発が始められた。鉛が早くから注目されたのは、新大陸に侵入した征服者が、鉄砲の弾丸用に鉛を現地調達する必要があったためと考えられている。メキシコの鉛は含銀量が多く、その点でも開発に拍車がかげられた。鉛と銀の産出は、征服以前にすでにアステカ人によって行われていたが、ドイツ方面の鉛銀産出以外見るべきものがなかったヨーロッパにとって、新大陸アメリカでの鉛銀の開発はすばらしい新天地の開拓となった。16～17世紀の全世界の産銀量は表3のように推定されており、1581～1600年の20年間の激増は、メキシコ・ポトシ鉱山の大増産が寄与しているものとされ、同鉱山の年平均銀産量は254tに及んだとされる。従って、平行して鉛の産出も相当量に及んだと推定されている。

表3 全世界の年平均産銀量推移

期 間	平均年間産銀量
1561～1580年	299,500kg
1581～1600年	418,900kg
1601～1620年	422,900kg
1621～1640年	393,600kg
1561～1640年総計	30,698t

出典:鉛ハンドブック

産業革命の進展は、それまで軍用、農業用のみに向けられていた鉛、亜鉛、銅等の金属類に対して、全く新しい用途、需要を開発し、また、その消費量の増大は、新大陸にこれらの金属資源を求めて、人々を駆り立てることとなった。

米国においては、ミズリー州を中心とする鉛の富鉱床が発見され、トリ・ステート（Tri-State）と呼ばれるミズリー・オクラホマ・カンザス3州に跨る鉱床群も続いて発見されて、後にLead Beltと名付けられた世界でも有数の鉛産地へと発展していった。

オーストラリアにおいては、1883年ニュー・サウスウェールズ州ブローケン・ヒルにおいて羊牧畜場の巡視人Charles Raspが鉛亜鉛鉱床を発見した。ほこりっぽい平原の黒い尾根をなしていた岩脈は、ただ羊牧場の境をなすだけであったが、これが含銀鉛亜鉛脈と判明して、1885年、The Broken Hill Proprietary Company（BHP）が設立され、産業革命後の新しい金属需要に応じるため急速に開発された。その後、クイーンズランド州マウント・アイサにおいても鉛亜鉛鉱床が発見され、現在までこの2鉱山が世界の主要鉱山となっている。

3. 鉛生産技術の変遷

(1) 鉛資源

①鉛鉱物・鉛鉱床の特徴

鉛の鉱石鉱物は、ほとんど方鉛鉱（galena、PbS）からなる。鉛鉱床の地表近くの酸化帯では、白鉛鉱（PbCO₃）や硫酸鉛鉱（PbSO₄）が方鉛鉱の変質鉱物と

して産出するが、歴史時代に掘り尽くされて、現在ではほとんど生産されていない。方鉛鉱には少量の銀を含むことが多い。それ故に古来は銀を採取することが主目的で銀鉱石として扱われていた。鉛と亜鉛は相伴って産出することが普通で、鉛・亜鉛鉱床として一括されることが多い。品位的に価値の高い方が主鉱種として、片方が副産物として扱われる。また、方鉛鉱には多少のビスマス、アンチモンなどを含有し、これらの金属や銀は製錬の副産物として回収される。

鉛・亜鉛の生産は、古代から19世紀までは高品位鉛

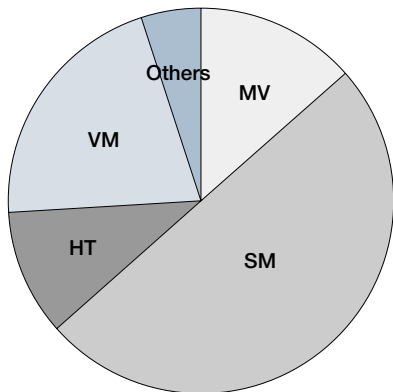
脈鉱床や炭酸塩岩中の交代鉱床が主要な供給源であった。20世紀にはいると米国の生産が伸び、ミシシッピ・バレー型鉱床や鉛脈鉱床が主体となった。その後、オーストラリアやカナダのBroken Hill 鉱山、Mount Isa 鉱山、Sullivan 鉱山などの塊状硫化物鉱床が最大の供給源となった。さらに米国・アラスカでは巨大な堆積性塊状硫化物鉱床であるRed Dog 鉱山が1990年に生産を開始した。オーストラリアでは、Cannington 鉱山が開発された。これら主要鉛鉱山の生産量を表4に示す。

