

---

原 著 論 文

---

## 英国の主として産業革命時の銅製錬が自然環境及び社会にもたらした影響

島 崎 光 清<sup>a</sup>

### The Impact of Copper Smelting on the Natural Environment and Society Primarily During the British Industrial Revolution

Teruzumi Shimazaki<sup>a</sup>

(<sup>a</sup> Graduate School of Human Sciences, Waseda University)

(Received : March 10, 2008 ; Accepted : August 22, 2008)

#### Abstract

The Industrial Revolution in Britain caused severe environmental problems, including mine pollution. Around Swansea, in Wales, copper was smelted using copper ore from Cornwall and Devon and coal mined near Swansea. Initially, charcoal was used as a reducing agent during copper smelting; later, coke was used due to the lack of forest resources-deforestation and atmospheric pollution were not major concerns at the time. Meanwhile, steam engine technology was advancing, and water in the mine area was being drawn up in large amounts. While the technology of this age significantly contributed to the expansion of copper production, it did not provide sufficient environmental protection measures. Some farmers filed a lawsuit against the mining company responsible for the environmental deterioration, but they were ultimately unsuccessful. The company did not acknowledge the existence of the damage caused by its smelting activities. At the time, people possessed little awareness of pollution and the environment, and they did not know how to cope with ongoing environmental deterioration. In other words, there were no pre-determined measures targeting mine pollution—each affected person was forced to cope with the damages individually.

**Key Words** : Copper smelting, Industrial Revolution, Mine pollution, Swansea

#### 1. はじめに

人類の自然への働きかけは、太古より行われてきているが、特に産業革命の時期に顕著になった。その時期の生産活動が活発になる一方で、環境への影

響も大きくなった。本研究では、工業の基礎となる鉱物資源開発、特に銅の製錬と自然環境及び社会との関係を取り上げ、銅製錬が自然環境及び社会にもたらした影響について考察する。

---

<sup>a</sup> 早稲田大学大学院人間科学研究科 (Graduate School of Human Sciences, Waseda University)

産業革命を社会科学的観点から追究する研究は多いが、環境面からの見方も重要と考える。この自然科学と社会科学の両側面を持つ事象を産業革命時という時間軸の中で検討することは意義あることと考える。なお英国の産業革命の時期について研究者によってさまざまな見解があるが、ここではディーン(1973)が研究対象とした1750年から1850年の間とする。ただ本論文で、その期間前後の事象について

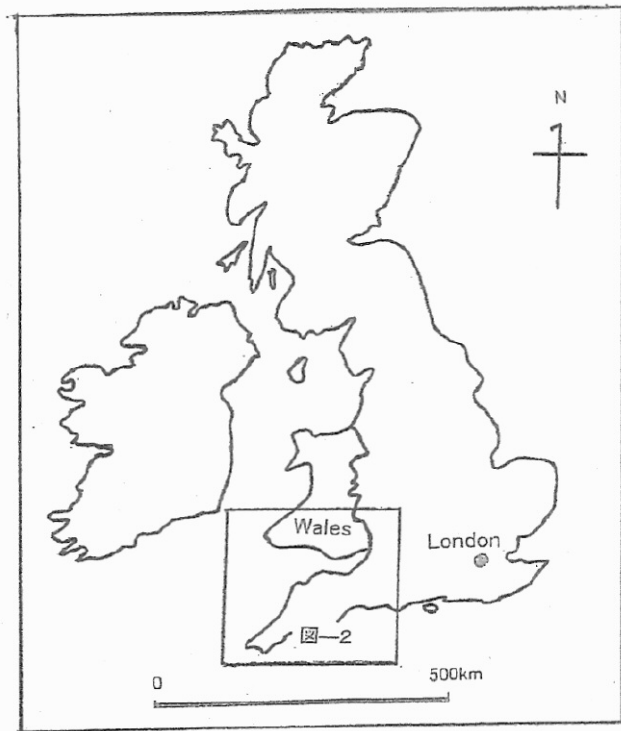


図-1 英国

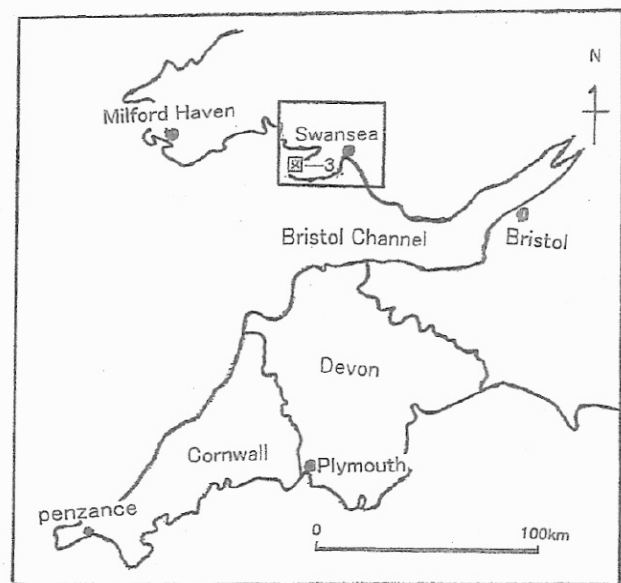


図-2 Southem Wales. Devon and Cornwall

も取り上げ研究対象とする。本研究は総合的な取り扱いを必要とするが、各要素ごとに歴史的な流れを検討した上で総合化する。

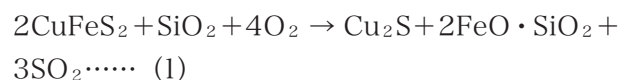
本論の対象地域は英国のDevon及びCornwallの銅鉱石を用いて製錬を行ったSwanseaを中心とする南Walesとする(図-1, 図-2)。

鉱害は発展途上国で継続中であり、これを解決するには技術的な問題だけでなく、政治、経済、法律等の要因を考えなくてはならない。このような地域の環境と経済発展という鉱害問題を解決するためにも、産業革命期に初めて鉱害を経験した地域の研究が参考になると思われる。

## 2. 銅鉱石、銅鉱床の資源開発

### (1) 銅鉱石と製錬

銅は加工が容易で耐食性にも優れており、強度も比較的強い。また電気伝導性、熱伝導性もよく、現在でも電線や化学装置、建築材などに利用されている。銅鉱石は、自然銅、酸化銅、硫化銅の3種に大別できる。世界産出銅鉱石の大部分は硫化銅であり、中でも黄銅鉱( $\text{CuFeS}_2$ )が圧倒的に多い(日本化学会, 1965)。銅の平均地殻存在量は0.005%、現在の稼行可能な元素の最低含有率(注1)は0.4%で、濃集度(注2)は80である(エヴァンズ, 1989)。この稼行可能な元素の最低含有率は製錬技術によって変化する。溶解炉法や反射炉法等の融解製錬工程では銅鉱石を融解し、分解・酸化反応により金属硫化物からカワ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )とカラミ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )が生じる。以下に化学反応式をあげる(志賀, 2003)。



次は、製銅工程でカワを粗銅(純度98%)にする反応である。



この後、精製炉で純度を99.5%に高めた後、電気製錬で純度を99.99%にする。

### (2) 銅鉱物資源の開発の歴史

今からおよそ9000年前、トルコのアンカラ近くで人類が初めて自然銅の小球体を発見し、その2~3000年後、人類は製錬の方法を開発した。さらにこの銅製錬の方法は、エジプト、キプロスや中東のその他の地域に伝わった(Alexander and Street, 1982)。

青銅鑄物が始まったのは紀元前2500年ころであるが、紀元前3000年ころから、銅加工品にスズを含んだものがある。これらは銅鉱石を製錬する際に偶然にスズを不純物として取り込んだと考えられる。青銅は銅に比べると、より硬く、耐久性はほぼ等しく、鑄造は容易であるので、その使用は急速に広がっていった（スミス, 1966）。

英国の産業革命当時、電気は発見されていなかったが、1800年ごろVoltaが電池を発明し、1831年にFaradayが電磁誘導を発見して以来、エレクトロニクスと通信の発達により、銅の需要が高まった（Alexander and Street, 1982）。

英国の銅産業の最盛期は19世紀初期であった。英国本国の主要な銅鉱石産地はCornwall州とDevon州であった。Devon及びCornwallでの銅鉱石の採

掘量の最盛期は1855～1860年の間であり年間産銅額は、 $1.2 \times 10^4$ トン前後であった。その後、銅山の消耗、事故等から、年間産銅額は、19世紀末期に $3.0 \times 10^2$ トン台にまで落ちた（表－1）。世界の銅需要は産業革命中及びその後も増大していき、その生産高も増加した。産業革命の期間中、英国は主要な銅の生産国であった（表－2）。

英国全体の銅鉱石産出高は19世紀半ばに全世界の7割以上を占めていたが、その後減少していった。英国が銅鉱石産出高で世界第一位の生産国であるというのは1850年までで、その後、チリ、アメリカ合衆国、スペイン、ポルトガルが主要な生産国になった。1881年から1890年の銅の総生産量の世界の第一位はアメリカ合衆国であるが、この時期に日本の総生産量も世界第六位になった。また1891年から1898

