

# アルミニウム資源

## I

嶋崎 吉彦・岡野 武雄

### は し が き

われわれの生活に各種金属が不可欠のものである事は誰でも知っているが、金属の中で用いられている量や用途の広さ、すなわちその重要性が案外一般に知られていないものの一つがアルミニウムではないかと思う。事実アルミニウムは最近までは航空機に使用される以外は日用品のごく一部に使われている程度であったが、近年工業技術の飛躍的發展にともない、需要は急激に増大した。アルミニウムは軽量、美観、耐蝕性、加工性などの諸性質が非常にすぐれているため、非鉄金属として最も広い応用分野を有している。したがって第二次大戦後は航空機、日用品のみならず建築材料、機械工業、車輛工業などあらゆる分野に使用されるようになった。

この事は次のように生産量の増加の割合を見ればいっそう明らかになる。つまり過去30年間のおもな金属の世界総生産量の増加の割合を見ると、銅約2.4倍、亜鉛約2.6倍、鉛約1.5倍、鉄約3.2倍に対してアルミニウムは実に20倍以上の増加を示しており、他にはこのような主要な金属はない。これを量的に示せば、1920年代の終わりに約20万トンであったものが、1962年には約500万トン生産されている。この1962年の生産量は粗鋼の約3億6千万トンは別として、銅の約470万トン、鉛の約230万トン、亜鉛の約260万トンのいずれよりも多い。日本でも最近数年間の例をとれば、1957年の約68,000トンから、1962年の約170,000トンに生産量は2倍半の増加を示している。この増え方はまことに驚異的である。このように用途は最近開拓された分野が多く、今後もアルミニウムの需要は、非常ないきおいで増加するものと予想される。

アルミニウムは火成岩の成分として最も多量に存在する金属であって、全元素中酸素、珪素に次いで三番目に多く地表上に分布している。火成岩中のアルミニウム含有量の平均は8.13%である。しかしアルミニウムの原子番号は奇数( $Z=13$ )であるので、 $Z$ が偶数の元素の方が多量に存在するという Odde-Harkins の法則に従えば、元素の周期律表の上でアルミニウムの隣にある珪素とマグネシウム(地表の火成岩の平均含有量2.09%)の方が多くなければならない。したがってアルミニウムは地球全体から見れば上部に濃集してい

球内部には非常に少ないものと思われ、マントルはマグネシウムと鉄の珪酸塩のみでできていると思われている。事実、隕石の化学組成を見るとマグネシウム16%に対してアルミニウムはわずか1.79%にすぎない。

上記のように地表に濃集している原因の一つは、マグマ分化作用の過程で初期に晶出する鉱物にはアルミニウムがあまり含有されていないことである。長石中には8~10%のアルミニウムが含まれており、長石が火成岩の非常に大きな部分を占めるため、通常の火成岩中のアルミニウムの大部分は長石中に存在する。したがって長石の少ない深部岩石のアルミニウム含有量は、非常に小さいものとなる。

アルミニウムは酸素との親和力がきわめて強い元素であるため、地表に多量に存在しているにもかかわらず、天然に単体では存在しないし、また硫化物の鉱物もない。天然に産出する鉱物の中で最も多量にアルミニウムを含有するものは、コランダム [ $Al_2O_3$ ] であって、約53%含む。またダイアスポア [ $HAIO_2$ ] も約45%含有している。これらアルミニウム含有量の高い鉱物は、いずれもアルミニウム資源として使える可能性はあるが、量が少なかったり、あるいは現在用いられている製錬法に適さないため、原料の大部分は、ギブサイト [ $Al(OH)_3$ ] かボーキサイト [ $AlO(OH)$ ] を主体とするボーキサイトである。ただソ連、中国はボーキサイトに乏しいため、霞石、ダイアスポアなどを原料にしてアルミニウムを生産している。

アルミニウムの主要原料であるボーキサイトは岩石の熱帯性風化作用によってアルミニウムが30%近くすなわち火成岩平均の約4倍に濃集してできた残留鉱床である。

したがって熱帯、亜熱帯地域に大部分の鉱床が分布している。現在わかっている世界の総埋蔵鉱量は30億トン以上といわれているが、その中でアジア地域は最も少なく約3億トンである。アルミニウム鉱石の世界の総採掘量は年間約3千万トンであるが、今後急速に増大するものと予想される。わが国にはボーキサイト鉱床はなく、原料はすべて東南アジア、インドなどからの輸入に頼っている。輸入量は年間100万トン以上、金額にして50億円以上に達する。1956年の日本におけるアルミニウムの消費量は国民一人当たり0.7kgであって、アメリカの $1/14$ 、イギリスの $1/8$ 、ソ連の $1/3$ 、イタリアの $1/2$ である。

また当時の一人当りの粗鋼消費量約100kgはアメリカの $\frac{1}{4}$  イギリスの $\frac{1}{3}$  イタリアとほぼ同量である。ところが四年後の1960年になると日本のアルミニウム一人当り消費量は倍増して1.5kgになりアメリカの $\frac{1}{8}$  イギリスの $\frac{1}{4}$  ソ連の $\frac{1}{3}$ の比率になった。鋼消費量も120kgに増えたが主要国のそれとの比はほとんど変化はない。この数字を見てもアルミニウムの需要が世界的に増加している中でもとくにわが国のそれは飛躍的に急増している事が明らかであり今後著しいアルミニウム工業の発展が予想される。したがってアルミニウム原料であるボーキサイトはわが国にとって将来最も重要なものの一つとなる事は明らかである。

## アルミニウム

アルミニウムという名称は遠くローマ時代にさかのぼり当時明ばんのように刺激的な味のある物質をアルメン(alumen)と呼んでいた。18世紀の中頃にフランスの化学者 L. B. G. de Morveau がばん土をアルミン(alumine)と命名し後に英語化されてアルミナ(alumina)になった。18世紀の末には A. L. Lavoisier などの研究によってアルミナはある種の金属の酸化物である事が明らかになりイギリスの Sir Humphrey Davy によってその金属にアルミウム(alumium)なる名前が与えられた。この名前は後にアルミニウム(aluminium)と改名され現在ヨーロッパではアルミニウム(aluminium)アメリカではアルミナム(aluminum)の名称が採用されている。

アルミニウムは原子番号13 原子量 26.97 の元素であって銀白色の軽く軟い金属である。結晶構造は面心立方格子 格子定数は  $a_0 = 4.04 \text{ \AA}$  である。硬度 2.9 融点  $659^\circ\text{C}$  沸点約  $2270^\circ\text{C}$  であり白色光の約80%を反射する。比重は2.69でありマグネシウムやベリリウムよりは大きい。大部分の金属より軽いので色々な方面で利用価値が高い。たとえば電気伝導度は銅の約60%であるが比重が約 $\frac{1}{3}$ であるため同じ重量で同じ長さの線ではアルミニウム線の方が銅線の約2倍の伝導性をもつ。また同じ伝導度の電線であれば価格は銅の約3割安い。熱伝導度は銅より低い鉄より高く台所用品その他の高い熱伝導を必要とする用途に適している。

化学的には酸素との親和力が強い。空中では直ちに酸化して表面に薄い酸化物の皮膜ができる。この皮膜が保護するため内部の金属は非常に安定である。したがって各種化学薬品に対する抵抗も強く食品薬品の容器などには非常に有用である。

機械的に弱いのがアルミニウムの難点であるが他金

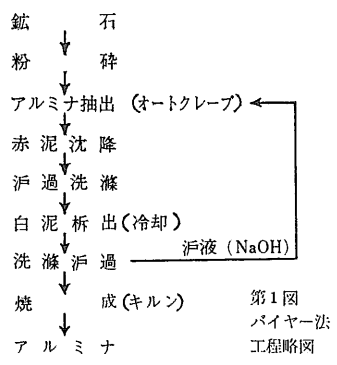
属との合金 熱処理によって非常に強いものができる。たとえばよく知られているジュラルミンは Cu 3.5~4.5 Mg 0.5~1.0 Mn 0.5~1.0%をアルミニウムに加えた軽合金であって焼入れたものは引張り強さ  $4 \text{ t/cm}^2$  に達し特殊鋼の  $10 \sim 16 \text{ t/cm}^2$  には及ばないが比重が約2.85であって鋼の比重が8近い事を考慮すればじゅうぶん匹敵し得る材料である。アルミニウムを主とする軽合金原料として通常用いられる金属は Cu Mg Si Mn Fe Ni Zn などである。これらの合金の比重はだいたい2.55~2.90である。