表4 世界の主要鉛鉱山の生産量

鉱山名	単位:t					世界計 (単位:千t)
	Broken Hill 1885年生産開始	Mount Isa 1924年生産開始	Sullivan 1895年生産開始	Red Dog 1990年生産開始	Cannington 1997年生産開始	
1956 ^(*)	223,334	42,263				2,244
1957	253,979	47,402				2,336
1958	234,332	58,579				2,309
1959	243,360	51,017				2,302
1960	221,589	53,420				2,376
1961	211,203	39,753				2,423
1962	281,202	56,568				2,530
1963	315,055	60,403				2,547
1964	303,050	56,382				2,570
1965	295,486	49,673	91,710			2,741
1966	282,210	65,525	80,615			2,901
1967	275,986	84,119	81,801			2,903
1968	245,252	116,679	79,088			3,034
1969	277,160	147,726	85,363			3,277
1970	271,306	160,365	89,508			3,463
1971	249,580	127,254	113,414			3,471
1972	245,524	119,985	93,253			3,585
1973	242,676	136,266	99,235			3,673
1974	225,063	128,210	51,837			3,632
1975	242,370	142,633	71,248			3,560
1976	216,151	160,734	77,302			3,457
1977	231,106	174,758	75,651			3,638
1978	223,694	146,928	90,061			3,616
1979	224,745	155,021	100,156			3,583
1980	209,653	141,293	72,675			3,582
1981	189,684	140,028	88,986			3,471
1982	217,072	178,171	100,498			3,568
1983	196,938	200,117	79,330			3,492
1984	163,713	190,893	116,576			3,411
1985	178,872	157,372	103,335			3,575
1986	136,890	191,641	81,073			3,352
1987	82,600	171,067	72,770			3,389
1988	90,100	163,183	90,000			3,372
1989	160,380	167,370	53,300			3,319
1990	148,370	178,490	12,600	38,600		3,110
1991	153,000	165,970	64,890	46,000		3,123
1992	160,000	196,320	51,690	46,000		3,047
1993	164,370	224,150	41,540	22,160		2,700
1994	158,070	191,800	48,200	29,800		2,710
1995	138,690	150,580	47,110	50,540		2,754
1996	129,490	156,260	42,810	56,340		3,006
1997	130,185	162,796	41,792	63,561	13,000	3,029
1998	114,595	146,040	48,870	72,600	73,000	2,990
1999	109,209	128,010	36,520	88,900	150,000	2,973
2000	101,030	137,190	33,113	83,000	200,480	3,046
2001	82,577	118,807	31,760	95,300	210,870	3,008
2002	60,746	160,385	2001.12閉山	124,000	231,764	2,831
2003	55,000	134,779		124,900	237,427	3,111
2004	54,500	139,538		117,000	249,885	3,128
2005	61,100	159,557		102,300	281,970	3,423
2006	74,800	118,000		123,500	266,321	4,442
計	9,557,047 (1956~2006)	6,751,470 (1956~2006)	2,639,680 (1965~2001)	1,284,501 (1990~2006)	1,914,717 (1997~2006)	

出典：Canadian Minerals Yearbook、Australian Mineral Industry Annual Review Year Book of the American Bureau of Metal Statistics
Metals Economics Group

鉛の鉱床タイプの分類は、亜鉛と共通である。鉛埋蔵量の鉱床タイプ別割合を図3に示す。これは、佐藤(1992)により、当時の生産中および2・3年間に生産が予定されている鉱山のうち鉛・亜鉛量が30万t以上の鉱床・鉱山をもとに集計したものである。



MV:ミシシッピ・バレー鉱床
SM:堆積性塊状硫化物鉱床
VM:火山性塊状硫化物鉱床
HT:その他熱水性鉱床(主に鉱脈型)
出典:佐藤壮郎(1992年)