表－1 CornwallとDevonにおける5年毎の銅の年平均産出高

年	銅鉱石(トン/年)	銅(トン/年)	年	銅鉱石(トン/年)	銅(トン/年)		
1725-	30	6,000	-	1815-	20	84,080	6,870
1730-	35	6,500	-	1820-	25	101,170	8,320
1735-	40	8,600	-	1825-	30	126,550	9,930
1740-	45	6,500	-	1830-	35	142,800	11,740
1745-	50	7,000	-	1835-	40	146,850	11,500
1750-	55	13,000	-	1840-	45	154,200	10,980
1755-	60	16,000	-	1845-	50	152,400	12,350
1760-	65	17,840	-	1850-	55	173,930	11,970
1765-	70	24,170	-	1855-	60	191,130	12,300
1770-	75	28,750	3,500	1860-	65	171,810	10,800
1775-	80	27,600	3,300	1865-	70	110,210	7,330
1780-	85	33,160	3,990	1870-	75	58,380	3,930
1785-	90	35,500	4,220	1875-	80	48,350	3,320
1790-	95	40,240	4,670	1880-	85	26,150	1,850
1795-	1800	49,900	5,200	1885-	90	5,600	520
1800-	05	62,800	5,540	1890-	95	3,730	265
1805-	10	72,220	6,570	1895-	1900	5,230	370
1810-	15	73,030	6,530				

{出典:Barton(1961)}

表－2 世界及び英国の銅生産高

年	世界(トン)	英国(トン)
1712	?	1,000
1750	10,000	* 3,000
1800	15,000	7,000
1850	30,000	22,000
1880	200,000	80,000

?は不明 \*はヨーロッパ全体の値  
(出典:Hong(1996)とHughes(2000)より作成)

年の銅の総生産量の世界の第一位もアメリカ合衆国であるが、この時期に日本の総生産量は世界第五位になった (Barton, 1961)。

英国は、銅の需要に応じるために多くの量の銅をロシア、チリからの輸入に依存しなければならなかった (スミス, 1966)。19世紀末から20世紀にかけての急激な消費は、電子工業の発達による。20世紀末の全世界の銅の生産高は、年間  $9 \times 10^6$  トンである (Hong他, 1996)。

### (3) 銅製錬と環境への影響

Cornwallの銅鉱石は、ほとんど硫化鉱であり、製錬に際しては大量の二酸化硫黄を発生させた。これによる煙害は人間や家畜の健康、森林に悪影響を与える。二酸化硫黄の拡散は大気湿度及び風向並びに地形に強く依存する。二酸化硫黄の密度は約2.2であり、そのため周囲に拡散することなく谷沿いに停滞する。特に湿度が高いとき、二酸化硫黄は亜硫酸または硫酸ミストとなって大地を覆い、または酸性雨となって植生に被害を与える。

Swansea地区 (図-3, 図-4) は銅だけでなく、そこで操業されていた他の金属産業による大気汚染もあった。銅は大気汚染の第一の原因で、主とし

て有害な蒸気や製錬時の鉱石からの微粒子や燃料の石炭の煙霧の混合物として大きな影響を与えた (Newell, 1997)。

そこで、Cornwallと Devonから産出した銅鉱石の量から製錬時に発生した二酸化硫黄の量を濃硫酸に換算して推定した。本論2、(1)銅鉱石と製錬の(1)式 (2) 式より  $2\text{Cu}$  から  $4\text{SO}_2$  が生じ、これから  $4\text{H}_2\text{SO}_4$  が生じる。本論では、分子量の比 ( $4\text{H}_2\text{SO}_4 / 2\text{Cu}$ ) = 3.1から、発生する二酸化硫黄は濃硫酸に換算して、産銅量の3.1倍とした。1770年から1865年までの間に、発生した二酸化硫黄の濃硫酸換算量は、 $2.4 \times 10^6$  トンに達することが明らかになった (表-3)。

さらに、実際は (表-4) に示すように、製錬が行われたSwanseaへIrelandやその他の国からの銅鉱石の流入があり、発生した二酸化硫黄は、上記の推定値以上になったと考えられる。さらに、二酸化硫黄以外に製錬過程で生じる重金属の粉塵による害も考えられる。また廃石堆積場からの、鉱滓の流失も環境に重大な影響を与えたと考えられる。

Cornwallの鉱山の鉱石は砒素を含む。製錬のときに硫化砒素は酸化砒素に変わる。この酸化砒素は昇華する能力がある。鉱石から取り出された酸化砒

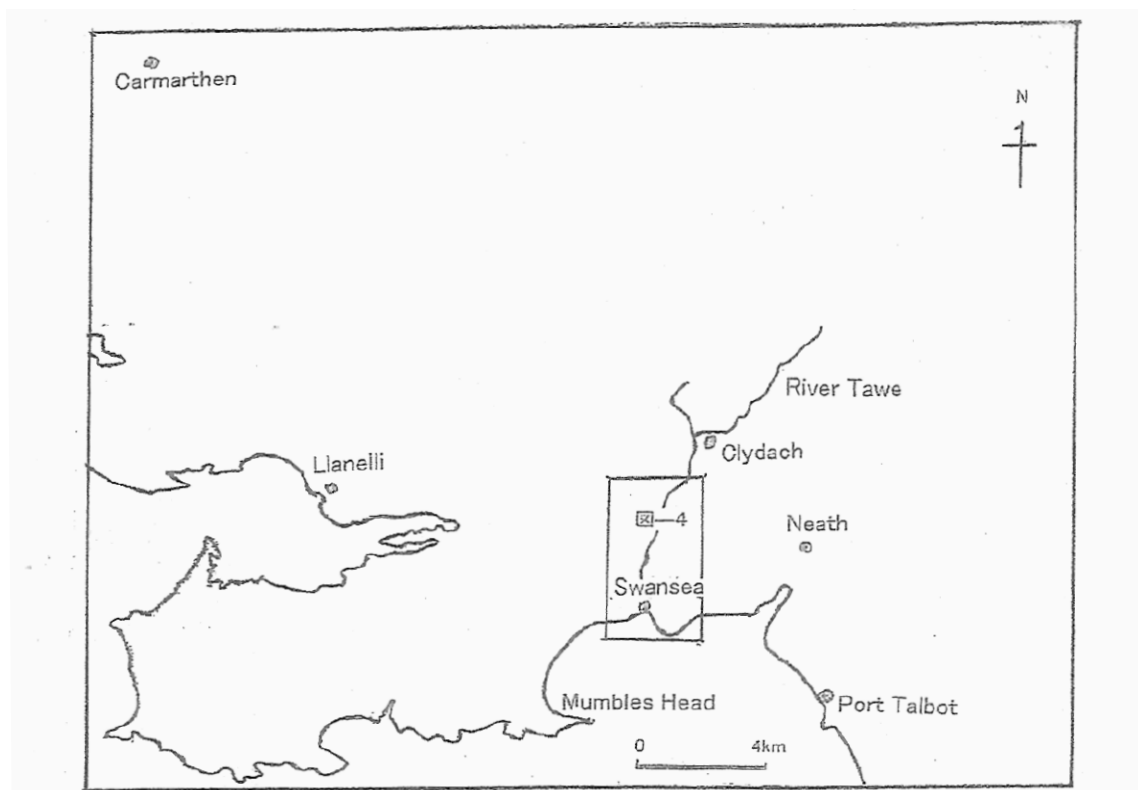
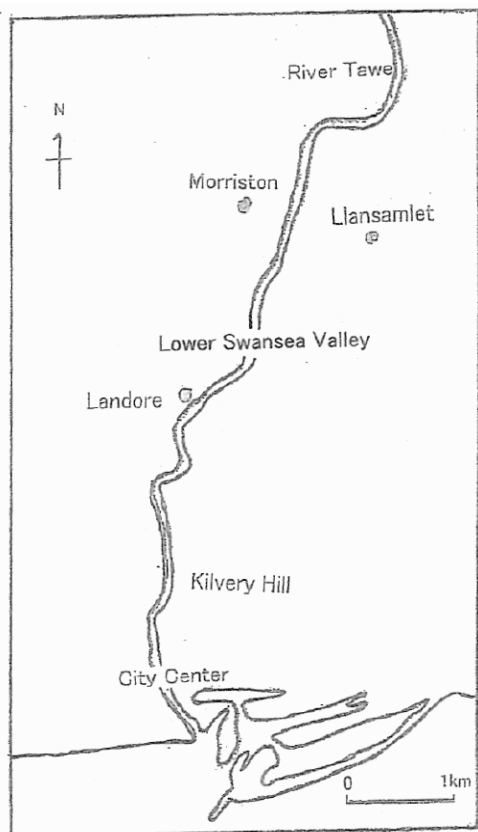


