

加里資源の採掘

現在、利用されている加里資源は、固体の可溶性カリウム塩類鉱物と液体の塩湖鹹水（かんすい）である。その詳細は本 HP の「化学肥料に関する肥料知識」に掲載されている「加里鉱物資源」を参照ください。

本章は加里資源の採掘方法等を紹介するだけで、採掘された加里資源（鉱物、鹹水）から塩化加里等を生産する方法・技術はほかの章に詳しく紹介する。

一、可溶性カリウム固体鉱物の採掘

典型的な加里鉱物はシルビン（sylvine、加里岩塩）とカーナリット（carnallite、光鹵石）等の塩化カリウム鉱物である。なお、シルビンの中に塩化カリウム含有量が非常に高く、ほぼ純粋な塩化カリウムの岩塩はシルバイト（sylvite）と呼ばれる。

これらの塩化カリウム鉱物は可溶性加里固体鉱物資源の 90%以上を占め、カナダサスカチュワン州とその周辺、ロシアとベラルーシ、ドイツに大きな加里鉱脈を形成し、世界塩化加里生産量の 80%以上がこの可溶性塩化カリウム鉱物を原料として生産されている。なお、塩化カリウム鉱物に含まれる塩化カリウムの量は鉱脈の形成条件により 10~90% (K_2O 6.3~56%) とバラツキであるが、採掘およびその後の塩化加里生産コストを考慮して、塩化カリウム含有量が 20% (K_2O 12.6%) 未満の鉱脈は工業価値がないと言われる。

可溶性カリウム固体鉱物の採掘方法は露天採鉱法（露天掘り）、乾式採鉱法（地下採掘法）、溶解採鉱法に大別される。以下はこれらについて簡単に紹介する。

1. 露天採鉱法（Strip mining method）

ターゲットとなる加里鉱脈が地表から浅い位置にし、水理地質・気候・地上建造物などの条件が採掘を妨げない場合に用いられる。まず、表土や被覆地層を除去し、大きな渦をまくような形にして、加里鉱脈の岩層まで地表を削っていく。鉱脈に到着してから、鉱石を機械で掘り出し、精製工場に運ぶ。

1960 年代以降、大型機械の導入により、階段採掘法（ベンチカット法）が主流になってきた。階段採掘法とは岩盤に数段のベンチを作り、クローラドリルと車両系建設機械を組み合わせて鉱石を採掘する方法である。この方法の長所は、

- ① 平地の作業で保安上安全であり、少々の悪天候でも生産は維持できる。
- ② 採掘能率は高く、生産能力の安定化が望める。
- ③ 切羽の選択採掘ができて、品質管理上有利である。
- ④ 各種高能率の建設機械の導入が計られるので、省力化が可能である。

短所としては、

- ① 採掘場の起業費が多額の投資となり、相当長期間の切羽準備を必要とする。
- ② 採掘区域の地形上の制約を受けることがあるなどが考えられる。

同じく採鉱方法の主流の 1 つである乾式採鉱法と比較して低コストでの生産が可能な反面、採掘にかなりの面積を要し、残土の放置にも場所を要することから、環境破壊が問題となりがちである。

地表から鉱脈までの深さが約 100~200m までの制限があり、ごく一部加里鉱山がこの方法で採掘している。写真 1~2 は露天採鉱法で開発されている加里鉱山である。写真 3 は掘り出した鉱石をダンプカーにより輸送する様子である。



写真 1. カナダ Lanigan にある Jansen 加里鉱山

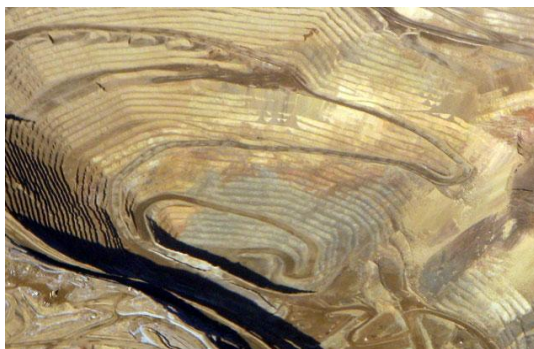


写真 2. アフリカのエリトリアにある Vale 社が開発している Colluli Potash Fertilizer Project



写真 3. ドイツ S+K 社の加里鉱山から採掘した加里鉱物の輸送

2. 乾式採鉱法 (Dry underground mining method)