図3 鉛埋蔵量の鉱床タイプ別割合

鉛鉱床の地理的賦存状況は、先進国に集中していることが特徴である。1960年代前半のデータによると、埋蔵量と既探掘量では、北米、欧州およびオーストラリアの合計が、埋蔵量で世界の78%、既探掘量で世界の88%と大部分を占めている。なお、この資料の1960年当時はブラジルや中国などの探査、開発が不十分で、この時点では途上国の埋蔵量は充分反映されていない(表5)。

表5 世界の地域別鉛埋蔵量と既探掘量(1965年)

地域	埋蔵量		既探掘量	
	(千t)	%	(千t)	%
北米(西部)	24,088	28	29,983	24
北米(東部)	11,720	14	20,085	16
中南米	7,982	10	2,502	2
北アフリカ	1,822	2	2,800	2
中南アフリカ	1,366	2	2,800	2
アジア	4,621	5	3,068	2
ヨーロッパ	18,686	22	44,557	35
ソ連	2,107	3	5,219	4
オーストラリア	11,983	14	15,882	13
(約)	84,375		126,896	

出典:世界の銅鉛亜鉛鉱床の規模について

世界の鉛埋蔵量は、米国内務省の2005年のデータでは、世界の鉛埋蔵量は67百万tと積算され、オーストラリア、中国、米国およびカナダの4か国で世界の54%を占める。鉛埋蔵量の積算推移を表6に示す。

表6 世界の鉛埋蔵量推移

単位:百万t

	1970年	1980年	1990年	1995年	2000年	2005年
世界合計		95.0	70.0	69.0	64.0	67.0
北アメリカ						
米国		21.0	11.0	8.0	8.7	8.1
カナダ	10.8	12.0	7.0	4.0	1.6	2.0
中央アメリカ						
ホンジュラス		0.5				
メキシコ	3.6	3.0	3.0	1.0	1.0	1.5
南アメリカ	4.5					
ブラジル						
ペルー		2.0	2.0	2.0	2.0	3.5
その他		0.5				
ヨーロッパ	7.2					
アイルランド		1.0				
ポーランド		1.5				
ボルトガル		1.5				
スペイン		2.0				
旧ソ連圏	10.8		9.0			
ソ連		12.0				
ユーゴスラビア		4.0	2.0			
カザフスタン					2.0	5.0
スウェーデン		1.5		0.5	0.5	0.5
ブルガリア		3.0				
その他		2.0				
アフリカ	3.6					
南ア共和国		4.0	2.0	2.0	2.0	0.4
ザイール						
モロッコ		1.5		0.5	0.5	0.5
その他		0.5				
アジア	4.5					
中国		2.0	6.0	7.0	9.0	11.0
インド		2.0				
イラン						
日本						
その他		1.5				
オセアニア						
オーストラリア	9.0	16.0	14.0	20.0	15.0	15.0
その他			14.0	24.0	22.0	19.0

出典:Mineral Facts and Problems Mineral Commodity Summaries

②鉛鉱山

鉛鉱床は一部を除いて、多種の金属を含有するため、鉛は通常他の金属と併産される。鉛生産はこの金属間の相互関連性があるため、併産する金属の品位、価格、採取技術、需給バランスが鉛の生産に影響する。鉛鉱山は、当初、銀を採取する目的で採掘が始まったものが多い。亜鉛と共生する鉱床がほとんどで、亜鉛の回収技術の向上と用途の拡大により、亜鉛の価値を重視する鉛・亜鉛鉱山が増加していった。鉛・亜鉛鉱床から掘り出された「粗鉛」は、選鉱を行い、鉛鉱物を主とする「鉛精鉱」、亜鉛鉱物を主とする「亜鉛精鉱」、鉛鉱物・亜鉛鉱物ともに含まれる「混合精鉱」などに分け、製錬所に送られる。