図-3 Southern Wales





図－4 Swansea

素は煙道を通り、そこで固体の酸化砒素に昇華する。鉱員は、この煙道の壁に張り付いた白色の酸化砒素を剥ぎ取るとき、重大な健康上の影響を受けたと考えられる（注3）。

鉱山の採鉱が進むと、地表を伝わってきた水が坑内から外に出る。この水、すなわち酸性鉱山排水

（AMD）は、しばしばpH4以下の強い酸性を示し溶解金属の濃度が高い。AMDによって地表水と地下水が酸性化するばかりでなく、鉄、亜鉛、銅やその他の有害金属の浸出、環境への拡散が促進される。このような物質は水棲生物を死滅させ、コンクリート製の排水路、橋脚、下水管や井戸のケーシングなどの人工構造物を腐食させる。銅濃度 $1.5 \times 10^{-3}$ ppmでも魚類の種類によっては致命的である（ピプキンとトレント、2003）。

現代では、銅1トン取り出すために、1898トンの廃棄物が出る。この内訳は、採掘段階で0.5%の銅を含む粗鉱を取り出すために生じる廃石が1671トン、次に選鉱段階で28%の銅を含む精鉱を取り出すために225トンの尾鉱が出て、熔錬、精錬段階で1トンの電気銅を取り出すためにスラグが2トン出る（谷口、2001）。技術が遅れていれば、これ以上の廃棄物が出ることになる。

製錬による森林への影響は、煙害以外に樹木の伐採がある。伐採する目的として薪炭材、坑木等の建築材料がある。さらに廃石等の投棄影響もある。これらの結果、土壌が削られ、むき出しになった山骨が風化され、水源地帯は荒廃し、保水量は低下していく。降雨は直ちに河川の水量の増加となり、下流地域で洪水が起きることがある。

### 3. 英国、主として南Wales、Cornwall地域の地質

南Walesの地質構造はSwansea北部の炭田地域を中心として向斜構造を示す。向斜軸は東西に走る。

表－3 CornwallとDevonからの累計産銅量と発生した亜硫酸の濃硫酸換算量推定値

年	産銅量 (トン)	累計産銅量 (トン)	濃硫酸換算量 (トン)	累計濃硫酸換算量 (トン)
1770～1800	128,920	128,920	399,652	399,652
1801～1830	221,900	350,820	687,890	1,087,542
1831～1865	416,830	767,650	1,292,173	2,379,715

{Barton(1961)の産銅量の資料を基に濃硫酸換算量を計算した}

表－4 19世紀半ばのSwansea Valley に関する物流

単位 (トン)

Swanseaへの流入	銅鉱石	合計	Devon, Cornwallより	Irelandより	その他の国より
		247,611	165,000	35,000	47,611
Swanseaへの流入	石炭	450,000			
Swansea港からの出荷	石炭	507,955			
Swanseaでの銅生産量		21,940			

{Hughes(2000)から作成}

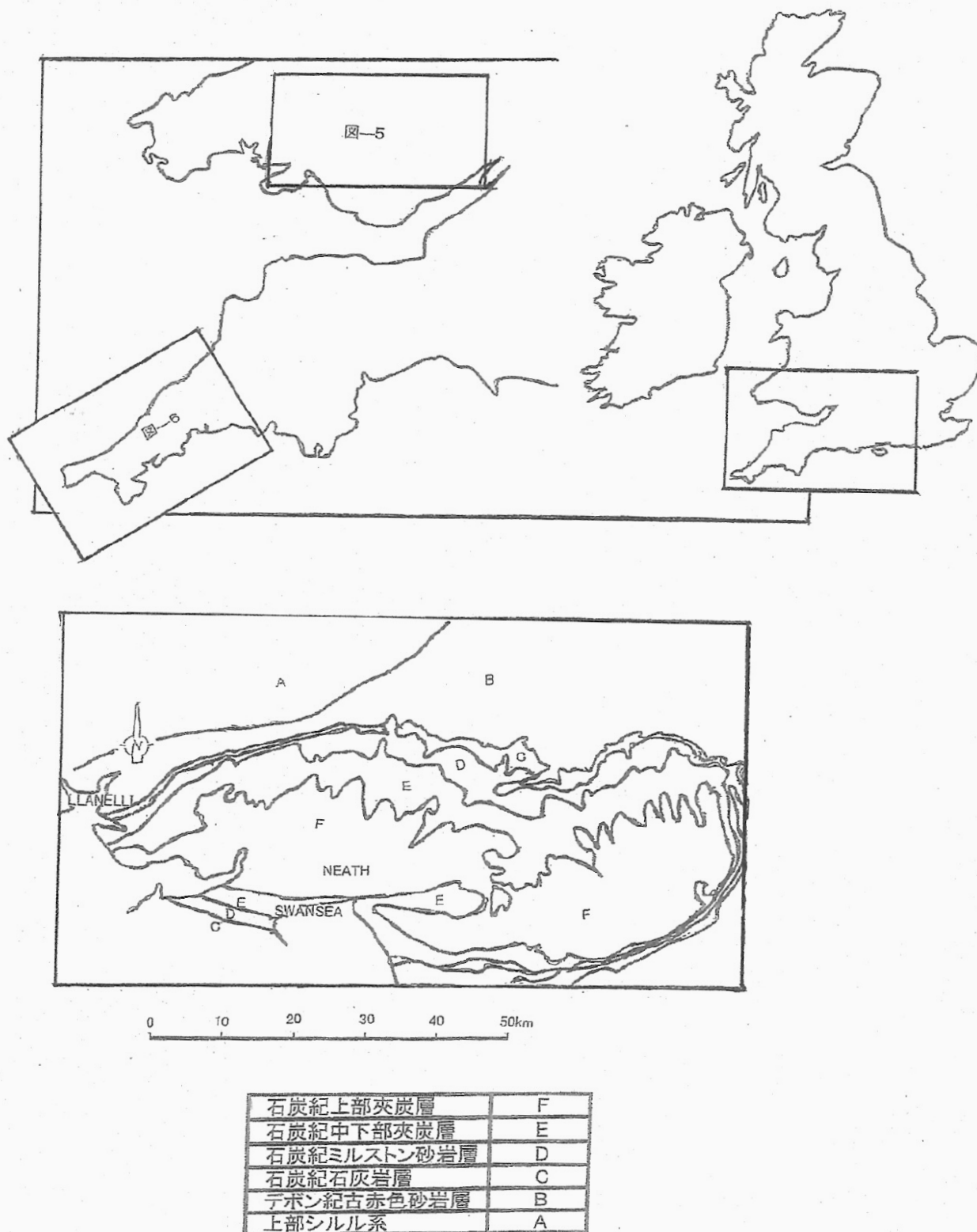


図-5 Swansea 付近の地質  
[bantley と Siddle (1966) の図を筆者が簡略化]