## アルミニウムの製造

1824年にデンマークの H. C. Oersted が初めてアルミニウムを単体で取り出す事に成功した。その時用いた方法は塩化アルミニウムをカリウムのアマルガムと共に熱して還元する方法である。1827年にドイツの F. Wöhler は同じく塩化アルミニウムを金属カリウムを用いて還元して灰色の粉末状アルミニウムを得る事に成功し次いで1845年に金属アルミニウムの小粒を作つて比重その他の性質を測定した。さらに1854年にはフランスの H. Saint-Claire Deville が塩化アルミニウムを金属ナトリウムを用いて還元して金属アルミニウムを作製した。また同じ頃ドイツの Robert Wilhelm Bunsen は塩化ナトリウム・アルミニウムを電気分解してアルミニウムを作った。1886年にアメリカの C. M. Hall とフランスの P. L. T. Héroult はほとんど同時に熔融氷晶石  $[\text{Na}_3\text{AlF}_6]$  がアルミナを溶解しこの熔融物に電流を通じると氷晶石はほとんど影響されずにアルミナだけが低温低電圧で分解して金属アルミニウムができる事を発見した。この原理を応用した製錬法が最も低廉なアルミニウム製造法であるので現在では全部のアルミニウムがこの Hall-Héroult 法で作られているといっても過言ではない。したがってアルミニウムの製造にはまず原料からアルミナを作らなければならない。

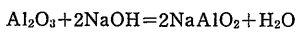
## アルミナ

アルミナ  $[\text{Al}_2\text{O}_3]$  には数種の多型があり  $\gamma$ -アルミナは  $500^\circ\text{C}$  前後でできるがこれは不安定であつて水分その他を吸着するので気体のろ過などに使われるがアルミニウム製造には向かない。使用するのは  $\alpha$ -アルミナであつて最も簡単に作る方法は水酸化アルミニウムを  $1300^\circ\text{C}$  位に熱するのである。しかし原料のボーキサイトは主成分が水酸化アルミニウムではあるが鉄その他の不純物も多く含んでいるのでいきなり焼いたのでは純粋なアルミナはできない。Hall-Héroult 法



に用いるアルミナは Ti P を含まず SiO<sub>2</sub> 0.05%以下 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.02% 以下の純粋なものである事が要求される。

**バイヤー法:** きれいなアルミナを作る方法は数多くあるが これを最も安価に工業的にこなす方法は1888年にドイツの K. J. Bayer によって発明されたバイヤー法である。 現在アルミニウム工業用のアルミナは大部分バイヤー法で作られている。 この方法は水酸化アルミニウムの苛性ソーダ中の溶解度が 温度と濃度によって異なる事を応用したものである。 鉱石を洗滌して粘土などを除いた後に粉砕する。 これを加圧しながら熱い苛性ソーダで処理すると ボーキサイト中の水酸化アルミニウムは アルミン酸ソーダとして溶解し 鉱石中の鉄 珪酸などの不純物は赤泥と称する沈澱になる。

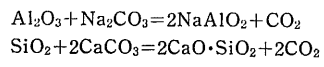


ろ過して溶液だけ取り出して薄めて冷却すると三水和アルミニウムが沈澱する。 この沈澱物を洗滌して約1300°Cに加熱するとアルミナが得られるわけである。 この方法で用いる原料はギブサイトとペーマイトであって同じ水和アルミニウムでもダイアスポアは苛性ソーダに不溶であるため用いられない。

バイヤー法の原理は以上のとおりであるが 鉱石鉱物の種類や含有している不純物などによって色々な点でそれぞれ工夫されている。 たとえばギブサイトは濃度の低い苛性ソーダで低温で処理できるが ペーマイトはそうはいかない。 またアルミニウム珪酸塩を含有している鉱石の場合は 赤泥を次に述べるソーダ石灰法で処理して中のアルミニウムを回収している。 この方法をコンビネーション法といっている。 バイヤー法では鉱石中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の90%以上を回収している。

**ソーダ石灰法:** バイヤー法は安価に良質のアルミナが得られる方法であるが 原料にアルミニウム珪酸塩を多く含む場合には苛性ソーダに不溶な含水ナトリウムア

ルミニウム珪酸塩ができるため適用できない。 ソーダ石灰法はこの様な鉱石を処理するのに適したものである。 この方法は鉱石と石灰石とソーダ灰を混じて約 1300°Cで焼成すると 次のような反応で主としてアルミン酸ソーダと珪酸カルシウムからなるシンターが得られる。



これを水と少量のソーダ灰で処理すれば アルミン酸ソーダは溶解し 珪酸カルシウムが沈澱させる。 この溶液に炭酸ガスを用いて Al(OH)<sub>3</sub> を沈澱させる。 この方法ではセメントに有用な珪酸カルシウムが副産物として得られる。 ソーダ石灰法はバイヤー法に比べてコストのかかる工程であるが バイヤー法では処理できないような鉱石を利用できる。 また副産物を完全に利用できれば費用の点でも相当違ってくると言われる。 鉱石に石灰を加えて焼成するこの方法にはアルミン酸カルシウム法その他色々な種類があるが いずれも根本的にはソーダ石灰法の原理を応用したものである。 ソ連では長石霞石などを石灰焼成法で処理してアルミナを作っている。 ここに説明した以外にも酸処理法 乾式法などのアルミナ製造法があるが 現在アルミニウム工業用のアルミナはだいたい全部以上述べた2方法か あるいはその改良法で作られている。

アルミナは前に書いたようにボーキサイトからアルミニウムを作る時の中間産物であるが アルミニウム製錬以外の用途にも相当量用いられる。 すなわち耐火物 研磨剤 化学薬品 その他に使用されるわけであるが 1961年の世界のアルミナ総生産量約 1,000 万トンのほぼ 90%がアルミニウム製錬に使用され 残りの約10%がこれらの用途に使われた。 アルミナ製造工場は大部分アルミニウム製錬工場の近くに設置されているが 最近輸送費節減のため ボーキサイト産地に建設され始めている。 たとえばジャマイカでは生産したボーキサイトの20%以上を現地でアルミナにしている。

**アルミニウムの電解製錬法**

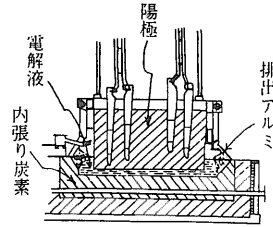
**Hall-Heroult 法:** アルミナからアルミニウムを作るには前に述べたように電解法を用いる。 Hall-Heroult法では陰極になる炭素を内張りした電解炉を用い タールとコークスを混ぜてピッチを流し込んだ自焼成陽極を上からつり下げる。 電解浴は約90%の水晶石と 3~12%のアルミナからなり 電流によってこの混合物の融点 950°C 以上に加熱する。 アルミナが電解されると陰極にアルミニウム 陽極に酸素が析出し 酸素は陽極と化合して炭酸ガスになる。 一方熔融アルミニウムの比重

は約2.3であって 電解浴のそれが2.1であるためにアルミニウムは炉の底部にたまる。アルミニウムを適時取り出し アルミナを加えて電解浴中に常に5%前後のアルミナが溶解しているようにする。氷晶石も少しづつ分解するので適宜補充する必要がある。電解浴の中に氷晶石以外にナトリウム カルシウム アルミニウムの弗化物を少量加えると効率が良い。

アルミナの生成熱が大きく またアルミニウムの化学当量が小さいため 電解製錬には非常に大きな電力が必要である。通常5ボルト前後の電圧で数万アンペアの電流を流している。最近技術が進歩してアルミニウムのトン当りの電力消費量は少なくなってきたが 現在アルミニウム1トンを作るのにだいたい18,000kWhの電力を要する。最も新しい100,000~150,000amp.の電解炉を用いると電力消費量は最高25%の節減になると言われている。1951年のアメリカにおける調査によるとアルミニウムを1kg作るのには平均してアルミナ1.9kg炭素電極0.7kg電力16.5~18.5kWh氷晶石0.23kg弗化アルミニウム0.29kgと0.029マンアワー(man hour)の労力が必要である。また別の調査によればアメリカでアルミニウム1kg作る時に使用する水の量は平均約120lである。