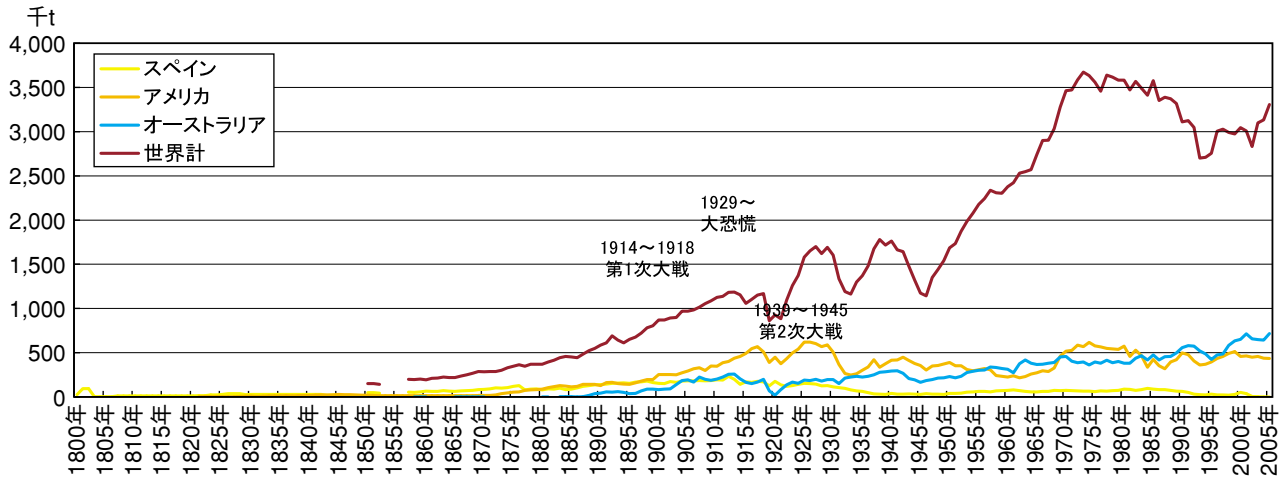
産業革命後の世界の鉛鉱山生産は、1800年代の鉱業の技術革新を受け、次第に生産を拡大していった。その中で、1919～1921年、1931～1937年、1945～1946年の3回、生産が低落した。これらは、第1次世

界大戦後の生産減退、世界恐慌による景気の後退、第2次世界大戦後の生産の沈滞であった。

主要生産国は、スペイン、ドイツ、米国、オーストラリア、カナダで、1879年まではスペインが最大の生産国であった。トリ・ステートの開発が始まり急速に生産が伸びた米国が1980年にスペインを抜いて世界第1位になった。1890年から1896年間はスペインと米

国の生産が拮抗している。オーストラリアではBroken Hill 鉱山（1883年発見）、Mount Isa 鉱山（1923年発見）の生産が始まり、1955年に米国を抜き世界第1位になった。その後米国、オーストラリアで1、2位を分け合っている。カナダでもSullivan 鉱山（1892年発見）の生産が始まり、主要な生産国となった。

世界の鉛鉱山生産の推移を図4に示す。



出典: World Non-Ferrous Metal Production and Prices 1700-1976, Metal Statistics, Lead and Zinc Statistics

図4 鉛鉱山生産量推移 (1800～2005年)

(2) 採鉱技術

鉛・亜鉛の鉱床は塊状、脈状のものが多いため、古代に鉱床の露頭が地表付近に発見されたころは、地表から狸掘りや掘下がりが行われたが、近代になると露天掘りは行われず、坑内採掘が主体となった。主な方法としては、ルームアンドピラー法、シュリンケージ法、カットアンドフィル法などが行われている。

(3) 選鉱技術

古代より、鉛鉱物の比重を利用して、猫流しなどが行われていた。近代でもジグ法、テーブル法などの重力選鉱が行われていたが、今日では、浮遊選鉱法が中心である。浮遊選鉱法は、亜鉛の歴史で述べたように、19世紀後半に発明され、1905年オーストラリアのBroken Hill 鉱山で初めて工業化に成功したものである。

(4) 製錬技術

鉛は、歴史上、銀と同時期に登場することから、含銀方鉛鉱の処理により、銀とともに出現したと推測され、方鉛鉱をばい焼還元する技術のほか、鉛を使う灰吹法、銅中の鉛、銀の分離方法も、紀元前3000年当時すでに小アジアで開発されていたといわれる。