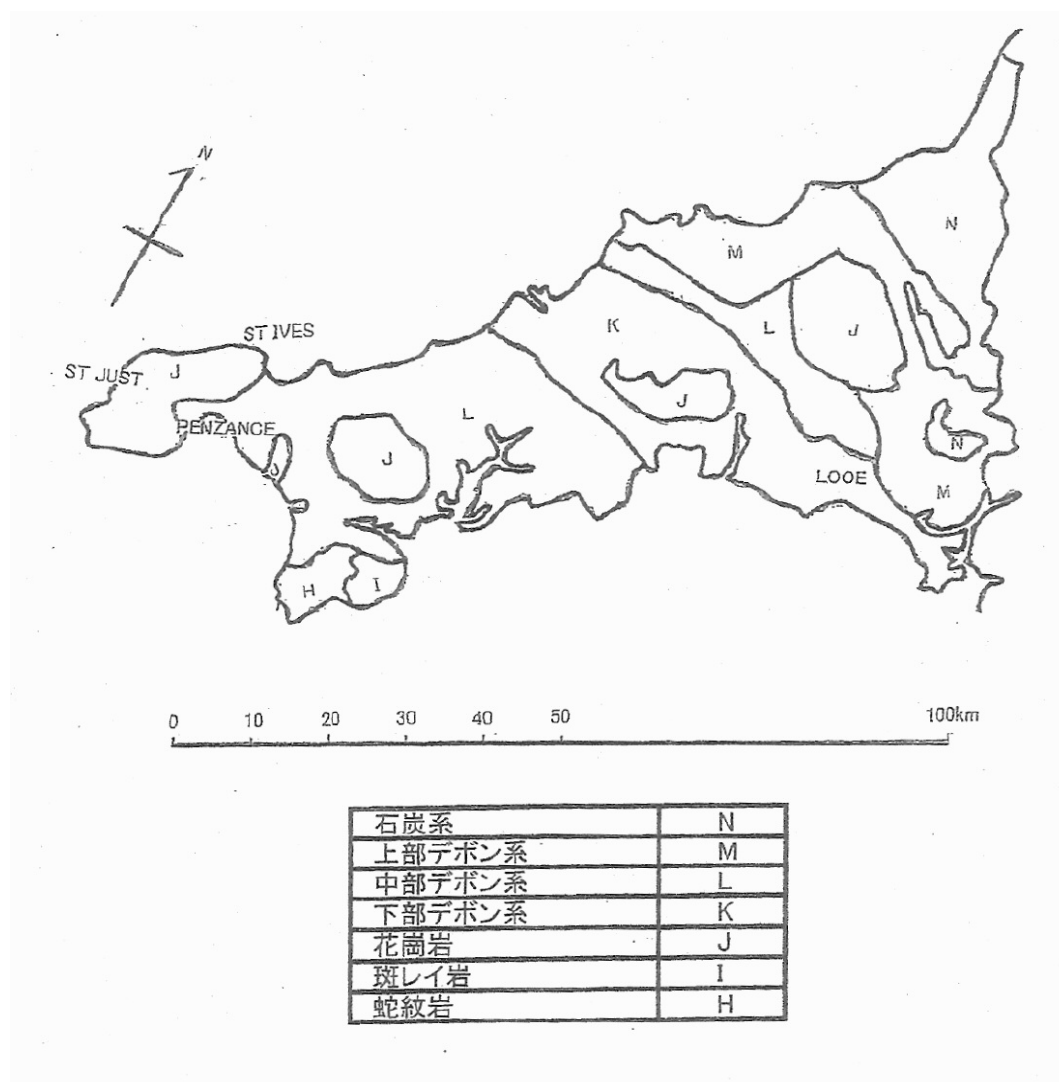


図-6 Cornwallの地質  
{Stanie(1990)の図を筆者が簡略化}

これより北部及び南部へ、中軸部より「石炭紀上部夾炭層」、「石炭紀中下部夾炭層」、「石炭紀ミルストン砂岩層」、「石炭紀石灰岩層」、「デボン紀古赤色砂岩層」と分布し、さらに北部には泥岩、頁岩、石灰岩を含むシルル系が分布する（図-5）。

Cornwallの地層の大部分は、デボン紀の粘板岩からなる。この地層は下部デボン系、中部デボン系、上部デボン系に区分できる。下部デボン系は主に粘土質であり、頁岩状粘板岩、シルト岩、古赤色砂岩を含む。中部デボン系は堆積後に褶曲や断層を受けた。中部デボン系は、砂岩や、粘板岩で、層間に石灰岩や礫岩、チャート、玄武岩質溶岩を伴っている。上部デボン系は古赤色砂岩、枕状溶岩を含み、その上に粘板岩が堆積する。火成岩は底盤として、花崗岩や斑レイ岩からなる（図-6）。

Cornwallのほとんどの鉱化作用は花こう岩と関係がある。鉱化作用は溶液の中を元素が運ばれる熱水作用により生じた。銅鉱床は主として、ペルム紀初期 ( $2.7 \times 10^8 \sim 2.9 \times 10^8$  年前) の花こう岩貫入時の熱水の鉱脈鉱床及びトリアス紀中期 ( $2.3 \times 10^8 \sim 2.4 \times 10^8$  年前) の花こう岩貫入後の鉱脈鉱床に関係する（注4）。

#### 4. 産業革命時の銅製錬

##### (1) 概況

英国の産業革命についていろいろ議論はあるが、工業生産の作業過程が手作業から機械的作業に移行する時期、つまりマニュファクチュアから工場制度への発展の時期とすることは大方の人の合意が得られる基本事項である。

この時期の金属産業の技術上の変化に石炭と蒸気機関の積極的利用がある。還元剤として木炭を利用していたが、森林資源の枯渇により石炭を利用することになった。また鋳石の開発に伴って生じる水処理のため蒸気機関が開発された。Saveryは1698年に蒸気を使用した揚水機関を案出した。しかし鋳山から水をくみ上げるという目的においては成功していなかった(アシュトン1973)。Newcomenは1712年、より損失の少ない自動式大気圧機関(ビームエンジン)(注5)を実用化した。Wattは、シリンダーと別の容器を設けて、別の容器内を冷却し、燃料消費を少なくする方法を1765年に思いつき、1769年に特許をとった。Wattの発明した蒸気機関はそれまでの蒸気機関に比べて出力においても、燃料消費においても優れていた。Wattによって大型化された蒸気機関は1776年に稼動を始めた。揚水の燃料経済が鋳山の深さの限界と採算を決める要素となっていた。この点に課題をかかえていたCornwallからの問い合わせが多くきた。やがて短期間のうちに、CornwallにWattの蒸気機関が多数建設されることになった。Pickardは、1780年に蒸気機関から回転運動を取り出す機構の特許をとった。Wattも1781年以降いくつかの回転式機関を考案した。これらのことにより回転運動ができる蒸気機関の応用分野が広がっていった(ディキンソン, 1994)。18世紀に製造された蒸気エンジンの総数は $2.4 \times 10^3$ ないし $2.5 \times 10^3$ といわれている。また1800年におけるWattの蒸気機関の仕事率の合計はCornwallでは $3 \times 10^3$ 馬力を越えていて英国で最大であった。なお南Walesでは、およそ $2 \times 10^2$ 馬力であった(ラングトンとモリス, 1989)。

## (2) 英国銅産業

### ①銅製錬

反射炉の起源は英国にあり、当時ドイツの熔鋳炉と拮抗していた。ウェールズ法は1584年、南WalesのSwansea地方に始まるといわれている。反射炉を用いたウェールズ法の起源は豊富な石炭と結びついていた(池田, 1940)。

この製錬技術の効率は時代とともに高まったが、1880年以前では、1トンの銅鋳石に対し、2トンの石炭を必要とし、製錬の全費用の45%を石炭が占めていた。そのために、銅鋳石の産地よりも炭鋳の近

くに製錬するほうが有利となる。

さまざまな種類の銅鋳石に含まれている酸素、硫黄、酸化鉄、石英のような不純物は融剤及び還元剤として働き、ともに加熱するとき反応して銅から離れる(Newell, 1990)。溶鋳炉は、塊状鋳を取り扱い、反射炉は一般に高品位、均等性の粉状鋳を多量に処理するのに好適である。反射炉は、溶鋳炉に比べて燃料使用率がやや高いが、安価な燃料が大量に得られる場所では、有利である。溶鋳炉の利点としては、建設費が安く、不均等性の化学成分の鋳石や少量の鋳石を使用しても有利に稼動する。熔鋳炉では、燃料使用率が幾分低い。そのため総合的にみて日本では溶鋳炉の普及が優勢であった(池田, 1940)。

ウェールズ法の製錬方法は、基本的に次の4段階からなる(NewellとWatts, 1996)。

- 1) 煅焼……用意された鋳石は赤熱され、硫黄や砒素が取り除かれる。ここで銅を硫化銅( $\text{Cu}_2\text{S}$ )にする。この段階で取り除かれた硫黄や砒素は煙霧の主要な成分となる。
- 2) 製錬……煅焼によってできた産物は珪素を含んだ融剤に溶かされる。これは酸化物を含むカラムと、銅に富むカワに分かれる。
- 3) 転換……不純物は珪素を含む融剤とともに豊富な空気で高温( $1200^\circ\text{C}$ )で熱せられる。この段階の目的は鉄を取り除き、 $\text{Cu}_2\text{S}$ をCuにすることである。

このとき $\text{SO}_2$ の気泡のために気泡銅が生じる。銀やその他の金属はそこにある。

- 4) 精錬……この段階で生木を投入する。ここで行なわれる酸化、還元は不純物が鋳さいに運ばれるまで続く。この最終段階で銅は純度99.5%になる。19世紀後半に電気精錬が発達して、純度99.5%を超えて精錬することができた。

### ②CornwallとDevon

CornwallとDevonでの銅の採掘は1700年ごろに始まり1900年ごろには終息した(表-1)。1725年からはじめの5年間の銅鋳石の産出高は年間6,000トンであったが、その後、産出高が増加し、1820年代から1860年代では年間 $1.0 \times 10^5$ トンを越え、1855年からの5年間に年間191,130トンという最大値を示した。やがて銅鋳石の産出高は、その後減少し1895年からの5年間では、年間5,230トンになった。この



地域の銅鉱石生産量は1725年から1900年までの間で総計約 $1.1 \times 10^7$ トンであった。またこの地域の銅地金生産量は1770年から1900年までの間で総計約 $8.5 \times 10^5$ トンであった。

最盛期のCornwallでは、340以上の鉱山で採掘が行なわれていた。そのうち40%が錫を、20%が銅を、25%が両方を産出していた。そこで $4 \times 10^4$ 人以上の労働者が働き、 $6 \times 10^2$ 以上の蒸気機関が稼働していた (Buckley, 2002)。

Cornwallの銅鉱山は1770年以降、多くの問題に直面した。Wales北部のAngleseyの浅いところで大量の銅鉱石が見つかった。これに対し、Cornwallの銅鉱山は、あまりに深くなっていて、経済的に活動するのに支障が出始めた。Newcomen式の蒸気機関も、その限界に達した。また18世紀初期に導入された水力ポンプもまた能力の限界に達していた。当時、Angleseyの鉱石はトン当たり50ポンドだったが、Cornwallの鉱石はトン当たり80ポンドもした (Buckley, 2002)。