Hall-Héroult法の難点の一つは熔融氷晶石の電気伝導度が低いため電解炉は小型のものしか作れない事である。最大と言われる150,000amp.の炉でも一日1トンのアルミニウムしか作れず 通常の炉の能力は日産700kg前後である。このため工場には多くの電解炉を設置する必要があり設備費は高額になる。

**高純度アルミニウム**：今まで述べてきた方法でできるアルミニウムは純度が99.02%~99.85%位である。アルミナと氷晶石など電解浴の純度を上げ電極に灰分ほとんどないものを用いるなど注意して作れば99.9%位まで純度を上げる事が可能である。しかしながらもっと純度の高いアルミニウムの需要が最近増えてきたので不純物含有量が0.01%以下の高純度アルミニウムを作る技術が発達した。現在工業化されている方法は三層式電解精製法である。この方法ではアルミニウム地金アルミニウム合金やアルミニウムスクラップなどを使い銅を30%~35%含有する軽合金を作る。この合金はアルミニウムと銅の共晶組成Cu 33%に近く(共晶：二つ以上の鉱物が共通の溶液から同時に晶出して一定の比率 模様をなして存在する状態)共晶温度は548°Cである。電解浴にはアルミニウム ナトリウム バリウム カルシウムなどの弗化物の混じったものを用い700°C位で電解を行なうと合金の比重は約3であって



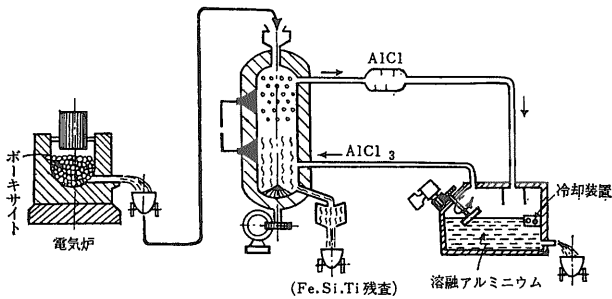
第2図  
ゼーダベルグ  
式電解炉

最も重く 沈んで陽極の動きをなし 純粋な熔融アルミニウムは比重約2.3で軽いため浮いて陰極の作用をする。電解浴の比重は約2.7である。この三層ができるためにこのような名前がついたのである。電解が進むとアルミニウムは上部の陰極に析出するので これを取り出し陽極の軽合金を補給すればよい。この方法では鉄珪素などの含有量の高いスクラップは精製できない。後に述べるように世界の高純度アルミニウムの製造能力はアルミニウムのその0.5%にもみえない。

### アルミニウムの直接還元法

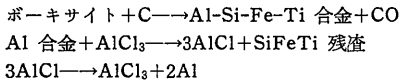
ボーキサイトからアルミナを経てアルミニウムを作る方法について述べたが このHall-Héroult法には前にも述べた様に単位設備の容量が小さい 設備費が高いなどの欠点があるためアルミナの過程を経ないで電解を行わずに 金属アルミニウムを作る方法が古くから研究されている。現在最も実用化の可能性のありそうな方法は 鉍石を炭素を用いて還元して合金を作りこれにハロゲンを用いて金属アルミニウムを作る方法である。アルミナは炭素を用いて約2,100°Cで還元できるが沸点が約1,800°Cであるため単純な加熱法では金属アルミニウムを作る事はできない。酸化アルミニウムは約1,800°Cで気化するがその温度で気化しにくい銅珪素 鉄などと共存するとアルミニウムは化合して気化温度のさらに高い合金を作る。この性質を利用して1880年にCowles Brothers Syndicateは炭素と他金属と共にアルミナを電気的に加熱してアルミニウム合金を作る事に成功した。最近ダイカストにAl-Si合金が使われる様になりアルミニウム珪酸塩を還元剤と共に電気的に加熱してAl-Si合金を作る方法が研究され成功している。

サブハライド法では上に述べた方法で得られたアルミニウム合金あるいは粗アルミニウムを1000°C~1200°Cで3ハロゲン化アルミニウムと接触させると単ハロゲン化アルミニウムになる。これを700~800°Cに冷却すると熔融アルミニウムと3ハロゲン化アルミニウムに分かれる。3ハロゲン化アルミニウムは循環させて再びアルミニウム合金に接触する。ハロゲンに塩素を用いる方法は工業的に操業できる可能性がありこれを



第3図 Gross 法工程略図

Gross 法と呼んでいる。これらの反応は次のとおりである。



この方法を用いると Bayer Hall-Héroult 法にくらべて相当低廉にアルミニウム製錬ができるといわれている。

この他にも有望な方法に Ziegler 法がある。これはアルミニウムアルキルを作り分解してアルミニウムを得る方法である。原料には前記の合金を使い、塩素による腐食作用を防げる。また高温で  $\text{Al}_4\text{C}_3$  や  $\text{AlN}$  を作って分解するカーバイド法、ニトリド法なども研究されている。これらの方法はいずれも実験的には成功し

第1表 世界各國のアルミニウム生産量(単位:ト)

	1958	1959	1960	1961	1962
<b>北アメリカ</b>					
カナダ	575,248	538,532	691,286	601,621	580,598
アメリカ	1,420,250	1,772,741	1,827,522	1,727,018	1,921,353
小計	1,995,498	2,311,273	2,518,808	2,328,639	2,501,952
<b>南アメリカ</b>					
ブラジル	11,886	18,098	18,175	20,029	29,302
<b>ヨーロッパ</b>					
オーストリア	56,896	65,563	67,970	67,656	74,088
チェコスロバキア	26,399	26,036	39,916	49,895	59,874
フランス	168,833	173,011	238,490	279,200	294,499
東ドイツ	34,019	35,017	39,916	54,975	59,874
西ドイツ	136,766	151,165	168,937	172,557	177,825
ハンガリー	39,517	45,722	49,532	51,075	52,707
イタリア	64,050	74,986	83,648	83,353	81,238
ノルウェー	121,360	145,949	164,801	171,557	199,581
ポーランド	22,442	22,809	25,982	47,707	48,120
スウェーデン	16,120	22,642	23,976	37,648	40,943
スイス	13,710	15,513	15,983	18,234	17,069
ソ連	31,479	34,370	39,730	42,211	49,569
イギリス	548,847	625,958	675,853	898,113	907,185
ユーゴスラビア	26,777	24,913	29,384	32,812	34,576
	21,681	19,245	25,070	27,407	27,978
小計	1,329,026	1,483,247	1,687,364	2,036,630	2,127,349
<b>アジア</b>					
中国	27,216	70,398	79,923	99,798	99,790
インド	8,316	17,526	18,467	18,382	27,416
日本	84,587	100,140	133,233	153,699	169,728
タイ	8,568	7,485	8,261	9,016	11,117
小計	128,730	195,589	239,860	280,864	308,080
<b>アフリカ</b>					
カメルーン	31,861	42,315	43,940	47,578	52,072
<b>オセアニア</b>					
オーストラリア	11,043	11,552	11,842	13,416	19,958
合計	3,506,270	4,064,189	4,522,317	4,726,434	5,039,413

(Min. yearbook 1962)

テストプラント操業も行なわれているが 現在直ちに実用化する段階ではなく 相当の期間 Hall-Héroult 法がアルミニウム製錬の主流を占めるものと考えられる。アルミニウム製錬に関する技術的問題としては直接法よりむしろ粘土 頁岩などの低品位アルミニウム資源からアルミナを経済的に作る方法が各所で研究され 完成も近いのではないと思われる。

### アルミニウムの生産量と価格

アルミニウムを作っている国は1962年現在で25カ国あるが 世界の年間生産能力約560万トン中アメリカの223万トンとヨーロッパ全体の210万トンで 両者合計433万トンと全世界の約77%の生産能力を有し カナダの80万トンを加えると513万トンと実に91%以上を北米大陸とヨーロッパで占めている。日本の生産能力は約22万トンで世界の約4%である