1556年、アグリコラにより刊行された「デ・レ・メタリカ」には、次のような鉛製錬方式が記載されている。「パン焼き釜に似た炉の鉱壁に設けた口から薪を突っ込む。この薪が激しく燃え始めると、鉛が鉱石から

にじみ出る。そして坩堝へ流れ込む。溶解が済んでから坩堝の栓を開けると、鉛が鉱滓もろとも下の第2の坩堝へ流れ込む。この鉱滓を取り除き冷却して鉛の塊を取り出す。」

日本においても、鉛製錬は銀製錬に付随して発展したものと考えられ、平安時代の「対馬貢銀記」などに紹介されている。

戦国時代の諸大名は、金銀掌握のため、各地の鉱山の争奪を行った。各地で金銀鉱山が開発され、金銀製錬技術の「灰吹法」の普及につながった。灰吹法は、1533年(天文2年)大森銀山(石見銀山)に朝鮮半島から招かれた製錬技術者により伝えられたのである。灰吹法の原型は古来より行われていたが、導入された方法は銀の回収率を向上させた新しい改良型であった。この新たな灰吹法は、石銀(鉛)を加えて貴鉛をつくるプロセスで、鉛の吸着剤として骨灰を炉の中に敷き詰めるもので、作業の効率化と銀の回収率の向上を図っている。さらに、江戸時代に入ると、銀製錬のための灰吹鉛の需要が全国において生じ、各地に鉛鉱山が出現することとなった。また、江戸時代には銅の「南蛮絞り法」が登場した。この方法は、含銀銅鉱に鉛を合わせて吹き、銀を鉛に含ませて貴鉛をつくり、銅と鉛の融点の相違を利用して分離・精製するものである。

明治政府は、鉱業技術の近代化を図り、外国から新しい製錬法を導入した。日本における鉛製錬の発達は、古来より踏襲された固有の方法が、明治20年前後を境

にして、外国技術の導入により廃止され、ばい焼・溶鉱・精製の3工程が明確化し、飛躍的に進歩して、今日の鉛製錬の基礎が確立され、さらに技術的な幾多の改良が加えられて、今日に至った。

(5) 再生鉛

鉛はその主な用途が鉛管、電池、活字などで、比較的塊で使用されるため、リサイクル・再利用しやすい金属で、再生鉛が重要な供給源となっており、再生鉛が鉛の供給構造に大きな役割を果たしている。我が国での鉛のリサイクル率も高い。再生鉛の供給は市況によって左右される特徴を持ち、通常、鉛価格が上昇しつつあるときには、再生鉛の生産が増加し、逆の場合は著しく減少する。

鉛地金には「新鉛」と呼ばれる鉱石から製錬された鉛である「一次地金」と「再生鉛」と呼ばれる屑鉛から再生された「二次地金」とがある。我が国の新鉛は、かつて乾式法で生産されたこともあるが、現在は全て湿式法で精製された「電気鉛」である。再生鉛は鉛管板屑、鉛さい、蓄電池屑などを原料として生産され、精製は主に乾式法による。鉛は合金として使用されることが多いので、再生鉛は当然合金成分を含んでおり、精製せずにそのまま再使用されることも少なくない。

「資源統計年報」には、さらに「鉛の故又はくず」という項目があるので、その定義を次に示す。

再生鉛：鉛の故若しくはくず又は鉛合金の故若しくはくずを再生し、又は流し替えたもので、鉛の含有量90%以上の地金（一般的には特号故鉛、一号故鉛、三号故鉛、硬鉛地がねと呼称されるもの）