1770年から1800年の間、Angleseyが銅生産の分野で優位を占めた。Cornwallは鉱山の合併等の経済活動やWattとBoultonの蒸気機関の導入によってこの脅威に対応した。やがてAngleseyの資源の枯渇ということもあり、Cornwallの対応は成功した (Buckley, 2002)。

(表-4)に19世紀半ばにおけるSwansea valleyの銅鉱石、石炭の物流を示す。これによるとDevonとCornwallからの銅鉱石の流入が165,000トンであり、Swansea地域が必要とする銅鉱石の三分二がDevonとCornwallから来たことになる。南Walesの石炭はその近くの銅製錬所で消費されるばかりでなく、CornwallやDevonの銅鉱山の蒸気機関の燃料としてSwanseaから出荷された。

18世紀のCornwallの銅鉱山は10~12%の品位の銅鉱石を産出していた。1860年代になると英国内の鉱山からの銅の品位の平均は6.4%に落ちた。そのため、大部分Swanseaにあった銅製錬業者は輸入銅鉱石に頼るようになった。輸入銅鉱石は英国のものより銅の品位が高く、20%のものもあった (Clapp, 1994)。Cornwallでは、新しい鉱脈も発見されたが、それ以上に消耗も激しく、大量の銅鉱石がアメリカその他で発見されたこともあり、銅産業は衰えていった。アメリカやチリの銅鉱石がWalesに運ばれ

たが、やがてアメリカやチリも自ら銅の製錬を始めるようになり、英国の銅製錬業は終末を迎えることになった (Buckley, 2002)。

### ③Swanseaを中心としたWales

#### (a) 銅製錬の歴史

Walesでの最初の非鉄製錬はドイツ人のUlrich Frosseによって、1584年にNeathの山間部で行なわれた。この地は銅圧延機を水力で稼働させるのに適していた。その後、Neathのさらに標高の低い地に製錬所が建設され、17世紀ではNeathがBristolとともに、非鉄金属製錬の中心地であった。しかし18世紀になると、この産業の中心は優れた港を持つSwanseaに移った (Hughes, 2000)。

John LaneとJohn Pollardが1717年にSwansea地区に最初の製錬所を設立した。Swanseaの中心部から北に約3.2kmのところのLandoreにあるLlangyvelach銅製錬所である。Cornwallから銅鉱石を運んできた船は、帰るときバラストとして石炭を運んでいった。石炭はCornwallの銅鉱山の坑内水を上げる蒸気機関の燃料として使われた。南Walesの石炭は表層に近く、採掘が容易であるため、その価格はWalesの他の地域の石炭の価格より低かった (Lavender, 1981)。1842~43年の石炭の1トンあたりの価格が、北部や南東部では1トンあたり21シリング以上になっていたのに対し、南Walesでは10シリング以下であった (ラングトンとモリス, 1989)。

1780年にSwansea及び、その周辺に8軒の製錬工場しかなかったが、1830年までに、それが15になった (Lavender, 1981)。Swanseaは銅や亜鉛や鉛のような非鉄金属の製錬に加えて、鉄や鋼鉄、石炭、スズめっきで重要な中心地であった。南Walesの経済活動や成長の中心地は、Tawe川中流のClydachより下流部分であるLower Swansea Valleyであったが、同様の経済発展はLlanelliやNeathやPort Talbotなどの周辺の地域に広がった (Tallon他, 2005)。

Swanseaの成功の要因のひとつとして地理的要因をあげることができる。船はTawe川を容易に遡って銅鉱石を河口から4.8kmの製錬所まで運搬できた。John Vivianと彼の一家は、1810年にSwansea ValleyのLandoreの南約0.5kmにある

Hafodに銅の製錬所を設立した。やがてCornwallの鉱山の銅鉱石を掘りつくし、1827年に外国からの銅鉱石がはじめてHafodの工場に入ってきた。Swanseaで銅以外にコバルト、ニッケル、銀、金が製造された。また1864年までに商業的に硫酸の製造を始めた。Vivian一家は、Swanseaで成功を収め、その町の発展に影響力を持つようになった。Bessemerが新しい製錬法を開発したが、Swanseaの企業家はよく慣れたウェールズ法を新しい方法に変えるのに抵抗を示した。この抵抗がSwanseaの銅産業の没落の主要な要素となった (Lavender, 1981)。

19世紀末は、社会が電力を利用する曙光の時期にあっていた。1876年にベルによる電話の発明、1878年にエジソンによる電灯の発明、1882年にエジソンによる発電所の製作があった。徐々に電力の社会的活用が進み、銅線等電気関係の銅の需要も高まっていた。英国の銅の産出量の最盛期は1856年で年に $2.4 \times 10^4$ トン産出していたが、30年後に英国産の銅鉱石からの銅の産出量は十分の一になってしまった (Clapp, 1994)。銅の需要が高まっても、輸入の銅鉱石に依存していたSwanseaはその需要に応えることはできなかった。鉱石の産出地で製錬し、精錬された銅を、銅の加工工場まで船積みするというのが世界的な趨勢となっていた。Swanseaでの最後の銅の製錬は、1924年のことであった (Hughes, 2000)。

## (b) Swansea

### 1) 目的別地域区分

18～19世紀の間、Swanseaで銅煙霧との様々な戦いがなされた。18世紀初期、地方政府が介入してSwanseaの郊外に工場を移すという目的別地域区分の原則を打ち立てた (NewellとWatts, 1996)。これによって都市内での製錬所の操業が禁止されるようになった。産業の地区割は、ある地区で銅の煙霧を許容すべきものとする意味となり、この政策により個人への迷惑よりも、産業の社会に与える利益が優先された。この法は銅の煙霧の影響に対する保護も補償も与えなかった。しかも一度工場が操業してしまうと、悪化しない限り企業を起訴するのは難しくなった。悪化しても、訴える側に証明責任があり、それも困難であった (Newell, 1997)。したがって、この制度は、鉱害の固定化という結果になった。

### 2) 気象関係

(Newell and Watts, 1996) によると、Milford Haven (Swanseaの西80km) と Mumbles Head (Swanseaの南西6 km) の最近の気象資料は両地点とも南西ないし西からの風の頻度が高いことを示している。

このほかの風向の頻度は、南西ないし西に比べれば低い。あらゆる風向の風が観測されている。Milford Haven と Mumbles Headの二地点の風速の全方位のすべての平均は秒速5.7mであった。また両地点の資料は新しくても気象の状態は、19世紀から変わっていないと仮定して考察することができる。優勢な南西の風はSwansea Valleyの北東にあるLlansamletの町に影響を与えた。

目的別に地域を区分する政策によって、製錬工場はSwanseaの町の東端に定められた。さらにその東側にKilvey Hillがある。頻度の大きい西風はこのKilvey Hillの荒地に吹き渡った。

また (Newell and Watts 1996) によると、1861年のLlanelliとSwansea 付近で $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ の濃度が $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上になった。そこから東方に170km程度離れた地点でも、 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ になっていた。これからLlanelliとSwanseaにある製錬所からの影響は広範囲にわたっていたことがわかる。このことから高い煙突からの汚染物質は、卓越風の効果のため風下の遠いところまで運ばれていたことを示している。

Swansea市民の居住区域に二酸化硫黄による影響の差異があった。西風が卓越しているため、Tawe川近くの工場群から西に離れるほど、二酸化硫黄の影響が少なかった。工場群のすぐ西に労働者の住宅群があり、その西側に商人や裕福な市民の住宅、最西部に企業家の邸宅があった (Rees, 1980-81)。このように鉱害の影響を受ける程度は、その人の社会的階級に関係していた。

### 3) 裁判関係

19世紀のはじめにLower Swansea Valleyの農民は作物の質が悪くなってきたことや家畜の異常な病気に気がついて驚いた。農民たちは、この異常をVivian家のHafodの銅製錬工場の煙霧のせいであると主張した (Lavender, 1981)。煙害の被害をもっとも強く受けていたのは、製錬所の従業員であったが、弱い立場の彼らは煙害の問題を明るみに出すこ

とはなかった。地主たちは農民に土地を貸すと同時に、製錬業者に土地を貸していた。また彼らは坑夫の住宅や炭坑の採掘権を持っていた。地主が銅製錬業者から得る収入は農民たちから入る収入より多かった。このように企業から恩恵を受けていた地主たちは論争に加わりたがらなかった。多くの人々は鉱害を問題にしなかったが、Thomas Davidを代表とする11人の農民は、製錬業者のJ.H.VivianやSir Richard Hussey Vivianに対し訴訟を起こした。発生源を特定する証明や、被害がその企業の銅の煙霧によるものであるという証明をすることが難しく、原告にとっての法廷活動は困難であった。原告である11人の農民たちはLlansamlet教会区の住人であった。そこはHafodの工場の北東にあり、優勢な南西の風の直線上のため煙霧の被害を強く受けていた。