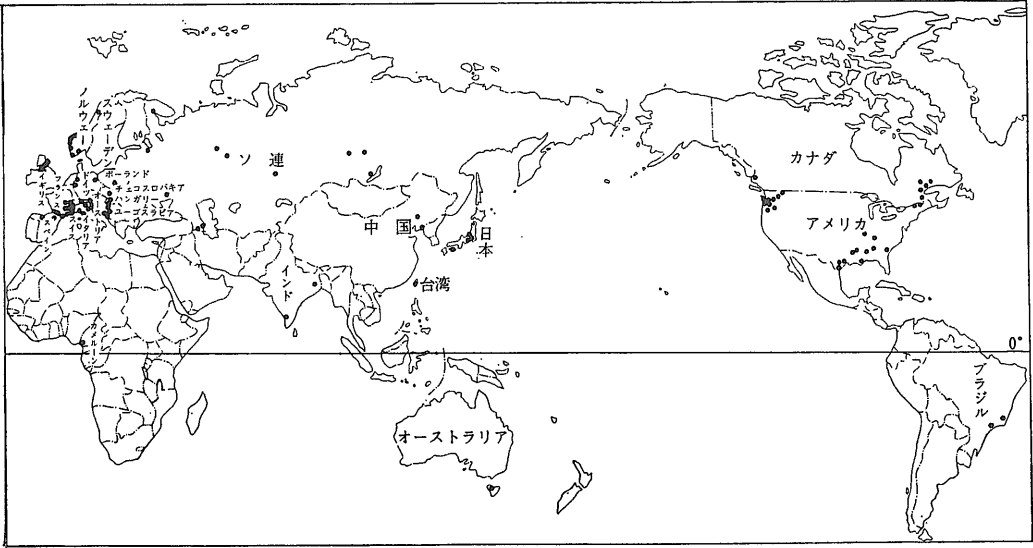
アルミニウムの1962年の生産量は全世界の総計約500万トンであるが この内アメリカ約190万トン ヨーロッパ約210万トン カナダ約59万トンであって 合計約460万トンつまり北アメリカとヨーロッパで全世界の92%を生産した。日本の生産量は約17万トンで3.4%強であった。アジア全体の生産量は約21万トン 世界の4.2%であった。日本の生産量は世界第7番目である。このようにアルミニウム生産能力が 北アメリカとヨーロッパに偏在している事は 後に述べるようにボーキサイト開発に大きな影響を及ぼす。アルミニウム工業の将来の見通しについては 前にも述べたようにアルミニウムの需要は急速に増加しており1980年には世界の年間生産量は2,000万トンに達すると予測する人もある。

アルミニウム地金の主要生産国の国内価格(1959年平均)は 日本617 アメリカ591 カナダ511 フランス504 西ドイツ530 イギリス496 イタリア617 ノルウェー496 スイス584ドル/トンであって わが

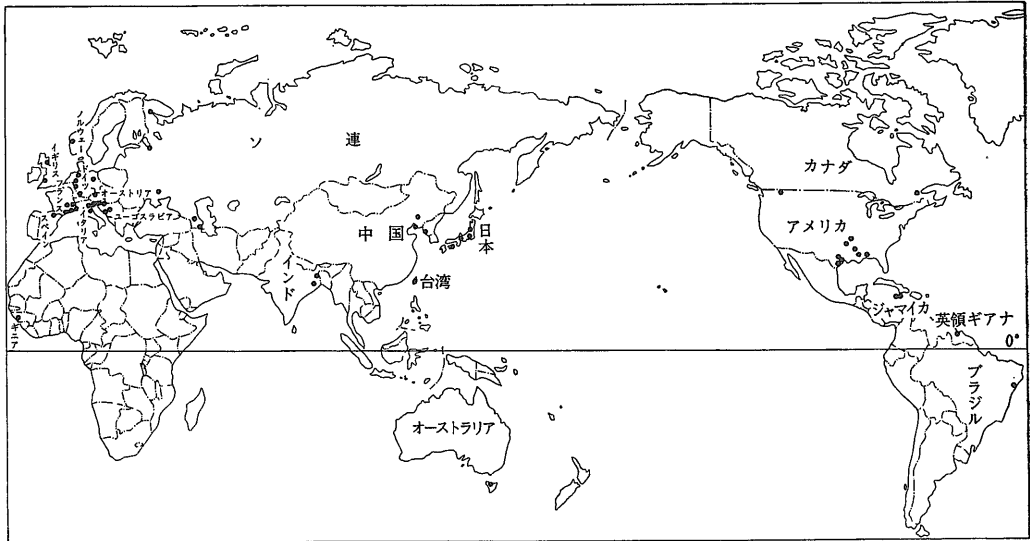
第2表 世界各國のアルミナ製造能力(1962単位:1,000トン)

国名	能力	国名	能力
アメリカ	4,500	ポーランド	45
カナダ	2,000	スペイン	20
ジャマイカ	730	ソ連	1,900
ブラジル	50	イギリス	120
チェコスロバキア	100	ユーゴスラビア	100
フランス	660	オーストラリア	25
西ドイツ	604	台湾	40
東ドイツ	55	日本	586
ハンガリー	220	インド	23
イタリア	250	中共	10
ノルウェー	30	ギニア	480

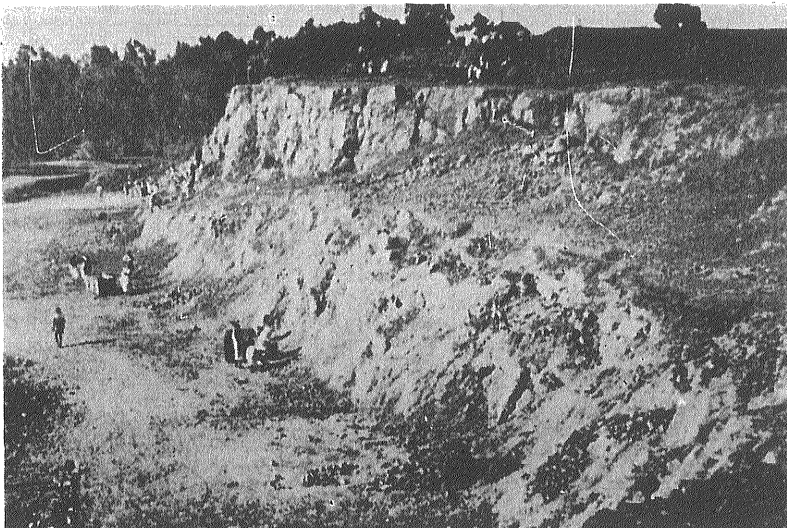
(北川二郎:アルミニウム工業(1963)およびMin. yearbook(1962)から)



第4図  
世界の主要  
アルミニウム  
工場の分布



第5図  
世界の主要  
アルミナ  
工場の分布



インド Bihar・Lohagada 付近  
のボーキサイト採掘場 上層は3m  
位のラテライト(写真の黒い部分)  
におおわれている  
(Brown and Dey: India's Mi-  
neral Wealth より)

国の価格は他国にくらべて割高である。生産費の内訳は日本の標準原価で見ると 原材料費 35% 電力費 35% 労務費 7% その他 23% である。電力費の占める割合は生産原価の中で非常に高く アルミニウム工業は電力費の高い所では操業できない。しかも日本では上の標準原価の中で変動の大きいのも電力費であって 原価の高い工場と低い工場ではトン当たり 5 万円もの開きがあるが この差の最大の原因は電力費である。

アルミニウムは新しい金属であるため メーカーは価格を安くして 他金属との競争に備えるよう努力している。この結果 次に掲げる主要金属の 地金の戦前と最近の平均国際価格の概略値からもわかるように アルミニウムは戦前から値上りの最も少ない金属である。

	1939(\$/t)	1961(\$/t)	1961/1939
アルミニウム	250	550	2
アルミニウム(高純度)		990	
銅	140	630	4.5
鉛	44	180	4
亜鉛	40	220	5.5
銦 鉄	20	64	3