鉛の故又はくず：鉛の故、くず若しくはさい若しくは鉛合金の故、くず若しくはさい又はこれらを流し替えたもので、鉛の含有量50%以上のもの。

「故」、「くず」、「さい」という言葉に明確な定義はないが、業界では次のように言われている。

故：くずの固まり、又は固まったもの

くず：故およびさい以外のもの

さい：再生鉛の流し替え、あるいは精錬に際して出るダスト・ドロス類

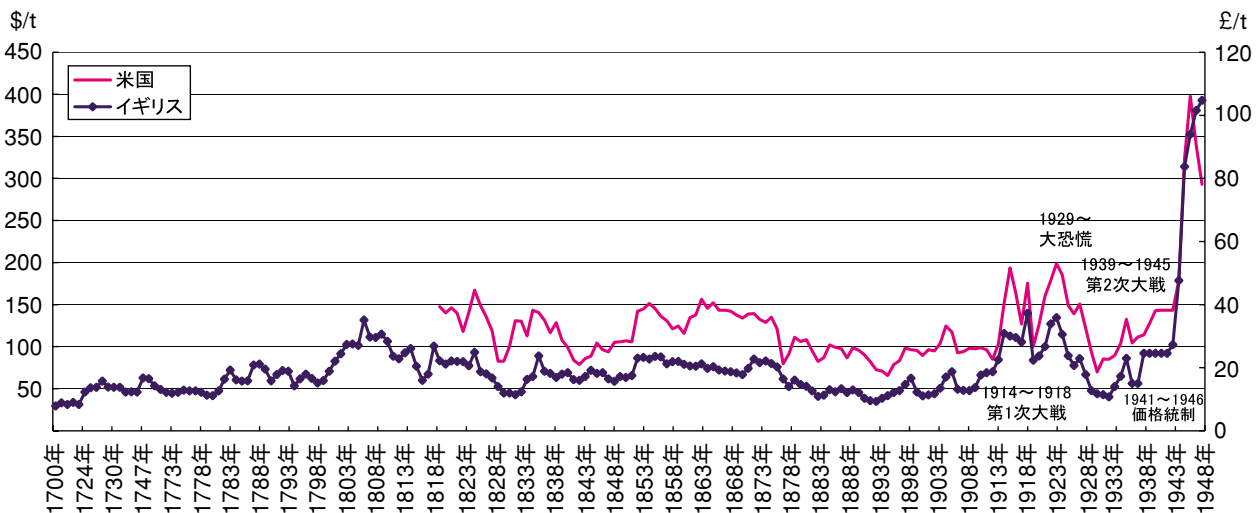
4. 鉛価格推移

鉛価格は、再生鉛の供給や代替品による需要減などの需給調整機能が働いたため、通常価格変化は小さい。通観すると、鉛生産が拡大した1878年から1914年まで低価格で安定して推移した。その後、1916～1920年の第1次世界大戦、1924～1926年に急騰した。

第2次世界大戦中の1941年から終戦までは、英国などの価格統制やLMEの取引停止により一定の価格で制御された。

英国と米国の鉛価格の推移を図5に示す。

(2007.7.27)



出典:World Non-Ferrous Metal Production and Prices, 1700-1976

図5 鉛価格推移 (1700～1950年)

〈参考文献〉

- オーストラリアの鉛・亜鉛鉱業と生産者 (1993) (社) 日本メタル経済研究所
- 金・銀・銅の日本史 (2007) 村上隆
- 元素発見の歴史 (1988) レスター (日本語訳・朝倉書店)
- 古代の技術史 上 金属 (2003) フォーブス (日本語版・朝倉書店)
- 古代の技術史 中 土木・鉱業 (2004) フォーブス (日本語版・朝倉書店)

- 自由世界の鉛・亜鉛生産における変遷—1980年代を中心として— (1992) (社) 日本メタル経済研究所
- 世界大百科事典 (平凡社)
- 世界の銅鉛亜鉛鉱床の規模について一定量の鉱床成因論の試み—(その1)(その2) (1976) 矢島淳吉 鉱山地質 Vol.6, No.3, 4
- 銅、鉛、亜鉛、金、銀鉱石供給源の過去・現在・未来 (1992) 佐藤壮郎 資源地質特別号、13
- 鉛亜鉛二十年のあゆみ (1984) 日本鉛亜鉛需要研究会

鉛統計データブック (2005) (社) 日本メタル経済研究所
鉛の需要見通し (1986) 金属鉱業事業団
鉛ハンドブック 改訂版 (1992) 日本鉛亜鉛需要研究会
非鉄金属の実際知識 (1967) 渡部亮、高橋正夫
World Non-Ferrous Metal Production and Prices
1700-1976