Thomas Davidらは1832年に起訴状を提出した。1833年の春の巡回裁判がCarmarthen で始まった。原告は農作物の被害や人々の健康状態への影響について証言した。しかし、Davidと彼の仲間たちは、農作物や家畜の病気と銅の煙霧との因果関係を証明できなかった。被告であるVivian家の弁護人のJames Scarlettは、その因果関係の証明について追求し、作物の失敗を土壌の悪さと耕作の間違いのためであると主張した。彼は病気と銅煙霧との関係も拒否した。彼は、銅の煙はコレラ等の病気を清めるし、銅の地域の子供の顔色も良いと述べた (Newell, 1997)。Scarlettは、銅製錬業問題の緊張によって引き起こされる経済的な脅威を基に弁論を打ち立てた。さらに、Scarlettは、Swansea地区が破壊されたら、他の地区を含めて、九万人もの人々が貧乏になると発言した (Rees, 1993)。

陪審員の評決は直ちにHaford Copper Workの経営者であるVivian家に味方する結論を出した。Swanseaの労働者たちはこの評決を歓迎した。結果的にこの企業は成長し、法的に汚染物を排出し続けることができるようになった (Lavender, 1981)。Swanseaの新聞Cambrianは、1833年3月9日付の記事で「陪審員の無罪という評決は喜びを持って広まった」と伝えた (Newell, 1997)。判決の中で、判事は「原告は鉱害の責任を立証することに失敗した。一握りの農民の苦痛は、社会全体の福祉のために相殺されなければならない」と述べた。ここでは、個

人の権利よりも社会の利益を優先する考えが重視された。多くの労働者は判決に好意的であった。彼らは、熱と煙霧の悪条件で働いていたが、炭鉱夫や鉄工所の工員と比べて高い賃金を得ていた。裁判が原告の敗訴に終わり、その後しばらくSwanseaの事業主たちは、煙霧を削減する手立てをとらなかった (Rees, 1993)。

Vivian家が行った煙霧削減のための対策も技術的な問題があり1865年まで有効なものではなかった。その結果、19世紀の半ばまでにTawe川の下流域の農地は不作になり、補償もされなかった (Rees, 1993)。鉱害の被害を受けた一部の農民の主張は当時の社会の主流ではなかった。その当時の社会に鉱害についての認識は行き渡っていなかった。

#### 4) Vivian家の鉱害対策

John Henry Vivianは法的に強制されたわけではないが、鉱害克服の技術の開発に意欲を持ち行動に移した。煙を抑え、毒の成分を削減するためのVivianの実験は1810年ころに始まり1822年に終了した。Vivianは煙霧の問題を解決するために、二人の有能な科学者を雇った。二人は、ロンドン化学協会の会長のPhillipsとFaradayであった。二人は、炉と煙突の間に長い送気管を作った。煙がそこを通るとき、火炎、着火した木炭、蒸気、淡水のシャワー、炭酸水のシャワー、石灰水のシャワーに次々に晒された。これによって亜硫酸のガスのような溶解性のガスを除去したが、二酸化硫黄を取り除くことはできなかった (Rees, 1993)。Vivian家は人々のいらだちの気持ちを和らげ、企業イメージを高めようとして煙霧問題に取り組んだ。またVivian家は鉱害問題に対して立ち向かう先駆者と見られることを望んでいた。

この煙霧の問題点は、1865年にVivianの工場で採用したGersten-hoffer processにより改良された。その原理は、銅鉱石の中の硫黄を燃焼することにより炉の熱を維持し、硫黄のガスは硫酸製造に使われるというものである。これにより大気に排出される硫黄の38～47%が回収された。この方法は硫黄含有量の少ない鉱石に対し、ある程度有効に使われたが、含有量の多い鉱石には役に立たず大気汚染は続いた (Lavender, 1981)。

Vivian家は高い煙突を使つての鉱害対策も試み



た。煙突のうち最大の高さのものは、1830年に建設された高さ74mのものであった。Vivian家は、その煙突から煙は地表に届くことはない主張した。実際は、煙突からの煙が地表に届いたばかりでなく、煙が広範囲に広がり問題を悪化させた。1833年に裁判で判決が出た後、表向きは、炉の中の通風が強くなり、火を制御するのが難しいという理由で、Vivian家でさえ、高い煙突の使用をやめた。Swanseaで、煙霧に関係する人々の話題は、人々の健康問題に移っていった。しかし、郊外では、農地や森林があり、そこの人々の興味は地所に対する損害であった(Rees, 1993)。

##### 5) 鉱害対策の歴史

1797年にMatonはCornwallの銅の工場について、「製錬所の中では、砒素の蒸気が充満していて有害であり、炉の熱により引き起こされる蒸発はおびただしい。そのため、そこで働く人々は数ヶ月のうちに、やつれてきて、数年のうちに墓場行きとなる」と述べた(Newell, 1997)。Matonの主張は、ほとんど支持を得なかったが、Parisに引き継がれた(Newell, 1997)。しかし、MatonやParisの意見は、ほとんど支持を得なかった。一例として1842年に児童雇用についての王立委員会へ提出した報告書の中で、Jonesは「銅の煙は農作物や野生動物に深刻な問題でも人間の健康に問題はない」と指摘した(Newell, 1997)。1845年に外科医であり、登記官であったBevanは、都市委員会への報告書の中で「銅の煙は感染症の予防になる」と述べた。この見解は、Swansea地区の死亡率が他の工業都市に比べて低いという統計値によって支持された。BecheはBevanの主張に疑いを持った(Newell, 1997)。Becheは植物を蝕む煙霧は人に対しても有害であるはずだと主張した。またBecheは死亡率の統計値の問題点についても論じた。第一に、Swanseaは他の工業都市ほど都市化していない点をあげた。Swansea以外の他の工業都市では人口の集中があり、死亡率も大きかった。第二に、Swanseaの住民の死亡率を全般的に捕らえることは、市内の都市化された小区画の住民の高い死亡率を見落とすことになった。Becheは、このように統計値もBevanによって示された煙霧の益を支持しないことを、1845年に論じたが、銅の煙霧に健康上の問題があること

を証明できなかった。そのため多くの人の賛同を得られなかった(Newell, 1997)。

1846年の議会報告で、BecheとPlayfairは銅製錬所からの煙霧と燃料の燃焼によってできる煙霧とは別のものであり、取り扱いが異なるべきだと主張した。この理由として、溶鉱炉からの煙霧を削減するための十分な技術がないことをあげた(NewellとWatts, 1996)。1840年代にVivianは、労働者に対して平均的な市民の家よりも大きな家を与え、下水設備や学校を建設するという対策を講じた。それでも労働環境の厳しさについて、1850年に歴史家のLambertは「よそから来て製錬所で働いている者は、数ヶ月で病気になるか死ぬ」と記述した(Rees, 1993)。このように煙霧の人体に対する有害性の意見が一般に大勢を占めるのは、19世紀半ば以降のことである。

銅の廃棄物の影響でSwansea Valleyの大部分の植生が破壊された。動植物は失われ、降水量の多さ(年間 $1.2 \times 10^3$  mm)と植物の根の喪失により、土地の表層部は生命のない状態になった(Lavender, 1981)。Williamsは1854年の報告書で「Swanseaの北部、東部の地域は文字通り焼け焦げている。目にとまるのは、KilveyやMorrisonやLlansamletの丘の斜面上の砂利や赤土だ。かつて表面にあった土壌は雨によって洗い流され、谷の下部に堆積している。草も灌木もないが、煙を含んだ風を避けることのできる窪地や川に沿った低地にわずかに弱弱い葉の植物を認める。150年間、二酸化硫黄に蝕まれて晴れやかだった谷は、ついに無生物の砂利や灰の風景の土地に変わってしまった」(Rees, 1980-81)と書いているが、一方WilliamsはBevanの見解を支持し、銅の煙霧は労働者に対しては無害であると主張した。

PercyはWilliamsの意見に対して、1861年に煙霧の有害性を主張した。製錬業者H.H.Vivianは、煙霧の恩恵を確信していて、コレラの発生時に、労働者に薄めた硫酸を勧めた。19世紀半ばでは、一般的に硫黄がコレラの治療薬とみなされていた。しかし、1864年の児童雇用についての王立委員会の報告は、労働者に対して銅製錬の不健康な影響を認めた。1870年代にSwanseaの保健責任者であるDaviesはSwansea周辺の調査をした。それによると、Swanseaの周辺の村は煙霧の影響を受けているが、その死亡率はSwanseaより低い。しかし、それらの



地域では肺の病気の割合が高いことがわかった。Daviesはこれらの現象を説明することができなかった。しかし地方議会医療関係の職員がDaviesの統計を使って、局地的な差異に注目するのではなく広域的な国の規模で検討すると、煙霧と健康との間に重大な関係があることを1874年に発表した(Newell, 1997)。