アルミニウム原料の日本における価格の概略は 次のとおりである。

アルミナ	\$68/t
ボーキサイト	\$12/t
氷晶石	\$220/t

アルミナは日本からの輸出 f. o. b. ボーキサイトと氷晶石は日本の輸入 c. i. f. 価格である。1962年

### ボーキサイト鉱石ならびに鉱床

1845年にフランス南部の Les Beaux 村付近に産出す

第3表 世界の代表的ボーキササイトの化学組成

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	lg-loss
アメリカ (Arkansas 州)	50~60	1~5	1~3	5~14	27~30
ジャマイカ	47~52	15~20	1~3	1~5	18~30
フランス	40~70	2~20	2~5	1~4	12~20
イタリア	43~73	14~36	1~4	2~14	12~15
ユーゴスラビア	49~66	2~27	2~5	1~9	12~15
ハンガリー	47~63	14~27	2~4	2~5	11~28
ソ連	42~70	3~28	1~3	2~30	12~40
ギニア	40~62	1~7	1以下	2~7	30~34
オーストラリア Queensland 州	44~59	8~17	2~3	5~10	16~27
Western Australia 州	37~52	6~21	1~3	2~17	25~27
インドネシア	45~60	13~26	1~2	2~14	26~32
マラヤ	40~60	5~15	1以下	2~7	20~30
サラワク	44~57	7~20	0.5~3	2~27	17~30
中国	45~77	1~18	2~7	1~18	12~15
インド(BiharとMadhya Pradesh)	50~60	2~12	7~14	1~5	22~28

るアルミニウムの水酸化物と鉄の酸化物からできている土壌を Dufrenoy が Beauxite と命名した。これは後1861年に Bauxiteと改名された。ボーキサイトは一般的な名称であって 主としてアルミニウムの水酸化物からなり 少量の鉄 マンガン チタンなどの水酸化物酸化物を含有し カオリンなどの粘土を含んでいる土壌を総称している。以前は鉱物名のような扱いをされた事もあったがこれは誤りである。

最初の頃知られていたボーキサイト鉱床は主としてフランス南部 中部ヨーロッパのものであって それらはいたいにおいて石灰岩 ドロマイトが母岩になっていた。従ってボーキサイトはこれらの母岩から terra rosa (石灰岩の上をおおう石灰岩に由来する残留赤色粘土)と同じような形でできるものと思われていた。ところが19世紀の終り頃 ドイツで火成岩から風化してできたラテライトがボーキサイトと同じように水酸化アルミニウムを多量に含有していることがわかり 石灰岩とは無関係に土壌中に水酸化アルミニウムが濃集し得ることが明らかになった。一部には石灰岩に伴って産出するものだけをボーキサイトと呼ぶように提唱する人もいたが さらにこれらのいずれとも異なり 堆積性と思われるダイアスポア質粘土がアメリカ ソ連などで発見されるに及んでボーキサイトを以上のような標準で定義するのは困難になった。ここでは一般的な用法に従い Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を30%以上含有し ギブサイトまたはペーサイトを主体とする鉱石をボーキサイトと呼び ダイアスポアを主体とするものをダイアスポア質ボーキサイトと呼ぶことにする。ダイアスポア質のものを別にした理由はアルミナ製造の工程が他のボーキサイトと異なるためである。

第4表 ボーキサイトの微量成分

	ボーキサイト中の含有量(ppm)		濃縮率※	
	平均	最高	平均	最高
Ba	50~150	1,000	0.2~0.6	4
Be	2?	60	1?	30
Co	1?	20	0.05?	1
Cr	90~450	2,500	0.4~2	13
Cu	14?	30	0.2	0.4
Ga	8~80	100	0.5~5	7
Ge		4?		0.5?
In	0.2?		2?	
Mo	3~18?	50	3~18?	50
Nb	500?	1,000	21?	42
Ni	6?	50	0.07?	0.6
Pb	7?	70	0.4?	4
Sc	2~7	60	0.3~1.4	12
Sr	190?	900	0.6?	3
Ta		5?		2.4?
V	20~400	800	0.1~3	5
Zn	120~360		1~3	
Zr	1,300?	2,000	6?	9

※ 地殻の平均含有量を1とする

**ボーキサイトの化学組成と鉱物**

ボーキサイトの主成分は Al Fe Si Ti ならびに H<sub>2</sub>O である。現在アルミニウム原料として採掘されているものは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を 50~60% 含有するものであるが、原岩の性質などによってアルミニウム以外の元素は含有量が相当変動し、だいたい次の範囲内に入る。

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50~60%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1~25
SiO <sub>2</sub>	1~10
TiO <sub>2</sub>	1~15
H <sub>2</sub> O	12~30

この他に Ca と Mg などが少量含まれている。微量成分のおもなものは Ba Cr Nb Sr V Zn Zr Ga などである。なおそれぞれのボーキサイト鉱床の説明の所で化学組成についても述べる。

上に述べた主要成分は、次のような形でボーキサイト鉱石を構成している。

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** アルミニウムはボーキサイトの主成分であって、水酸化物として存在する。ギブサイト [Al(OH)<sub>3</sub>]、ペーサイト [AlO(OH)] またはダイスポア [HAlO<sub>2</sub>] である。この他にカオリン [Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] などの粘土鉱物が相当量含まれていることがある。

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 鉄は多くの場合針鉄鉱 HFeO<sub>2</sub> として存在する。針鉄鉱はラテライトの主要鉱物であって、後に述べるラテライトやボーキサイトの生成過程でギブサイトなどの水酸化アルミニウムと密接な関係がある。赤鉄鉱もあり、この他少量の磁鉄鉱 [Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>]、菱鉄鉱 [FeCO<sub>3</sub>] などもボーキサイトの中にある場合もあるが通常あまり問題にならない。

**SiO<sub>2</sub>** 珪酸は多くの場合粘土鉱物のものである。原岩に石英のある場合は鉱石の中にも石英がある。

**TiO<sub>2</sub>** タタンの含有量は原岩の種類に影響される。たとえばインドの場合のように玄武岩から変質してできた鉱石には 10% 以上含まれていることがある。鉱物は多くの場合金紅石 [TiO<sub>2</sub>]、チタン鉄鉱 [FeTiO<sub>3</sub>] などである。

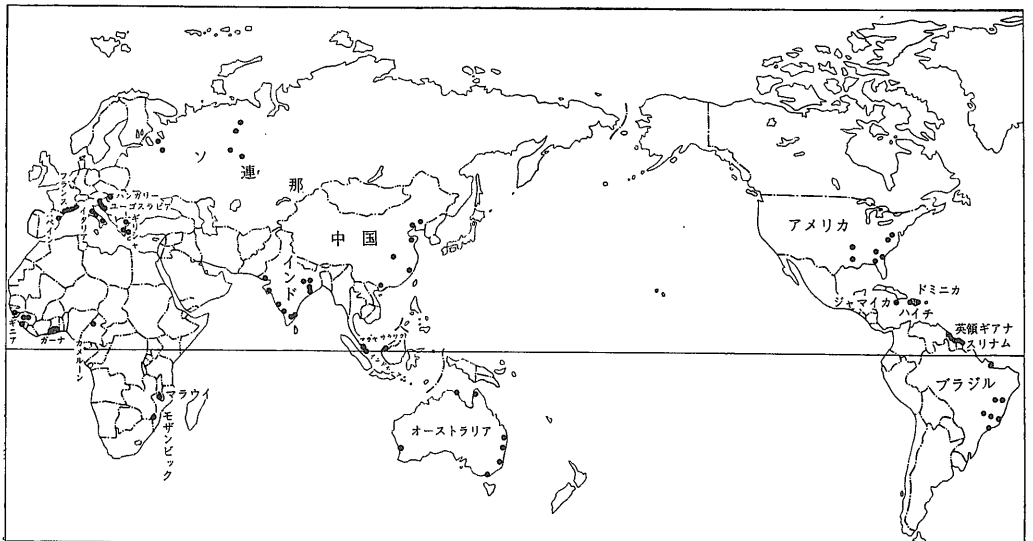
**H<sub>2</sub>O** ギブサイトは結晶水を 34.7%、ペーサイトは 15% 含有している。鉱石の灼熱減量はほとんど全部これら水酸化アルミニウムの結晶水と考えてよい。従ってアルミニウム鉱物がギブサイトであれば、水の量は多く、ペーサイトのものは少ない。