19世紀に入ると1人あたりの石炭使用量は年1トンで18世紀に比べ2倍になった。大気汚染も進み、英国議会は、1819年に蒸気機関と炉から発生する煙害の防止方法を調査研究するための委員会に蒸気機関と炉の構造について諮問した。その後、1821年に煙害防止法が制定された。さらに1847年に、工場で完全燃焼するような炉が使用されることという都市整備法が制定された。効果的な大気汚染源の管理は1863年のアルカリ法の制定によった。このアルカリ法は煙突より排出されるガスの基準値を定めた。1881年にアルカリ等工場規制法が制定され、化学工場の排煙の規制を行った。アルカリ法やアルカリ等工場規制法は鉱山や金属製錬所などの重要な産業を規制対象から除外していた。硫黄を含む鉱石の焙焼は、1906年にアルカリ法の対象にされた。この規制に対し産業界から反対があり、該当の工場を登録することはできたが、工場が二酸化硫黄を大気中に排出することを防止する最善の実際的方法の採用を法的に義務付けられなかった。技術的な問題は、1930年代に二酸化硫黄を接触法で硫酸にする方法が採用されることによって解決した(Newell, 1997)。

英国で銅の煙霧の問題がなくなったのは、技術的またその他の問題の解決によるものではなく、構造的変化によるものであった。その第一は、製錬業者が硫黄を多く含んだCornwallの鉱石を使わなくなったことによって、1860～1870年代にCornwallの鉱業が崩壊したためである。第二は、他の国から英国にregulus（中間製錬鉱）や焼いた黄銅鉱（硫黄の多くは取り除かれている）の形で輸入された銅鉱石が増加したためである。このため銅の煙霧の問題は英国外の問題となった(Newell, 1997)。

この地域の産業が終息したとき、あたりの土地はやせて黄色になっていた。産業廃棄物、銅や亜鉛、ブリキ、鉄等の副産物がこの谷に投棄された。製錬所が閉鎖された後、この谷に残された廃棄物は $7 \times 10^6$ トンと見積もられている。降水は廃棄物を浸食

するだけでなく、有害な銅や亜鉛の塩類をその下の土壌に浸出させた。Swanseaを流れるTawe川は、交通路であり、産業に使う水の供給源であったが、廃水を容易に処理する場にもなった。硫酸、硫化鉄やゴミ捨て場からの灰や燃え殻が川に流れ込み、同時にその中の生物をも死滅させた。その後、この地域の土地改良計画の多くのことは、1968年～1974年に行われた(Lavender 1981)。しかし、Swanseaの北部、東部の土地の状態は、21世紀初期においても完全に回復していない。

## 5. 考察

Swanseaを中心にした鉱害の歴史的段階を(表-5)に示す。ここで1.汚染源発生、2.現象の認知、3.反対運動、4.現象の科学的解釈、5.対策、6.終息の6段階を示す。これらの段階はおおよそこの順序で生じたが、ある段階が終了してから次の段階に進んだというのではなく、ある段階の事象が継続していながら次の段階の活動が行われていた例があった。「1.汚染源発生」と「2.現象の認知」の関係は、現象が認知された後も、1924年まで銅製錬の操業が続いた。またほぼ並行して活動が行われた場合もあった。「3.反対運動」と「4.現象の科学的解釈」と「5.対策」はこの例である。さらにこの中を検討していくと、「3.反対運動」のように裁判が結審して、そこで終了するものもあった。また、「4.現象の科学的解釈」のように、18世紀半ばまで煙霧と鉱害の関係に対して意見が拮抗していたが、徐々に煙霧の有害性の認識が多数を占めるようになってきた場合もあった。また「5.対策」については、社会的側面と技術的側面がある。かなり初期の段階から対策に着手したことは、経営者の社会に対する姿勢の現れである。後に煙霧に対する手立ての改善ができたが、これは技術的貢献による。しかしこの技術も完全ではなかった。これとは別に、完全な技術があってもそれを受け入れるかどうかは、そのときの社会的要請による。技術は技術だけで独立しているわけではない。このように鉱害を含めた公害問題解決のために、ひとつの要素だけを取り出して解決できるわけではなく総合的考察が必要である。

これらのうち「4.現象の科学的解釈」と「5.対策」の段階は、銅資源の枯渇及び経済的環境の変化により銅製錬業の海外移転という事態で途中で「6.

表－5 Swansea付近の鉱害の歴史的段階

段 階	年	事 項
1 汚染源発生	1717	Swansea地区で最初の銅製錬所設立
	1780	Swansea地区の銅製錬所が8箇所となる
	1810	Hafodの銅製錬所設立
	1830まで	Swansea地区の銅製錬所が15箇所となる
2 現象の認知	19世紀始	農民、作物の質の悪化、家畜の異常に気付く
3 反対運動	1833	農民、Hafodの銅製錬所を訴えるが敗訴
4 現象の科学的解釈	1797	Maton, Cornwallの銅製錬所の空気中の有害性を主張
	1842	Paris, 銅製錬時の煙霧の有害性を主張
	1842	Jones, 煙霧は人間に無害と主張
	1845	Bevan, 煙霧は感染症の予防になると主張
	1845	Beche, 「死亡の統計値は銅の煙霧の益を支持しない」
	1854	Williams, Bevanの見解を支持
	1861	Percy, 銅の煙霧の有害性を主張
	1864	児童雇用についての王立委員会、銅製錬の悪影響を認める
	1870年代	Daviesの調査、煙霧の影響を受ける地域の肺の病気の多さがわかる
5 対策	1810～20	Faraday, Phillips, 銅の煙霧除去の装置製作
	1830	高さ74mの煙突を建設
	1865	Vivianの工場でGersten-hoffer processを採用
	1874	地方議会医療関係職員、Daviesの資料使い国の規模で煙霧と健康に関係あることを発表
6 終息	1924	Swanseaでの銅製錬(Hafodの銅製錬所を含む)の終了

{Hughes(2000)とLavender(1981)とNewell(1997)とRees(1993)から作成}

終息」の段階に移った。終息は解決ではなく、鉱害の海外移転であり、またSwanseaに廃石等の残留物、森林破壊等の環境破壊を残した。

金属の製錬業がSwanseaを中心とする地域で盛んになった一因に、Cornwallの銅鉱石と南Walesの石炭の存在がある。豊富で安価で容易に手に入る石炭は製錬時に還元剤として、大量に石炭を使う製錬法であるウェールズ法にも適していた。また蒸気機関の燃料として有効に働いた。その蒸気機関はとくにCornwallで坑内の水を汲み出す際に使われた。これによって、銅鉱石を大量に供給することができた。ここで、資源と技術の組み合わせによって、さらに産業の発展という構造ができあがった。ただ新技術の出現だけを、産業の発展の原因とするのは適当ではない。新技術が産業を発展させたのではなく、産業の発展が新技術を必要としたとも言える。新技術の必要を社会が求めていたので、Wattがそれまでの蒸気機関に新機構を加えて発明した。

銅鉱石とその還元剤である石炭を豊富に国内に持っていたという点に加えて、沿海に製錬所を有していたことも地理的な有利さのひとつであった。Cornwall及びDevonにあった銅鉱石はBristol海峡を横断して大量に安価に運搬することができた。ま

た内陸での輸送は、運河によって推進された。歴史的な点に注目すれば、この時期は海上輸送と運河輸送の時代であった。蒸気機関は揚水に貢献していた。蒸気機関車が内陸交通の主力となるには、当時の鉄道網は未整備であった。

鉱物資源がいくら豊富でもそれを活用するソフトウェアが必要である。英国では物理学をはじめとして自然科学の基礎研究の蓄積があり、自然科学の研究者及び技術者という人的資源に恵まれていた。そのころ英国は、自然科学及び技術の各分野が発展の初期段階にあった。当時は、それらの学問がが発達して、権威付けられる以前のことであった。学歴等の権威にとらわれることなく、自由な環境の中で開発研究が行われた。BoultonとWattの所属していたルナ協会は産業革命期に重要な役割を果たした(リッチ・コールドー 1982)。ルナ協会の会員は鉱業以外の分野でも重要な成果をあげた。

産業革命が進むにつれ、銅を含む金属の需要が増えたが、それがWalesのSwansea周辺の金属工業の衰退を招いた。鉱石の産出量に限界があり、やがて鉱石を海外から輸入するようになった。さらに製錬そのものも海外で行われるようになり、Swansea周辺の金属産業は終息した。これは同時に鉱害発生の

終息であった。しかし廃石、周辺森林への影響はその後しばらく残った。

金属製錬による環境への影響は、人類が製錬技術を開発したときから始まったと思われる。畑(1997)は、金属の製錬には大量の薪木や木炭を必要とするので、周辺の森林破壊は凄まじいものであり、古代オリエント地域の森林破壊と砂漠化を早めたことは間違いないとしている。歴史的事実としての鉱害はあっても、近代で英国は最初に産業革命を成し遂げ、またそこで鉱害を経験した。したがってその対処法が十分に確立されていなかった。

最初に鉱害に気がついたのは、農業、牧畜に携わる人びとであった。Harford Copper Workの経営者のJohn Henry Vivianは鉱害に対して個人的に対応した。1810年ころから1822年まで行われた煙霧除去の実験には、当時の一流の科学者であるFaradayやPhillipsを雇って対応を研究させた。また煙霧を遠方に拡散させるという目的のために、高い煙突が建設されたのは1830年であった。これらは訴訟が始まる前のことである。これらのVivianの行動は自らの非を認めるというよりも、個人的に被害者の救済をして企業のイメージを高めることを目的としたように考えられる。鉱害の一部に対して、企業側は何らかの対策をとろうという姿勢を見せたが、多くはそのままにされた。煙霧だけでなくスラグ、河川汚染、健康問題、生態系問題、景観損傷等の問題は未解決であった。