このようにボーキサイトの中で最も重要な鉱物は水酸化アルミニウムである。次にこれらの鉱物を簡単に紹介する。

**三水和アルミニウム鉱物**

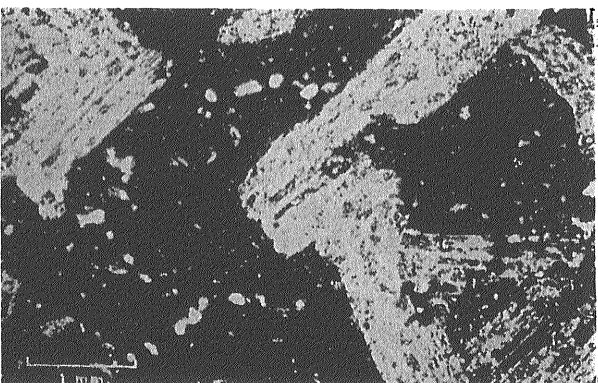
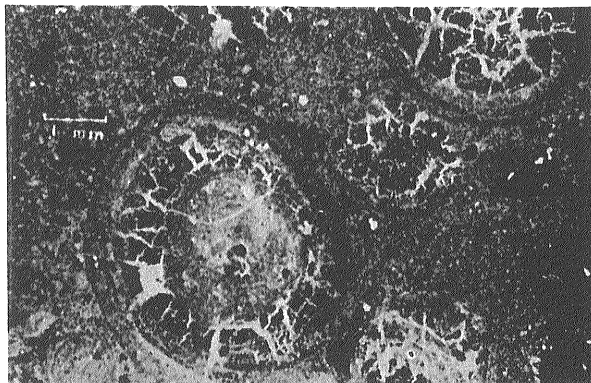
**ギブサイト (Gibbsite):** 最も重要なボーキサイト鉱石鉱物である。γ-Al(OH)<sub>3</sub> であって、長石、鋼玉などのアルミニウム鉱物の分解生成物としてでき、また低温熱水性鉱物として脈状に火成岩中にも産出する。ボーキサイトやラテライトの中の結核帯では比較的大きな結晶として産出し、ラテライト中の針鉄鉱の微細結晶とは対照的である。完全な底面劈開を有し、白色で光沢はガラスもしくは真珠光沢である。結晶系は単斜晶系、硬度 2.5~3.5、比重 2.3~2.4、顕微鏡下では無色、屈折率は α=1.56 β=1.56 γ=1.58 +2V=0~20° である。硫酸と熱い苛性ソーダに可溶である。ペーサイトやダイスポアよりも溶解度が高く、アルミナ原料には最も適している。一名 Hydrargillite とも呼ばれる。

**ノルドストランドイト (Nordstrandite):** これはあまり知られていない鉱物で Bayerite-II と命名した人もある程軽視されていたものである。また従来人工的にしかできず、天然には発見されていなかったが、1962年に



第6図 世界の主要ボーキサイト鉱床の分布





ボーキサイト鉱石の顕微鏡写真(透過普通光)  
アメリカ Arkansas 州ボーキサイト鉱床産の鉱石で豆状鉱の組織がみられる  
小球も石基の部分もギブサイトからなっている

ボーキサイト鉱石の顕微鏡写真(透過普通光)  
アメリカ Arkansas 州ボーキサイト鉱床産の鉱石 原岩に比較的近い部分  
のもので花崗岩状組織が未だ残っている 長石がギブサイトに交代されたの  
が白く見られ不透明に近い部分は酸化鉄で着色されたギブサイト

(Gordon and Tracey : Problems of Clay and Laterite Genesisから)

サラワクとグアム島で土壌の中に相当量含有されているのが発見された。

**バイヤライト(Bayerite):** 天然に産出しない三水和アルミニウム [ $\alpha$ -Al(OH)<sub>3</sub>] である。アルミン酸ナトリウム溶液に室温で炭酸ガスを吹き込んで分解させるとこの鉱物が沈殿する。これを放置するとギブサイトに変質する。大体においてバイヤライトには常にギブサイトが混入している様である。結晶系は六方晶系 比重 2.53 屈折率  $n_m = 1.58$  であって肉眼では白色 顕微鏡下では無色である。酸とアルカリに可溶である。

**単水和アルミニウム鉱物**

**ベーマイト(Boehmite):** 南ヨーロッパのボーキサイト鉱床の主要鉱物である。アルミニウムの単水和物

第5表 世界各地のボーキサイト埋蔵量(単位:100万トン)

地 区 別	確定鉱量	予想鉱量	地 区 別	確定鉱量	予想鉱量			
アフリカ	ギニア	600	2,400	南アメリカ	スリナム	200	200	
	ニジェール	229	—		英領ギアナ	80	70	
	セネガル	—	60		ブラジル	30	173	
	カメルーン	—	50		仏領ギアナ	—	70	
小 計	829	2,510	ベネズエラ	—	10	小 計	310	523
ヨーロッパ	ハンガリー	250	na	アジア	インド	58	192	
	ユーゴスラビア	128	172		中国	50	950	
	ソ連	100	—		インドネシア	15	10	
	ギリシア	84	—		トルコ	10	36	
	フランス	70	190		マラヤ	10	6	
	ルーマニア	20	20		サラワク	5	5	
イタリア	11	13	アイワラ	—	15			
スペイン	7	—	パキスタン	—	9	小 計	148	1,223
オーストラリア	600	400	合 計	3,224	5,977			
南太平洋諸島	3	3						
小 計	603	403						
北アメリカ	ジャマイカ	550	450					
	アメリカ	50	350					
	ドミニカ	40	40					
	ハイチ	23	7					
	コスタリカ	—	50					
	パナマ	—	25					
小 計	663	922						

[ $\gamma$ -AlO(OH)] であって 鉄鉱物の鱗鉄鉱 [FeO(OH)] と異質同像である。これはギブサイトの脱水によって ギブサイト質ボーキサイトが熔岩 貫入岩などによって弱い熱変成作用を受けるとベーマイト質ボーキサイトになる場合がある。また中生代にできた様な古いボーキサイトはギブサイトがベーマイトに変わっていると思われる。人工的にはギブサイトを加圧しながら熱するとできる。結晶系は斜方晶系 硬度3.5~4.0 比重は3.01~3.06 でギブサイトとダイアスポアの中間の値を示す。色は淡い灰 褐色などであり 顕微鏡下で無色 屈折率は  $\alpha = 1.638$   $\beta = 1.645$   $\gamma = 1.651$  前後であり  $+2V = 80^\circ$  である。酸とアルカリにやや難溶である。

**ダイアスポア(Diaspore):** ベーマイトと同じく単水和アルミニウムであるが 構造は全く異なり 化学式は  $HAIO_2$  で表わされ 針鉄鉱 [HFeO<sub>2</sub>] と異質同像である。この鉱物は火成岩 変成岩 堆積岩などに広く分布している。古生層の地層によく産出し 実験室におけるデータとも合わせて 高温または高压状態を経たボーキサイトのみダイアスポアは産出するという説があるがしかしこれはアメリカ ソ連などに産出するダイアスポア質粘土の産状と矛盾する。結晶系は斜方晶系 硬度 6.5~7 比重3.3~3.5である。白色 顕微鏡下で無色であるが鉄 マンガンなどの不純物を含有するものは赤く着色している事がある。屈折率は  $\alpha = 1.702$   $\beta = 1.722$   $\gamma = 1.750$   $+2V = 84^\circ$  である。アルカリに対する溶解度がギブサイト ベーマイトより低いため バイヤー法によるアルミナ原料には適当でなく 前二者ほどアルミニウム原料としては広く用いられていない。耐火性が強く耐火物の原料として広く利用されている。

上記の鉱物以外に非晶質水酸化アルミニウム [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・

第6表 世界各国のボーキサイト生産量(単位:1,000トン)

国 別	1958	1959	1960	1961	1962	国 別	1958	1959	1960	1961	1962
北アメリカ						アジア					
ドミニカ		771	689	712	717	中国	152	305	356	406	406
ハイチ	284	259	272	267	443	インド	169	218	383	476	573
ジャマイカ	5,814	5,207	5,837	6,770	7,554	インドネシア	343	387	395	420	492
メキシコ	1,332	1,727	2,030	1,248	1,391	マラヤ	266	388	459	417	355
小 計	7,430	7,965	8,828	8,997	10,106	パキスタ	2	2	1	1	1
南アメリカ						サラ	138	210	290	257	229
ブラジル	70	97	121	98	102	小 計	1,071	1,511	1,884	1,976	2,055
英領ギアナ	1,611	1,701	2,511	2,412	2,733	アフリカ					
スリナム	2,988	3,430	3,455	3,405	3,253	ガーナ	210	150	228	199	287
小 計	4,670	5,228	6,086	5,914	6,088	ギニア	349	301	1,190	1,767	1,370
ヨーロッパ						モザンビク	5	4	5	5	5
イタリア	23	24	26	18	17	小 計	564	455	1,422	1,971	1,661
オーストリア	1,830	1,757	2,068	2,190	2,161	オセアニア					
フランス	4	4	4	4	4	オーストラリア	7	15	70	26	51
ドイツ	857	919	884	1,118	1,001	合 計	21,413	23,074	27,449	29,267	30,420
ギリシャ	1,049	957	1,189	1,358	1,473						
ハンガリー	299	295	315	323	309						
イタリア	73	71	89	69	90						
ルーマニア	8	8	3	6	6						
スペイン	2,794	3,048	3,556	4,064	4,064						
ソ連	733	815	1,025	1,232	1,332						
ユーゴスラビア											
小 計	7,669	7,899	9,159	10,383	10,458						

(Min. Yearbook 1962)

ミニウムの水酸化物が残留するともいわれまた最近わずかに酸性の溶液に珪酸は溶解して鉄とアルミニウム水酸化物は残留するという実験報告もある。筆者には後者の方が天然の状態に近い条件と思われる。気温の問題については化学反応を促進するという意味においても確かに高温は有利な条件

H<sub>2</sub>O]がある。Cliachiteと呼ばれている。これは量的にも重要ではなく 鉱物としても詳しい研究はされていない。

ボーキサイト鉱石は色々な組織を有しているが最も品位の良好なものは結核帯にあるもので豆状組織(Pisolitic texture)を有する事が多い。次の項で説明する風化作用がそれ程進んでいない部分では長石をギブサイトが置換して 原岩の組織がそのまま残っている場合もある。それぞれの一例を36頁上の写真で示す。

### ボーキサイト 鉱床

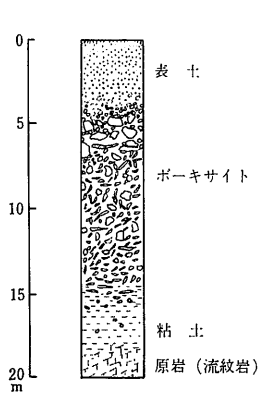
今までボーキサイト鉱石の化学組成や構成鉱物について述べてきた。この様な鉱石がどのような過程でできるかという問題については色々な学説があるが 現在大部分の地質学者はラテライトの様に熱帯性気候のもとで行なわれる岩石の風化作用の結果生成したものと考えている。ラテライトとボーキサイトは共に水酸化鉄と水酸化アルミニウムを主成分とするもので ラテライトはFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10%前後の組成を有し ボーキサイトはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 30%以上 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 25%以下の組成を有しているものをいう。ラテライトは現在利用されておらず ボーキサイトについては活発に探査が行なわれているにもかかわらず ラテライトの方がボーキササイトの10倍近い鉱量が知られている。風化作用によってラテライトのできる過程をラテリゼーション(laterization)と称し 一般に高温 多湿の気候の下で岩石中のアルカリ元素 アルカリ土類元素の溶脱 珪酸塩の分解が行なわれて珪酸塩鉱物は カオリンなどの粘土鉱物に変化し さらに風化が進むと 珪酸が溶脱して鉄とアルミニウム水酸化物が残留するといわれている。この場合作用する溶液の酸度が問題であるが アルカリ性であるために鉄とアル

であるが 他の条件が揃えば温帯でもラテリゼーションは進行すると思われる。この風化作用の過程で磁鉄鉱尖晶石 石英などの酸化物は変質せずに原岩のものが残留する。ラテライトとボーキササイトの風化生成説に対して ソ連のウラル山地のボーキササイトに関しては堆積説がソ連の学者によって提唱されている。詳細は不明である。鉄の多いラテライトの一部がボーキササイトになっている例はインドを始め多数あるが どの様な過程で鉄とアルミニウムが分化したか——色々な説はあるが——現在の所明確には説明できない。風化作用によってラテライトとボーキササイトができる事は明らかであるが でき上がったラテライトやボーキササイトが水その他によって運搬され一種の碎屑鉱床として賦存する場合もある これを堆積性ラテライトまたはボーキササイトと呼ぶ場合もあるが 風化生成説と矛盾するものではない。風化作用によってできる残留鉱床であるため ボーキサイトの性質は当然原岩の性質に影響される。Harderはボーキササイト鉱床を原岩の種類によつて 次の5種に分類している。

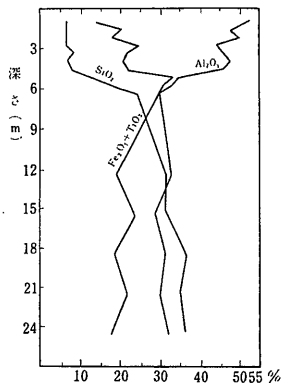
1. アルカリアルミニウム珪酸塩鉱物に富む岩石 石英を含まない
2. 石灰岩 ドロマイト
3. 含水アルミニウム珪酸塩質岩石 石英少しあり
4. 中性ないし塩基性火成岩 石英ほとんどなし
5. 火成岩 変成岩 堆積岩で中程度のアルミニウムを含むもの 石英あり

この分類は仲々当を得ており これによつてボーキササイトの各種性質を示す事ができるから 以下この分類に従つて各種ボーキササイト鉱床の概要を説明する。

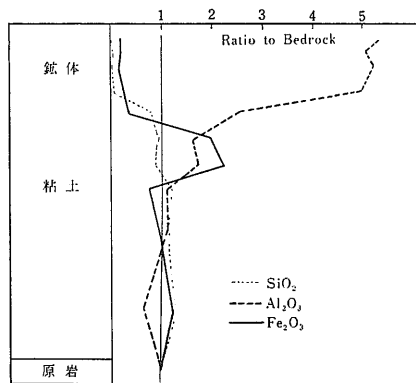
① 原岩はアルカリ岩と呼ばれるものであつて 準長石の一種である霞石の様なアルミニウム珪酸塩鉱物に富



第7図 マラヤ南東ジョホール  
ボーキサイトの断面図



第8図 サラワク Bukit Gebiy  
鉱床の化学組成と深さとの関係



第9図 英領ギアナのボーキサイト鉱床の  
主要成分濃縮比

み 石英はほとんど含まない。この型の鉱床はアメリカの Arkansas 州 ブラジルの Poços de Caldas ギニアの Los 島などが代表的な産地であり 世界的に重要な鉱床である。この中でブラジルとギニアの鉱床は直接原岩の霞石閃長岩をおおっているが アメリカのものは鉱体と原岩の間にカオリン質粘土が挟在している。この型の鉱床の鉱石はだいたい高品位であって分析値は通常  $Al_2O_3$  55 以上  $Fe_2O_3$  5~10  $SiO_2$  2~5% を示す。主要鉱石鉱物はギブサイトである。

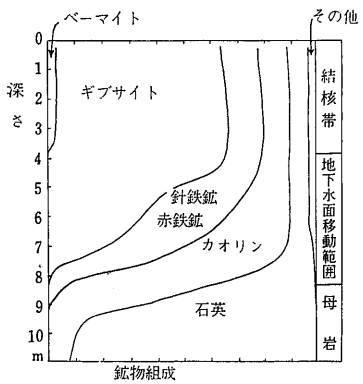
② 石灰岩 ドロマイトと密接な関係を有し その風化作用によってできたボーキサイト鉱床は主として南ヨーロッパとジャマイカ島に分布している。ジャマイカの鉱床は石灰岩のくぼみに厚くたまり 凸出部を薄くおおっている。石灰岩との接触部は通常明瞭であるが 不規則な形態を示している。ヨーロッパのものは鉱床生成後に海面下に沈降してボーキサイトの再分布が行なわれ その上に石灰岩などが堆積した。さらにその後一部では激しい地殻変動があり 鉱床の形態は複雑である。ヨーロッパの鉱石 鉱物はペーマイト ジャマイカのものはギブサイトである。品位は良質のものは  $Al_2O_3$  55~58  $Fe_2O_3$  15~30  $SiO_2$  2~5% である。