1832年に生業に影響を受ける一部の人びとが反対運動を起こした。一部の住民は裁判を起こしたが、1833年の裁判は住民の敗訴に終わった。このとき、Vivianは弁護士として前司法長官のScarlettを雇って、万全の備えをした。Vivianに、社会的敗北を避けようとした強い意志が感じられる。

当時の多くの人々にこの鉱害問題を社会全体として取り組まなくてはならないものとする認識はなかった。国家の体制の中で処理されなかったのも、個人の立場で対処した。鉱毒がまだ社会的に認知されていない時代での対応であった。当時は鉱毒という観念のない時代で、その被害者であってもその意識はなかった。生産者側は銅製錬という企業活動を通して利益の追求という経済活動をしていた。生産量の増大が、生産者にとっての目標になっても、多くの企業家はそれに付随する環境への負荷を社会の大

勢として省みることはなかった。鉱害問題に取り組んだという点に関して、Vivian家は少数派であった。

発生源と被害との相関関係が存在しても因果関係を認めるのは、さらに次の段階になる。この時代、相関関係すら公には認められなかった。鉱害の発生が自然科学的原因であっても、それを認定するには社会科学的手続きが必要になる。住民の健康上の異常を含め環境上の異常は存在した。鉱害の認定に、ある一定の手続きが必要であり、それを社会が認めるのは、その後の時代のことになる。この時代は鉱害に対しての取り組みの試行錯誤の時代であった。

## 6. まとめ

本研究から以下ことが示唆された。

- a. Swanseaにおける銅製錬が環境及び社会に及ぼした歴史的段階を1.汚染源発生、2.現象の認知、3.反対運動、4.現象の科学的解釈、5.対策、6.終息の6段階とした。これらの段階は、おおよその順序で生じるが、ある段階が終了してから次の段階に進むというのではなく、ある段階の事象が継続しながら次の段階の活動が行われている例があった。やがて銅資源の枯渇及び経済的環境の変化により、銅製錬業の海外移転という事態で途中で「6.終息」の段階に移った。各段階の事象が直線的につながっているのではなく、場合によっては並行して生じて影響を及ぼしあっている。このように鉱害を含めた公害問題はひとつの要素だけを取り出して解決できるわけではなく総合的考察が必要である。
- b. 世界初の産業革命が英国で起きた。銅鉱石、石炭等に恵まれて、英国で銅製錬も盛んになった。各種の蒸気機関が発明され、坑内の水の汲み上げのために使われ、銅鉱石を増加させ、産業を推進させるという技術と資源の相互作用が起きた。
- c. この時代の技術は、生産のための技術が中心であり、鉱害防止の技術はあまり考慮されていなかった。はじめ、還元剤として木炭を使用していた。そのために森林への負荷が大きかった。また、坑木等にも森林伐採がなされた。そこでの還元剤が石炭に切り替わっても、製錬に伴う煙害により森林は被害を受けた。また排水によって河川の汚染は進んだ。製錬によって生じた廃石も環境汚染のもととなった。蒸気機関は銅鉱石を増産させた



が、結果として銅製錬に伴う二酸化硫黄を増加させた。このように、生産が増え続けると同時に鉱害も増加した。

- d. 当時は公害としての鉱害が社会的に認められる以前の社会であったが、現象としての鉱害は確かに存在した。それに対処する方法は制度的なものではなく、個人的な方法だった。Vivianのような一部の経営者は、鉱害の解消に向けて技術的改善の行動を起こした。

#### 謝辞

本論文を作成するにあたり、ご指導いただきました早稲田大学人間科学学術院の森川靖教授に深く感謝の意を表します。また資料の情報をいただきました英国Wales, SwanseaのNational Waterfront MuseumのRobert Protheroe\_Jones氏に感謝申し上げます。

#### 注

- 1 鉱物が局所的に濃集しているものが鉱床である。このうち、有用な産物として経済的、合法的に既存の技術により回収できる存在度の最小値を稼行可能な元素の最低含有率とする。本論の値は（エヴァンズ, 1989）による。
- 2 濃集度は、その鉱床内の金属元素の存在度を平均的な大陸地殻における存在度に対する割合であらわす。その金属鉱床の評価の指標となる。
- 3 <http://freespace.virgin.net/levant.mine/history/Levant%20History.htm>
- 4 <http://www.projects.ex.ac.uk/geomincentre/min1.htm>
- 5 Newcomenの機関もWattの機関も、ともにシリンダー内に真空を作り大気圧を動力源とすることから大気圧機関 (atmospheric engine) である。Newcomenは蒸気をシリンダーと分離した容器で発生させ、シリンダー内で蒸気を凝縮させた。WattはNewcomenと同じくボイラーとシリンダーを使用した。蒸気の凝縮は完全に分離した容器の中で急速に行った。また往復運動を回転運動に変換する技術の開発される以前は、beamの上下運動を利用したのでNewcomenの機関や初期のWattの機関はbeam engineに分類される。蒸気機関 (steam engine) の言葉が初めて登場するのは、1719年に作成された銅板画にある文章の中である（ディキンソン, 1994）。

#### 参考文献

- Alexander, W., Street, A. 1982. Metals in The Service of Man. Harmondsworth p312
- アシュトン, T.S. 中川敬一郎 (訳). 1973. 産業革命. 岩波書店 p205
- Barton, D.B. 1961. A history of Copper Mining in Cornwall and Devon. Truro Bookshop p98
- Bentley, S.P., Siddle, H.J. 1966. Landslide research in the South Wales coalfield. Engineering Geology 43:65-80
- Buckley, J.A. 2002. The Cornish Mining Industry. Tor Mark p48
- Clapp, B.W. 1994. An Environmental History of Britain since the Industrial Revolution. Longman House p268
- ディーン, P. 石井摩耶子, 宮川淑 (訳). 1973. イギリス産業革命分析. 社会思想社 p339
- ディキンソン, H.W. 磯田浩 (訳). 1994. 蒸気動力の歴史. 平凡社 p295
- エヴァンズ, A.M. 三宅輝海 (訳). 1989. 鉱床地質学序説. 山洋社 p427
- 畑明朗. 1997. 金属産業の技術と公害. アグネ技術センター p411
- Hong, S., Candelone, J., Soutif, M., Boutron, C. F. 1996. A reconstruction of changes in copper production and copper emissions to the atmosphere during the past 7000 years. The Science of the total Environment 188:183-193
- Hughes, S. 2000. Copperopolis Landscapes of the Early Industrial Period in Swansea. Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales p358
- 池田謙三. 1940. 銅製錬上巻. 実文堂 p668
- 小林英夫. 1988. イギリス産業革命と近代地質学の成立. 築地書館 p338
- ラングトン, J., モリス, R.J. (編). 米川伸一, 原剛 (訳) 1989. イギリス産業革命地図. 原書房 p249
- Lavender, S.J. 1981. New Land For Old The Environmental Renaissance of the Lower Swansea Valley. Adam Hilger p137



- Newell,.E. 1990. 'Copperopolis' : The Rise and Fall of the Copper Industry in the Swansea District, 1826-1931. BUSINESS HISTORY 32:75-97
- Newell,.E. 1997. Atomospheric Pollution and the British Copper Industry, 1690-1920. Technology and Culture 38:655-689
- Newell,.E.,Watts,.S. 1996. The Environmental Impact of Industrialisation in South Wales in the Nineteeth century: 'Copper Smoke' and the Llanelli Copper Company. Environment and History 2:309-336
- 日本化学会 (編). 1965. 化学便覧 (応用編). 丸善 p1511
- ピプキン,.B.W.,トレント,D.D. 全国地質調査業協会 連合会環境地質翻訳編集委員会 (訳) 2003. シリーズ環境と地質第IV巻地球環境と社会. 古今書院 p347-449
- Rees,.R. 1980-81. The South Wales Copper-Smoke Dispute,1833-95. Welsh History Review 10:480-496
- Rees,.R 1993. The Great Copper Trials. History Today 43:38-44
- リッチ・コールドー 笠 耐 (訳) 1982. バーミンガムのルナ協会. サイエンス 12:104-114
- 志賀美英. 2003. 鉱物資源論. 九州大学出版会 p289
- スミス,.B.ウェブスター 和田忠朝 (訳) 1966. 銅の6000年. アグネ p148
- Stanier,.P. 1990. Cornwall's Geological Heritage. Twelveheads Press p51
- Tallon,.A.R.,Bromley,.R.D.F. and Thomas,C.J. 2005. Swansea. City profile 22:65-76
- 谷口正次. 2001. 資源採掘から環境問題を考えるー資源生産性の高い経済社会に向けてー. 海象社 p68