③ 堆積性粘土岩に伴うボーキサイトはだいたいカオリン質岩石の風化作用によってできたものである。アメリカの大西洋岸南部の South Carolina 州 Georgia 州などに分布している。これらは白亜紀または第三紀初めの堆積性粘土層と第三紀の堆積層の間の不整合面に賦存している。品位は良い所では  $Al_2O_3$  55  $Fe_2O_3$  2  $SiO_2$  11% であって 鉄分が低く珪酸分は高い。

④ 中性 塩基性火成岩に伴って産出するボーキサイトは鉄に富むラテライトと共生しているものであって

通常鉄の含有量が高くアルミウム品位は他の型の鉱床にくらべて劣る事が多い。産地はインド中部 西部 ギニア サラワク 北アイルランド アメリカ西北部などである。これらの鉱床では とくにインドの場合は顕著であるが ボーキサイトはぼう大なラテライトの中にレンズ状に賦存していてラテライトに比して問題にならない程度の量である。だいたい 最上部に鉄分の高いラテライトがあり ボーキサイト 粘土 原岩という順序になっている。品位は高品位部では  $Al_2O_3$  50~55  $Fe_2O_3$  7  $TiO_2$  7  $SiO_2$  1% 程度であるがラテライトに漸移するため 一定ではなく変動は大きい。サラワクでは安山岩などが変質してボーキサイトになっているが 大きさ数 cm の団塊状鉱石が下部の原岩の組織を残したボーキサイトに漸移している。インドのものと異なりラテライトはそれ程多くなく 品位の変動も少ない。品位は  $Al_2O_3$  50~55  $Fe_2O_3$  10  $TiO_2$  1  $SiO_2$  5% である。

⑤ アルミニウム含有量が中程度の岩石が風化してできたボーキサイトは資源的には重要である。原岩は各種の火成岩 変成岩 堆積岩であるが 常に長石に富んでいる岩石であって花崗岩 片麻岩 長石質片岩 粘板岩 頁岩などである。この型に入る鉱床は英領ギアナ スリナム ブラジルならびにインドの一部 ガーナ マラヤ インドネシアなどに分布しているものである。これらの鉱床は規模 形状などまちまちであるが 特長的事は鉱体と未変質原岩との間に必ず相当量の風化作用の中間生成物が存在する事である。鉱体は10~15mの固い層をなす場合と細粒ボーキサイト質粘土層中に破片状 結核状 豆状にギブサイトなどが散在している場合とがある。前者はアフリカ ブラジルなどにあり 後者は太平洋諸島に多く分布している。鉱石鉱物はギブサイトであって ペーマイト ダイアスポアも少量ある。ペーマイトやダイアスポアは古い鉱床で厚い表土



におおわれているものに多い様である。品位はギアナ産のもの分析例で示せば  $Al_2O_3$  61.0  $Fe_2O_3$  2.0  $SiO_2$  3.5 % である。

今までに述べてきたようにボーキサイト鉱床は風化残留鉱床

第10図 オーストラリア Weipa 鉱床の深さと鉱物組成との関係

であるため その化学組成 鉱物組成は均一ではなく上部と原岩に近い下部とは非常に異なる。一般にボーキサイト鉱床の垂直断面を切ると 珪酸塩質岩石を原岩とする場合は第7図で一例を示している様に 上から表土—鉱石—粘土—原岩の順序で変化するのが普通である。これに伴う化学組成の変化を見ると上部数mにアルミニウムが濃集し そのすぐ下に薄い1m前後の鉄分の高い部分がある。さらにその下の粘土帯では鉄もアルミニウムも減少して原岩に続いている。

これをサラワクの鉱床について調べたのが第8図である。この様な変化が原岩との関係でどうなっているかと云うと 上部のアルミニウム濃集帯ではアルミニウム以外の主要元素は全部溶脱されて原岩にくらべて非常に少なくなっている。その下の鉄の多い部分では鉄が最も濃集されており 粘土帯になるとアルミニウム分 鉄分 珪酸分共に原岩中の含有量とそれ程違いはない。この変化の細かい点については 原岩の種類によって異なるが大体珪酸塩質岩石の場合はこの様な関係にあると考えて良い。英領ギアナの鉱床についてこれら元素の原岩中の含有量を1として鉱体中の含有量との比を第9図に示した。 鉱物組成はアルミニウム濃集帯にギブサイトなどのアルミニウム水酸化物が集まり その下に針鉄鉱などの鉄鉱物が多くある事は当然予想されるとおりであってオーストラリアの鉱床の鉱物組成の変化を第10図に掲げる。この結果はサラワクや英領ギアナの鉱床のデータとよく一致する。

原岩が珪酸塩質岩石であっても ボーキサイトがラテライト中に賦存している場合には 鉱床がラテライト層の上部に胚胎される場合が多い様であるが 一般的な規則性はない。従ってラテライトがボーキサイトの上下いずれにあるかによって断面の化学組成は全く異なる。しかしいずれにせよ第11図で見られる様に他の場合とは異った断面を示す。石灰岩に伴うボーキサイトは鉱体

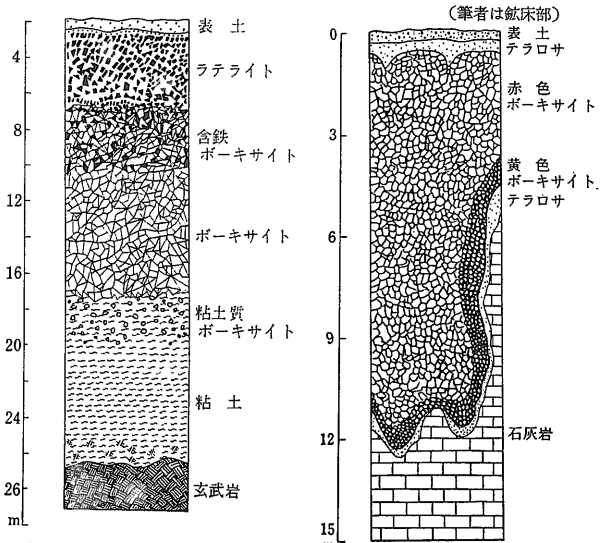
と石灰岩との間にテラロサが挟在している場合とない場合があるが どちらの場合でも珪酸塩質岩石源のボーキサイトに見られた様な原岩との間の連続的な化学組成の移行はなく きわめて不連続的に変化する(第12図)。

以上はボーキサイト鉱床を主として物理的 化学的な立場で分類して説明したが ボーキサイトも他の地質現象と同様に時間的な次元で考える事も無意味ではない。

ボーキサイト鉱床をできた時代によって大きく分ければ 現世または第三紀後期 第三紀ないし中生代 古生代の三種に分けられる。新しい鉱床で地層におおわれていないものは下部にある原岩と地形から現世または第三紀に生成されたものに決定される。熱帯地域では現在ラテライト化作用が進行しているものも認められる。この新しい鉱床は通常台地 準平原 隆起した石灰岩などのゆるやかな斜面などに生成している。この例はインドの Deccan 台地 ジャマイカ マラヤ インドネシア サラワク オーストラリアなどの鉱床である。 鉱石鉱物は多くはギブサイトであるが 石灰岩に伴うジャマイカのものには ベーマイトが混っている。

ボーキサイト鉱床が堆積岩や火山岩におおわれている場合は 地表で鉱床ができた後に沈降して堆積層などにおおわれたと考えられるので 原岩と上の地層の時代の中間の時期に鉱床生成が行なわれたと考える。ただし上部の堆積が行なわれて隆起した後に粘土質層が変質したという可能性がないとはいえない。この例は第三紀又は中世代のものとしてアメリカ Arkansas 州 スリナム 南ヨーロッパの鉱床が挙げられる。 鉱物は大部分ギブサイトかベーマイトである。

最も古い鉱床は古生層中にあるもので アメリカ ソ連 中国などに見られ 鉱物は大部分ダイアスポアであり 多少のベーマイトとカオリンを含んでいる。(つづく)



第11図 インド中部のボーキサイト 鉱床断面図

第12図 ユーゴスラビアのIstria ボーキサイト鉱床 断面図