乾式採鉱法は、一般の鉱山で行われているのと同じように、まず加里鉱物層まで堅坑を掘り、そこから鉱脈層に 100m~350m 長さの長壁切羽（鉱物を切り出す所を切羽という）を設け、支保で天盤を支えながら加里鉱物層に沿って加里鉱物を採掘していく。採掘機械はドラムカッターまたはコンテナスマイナ、パンツァーコンベアー、自転式支保として自走枠の組み合わせがよく用いられている。採掘した鉱石を堅坑まで運び、エレベーターで地面まで上げる。初期コストは高いものの、鉱石の回収率は高く、鉱脈条件がよく大規模な採掘が可能な場合には、生産性の高い採掘法である。

採掘した鉱石は粉碎した後、浮遊選鉱法により塩化カリウムを岩塩やその他の異物から

分離して、製品にする。カナダやロシア産ピンク色の塩化加里はこの方法で生産する。

鉍脈が地面からの深さが 1000m 未満、鉍脈の厚さが 2m 以上の加里鉍山は主にこの方法を採用する。

写真 4～7 は乾式採鉍法現場を撮影したもので、写真 8 は採掘された鉍石の浮遊選鉍の写真である。



写真 4. ドラムカッターでの採鉍
(カナダ Potash Corp)



写真 5. コンテナスマイナでの採鉍
(カナダ Potash Corp)



写真 6. パンツアーコンベアーでの輸送
(カナダ Potash Corp)



写真 7. 採掘した加里鉍物(シルビン)
(カナダ Potash Corp)



写真 8. 加里鉍石の選鉍
(カナダ Potash Corp)

3. 溶解採鉱法 (Solution mining method)

乾式採鉱法は、深さ 1000m を超えたまたは厚さが 2m 以下の鉱脈を採掘するには坑内の作業条件、採掘された鉱石の地上への運搬等が困難になり、採掘コストが急増する。このような場合には溶解採鉱法は多用される。溶解採鉱法は、まず加里鉱脈層まで井戸をボーリングし、パイプを入れて淡水を圧入してカリウム鉱物を溶解させる。そして鉱脈層内に溜まった鹹水をポンプで汲み上げ、蒸発濃縮し、塩化ナトリウムをカーナリットまたはシルビン結晶として析出させ、精製して製品にする。

溶解採鉱法は井戸の本数、淡水と鹹水の流れにより、1 本井戸対流溶解法と複数本の井戸連通溶解法に大別される。

3-1. 1 本井戸対流溶解法 (Single brine well convection method) : 加里鉱脈に届く 1 本の井戸に同心円を持つ 3 重管を設置し、外管から空気または水に相溶けない鉱物油を地下溶穴に注入して、鹹水と溶穴の頂部の間に隔離層を形成する。中間管が溶穴に淡水を注入し、内管は鹹水を吸い上げる構造である。中間管から注入した淡水は比重が軽く、鹹水層の上部に沿って拡散するが、溶穴の頂部との間に空気または鉱物油の隔離層があるため、淡水は溶穴の上部との接触が遮断され、強制に側面へ流れて鉱物を溶解し、横長の溶穴を形成する。鉱物の溶解に伴って淡水が鹹水となり、その比重も次第に増大し、下部に沈降していく。内管から鹹水を吸い上げる。一定の溶穴を形成した後、鉱物油を取り出し、鉱脈の上部を順次に溶解させる。その概略は図 1 に示す。

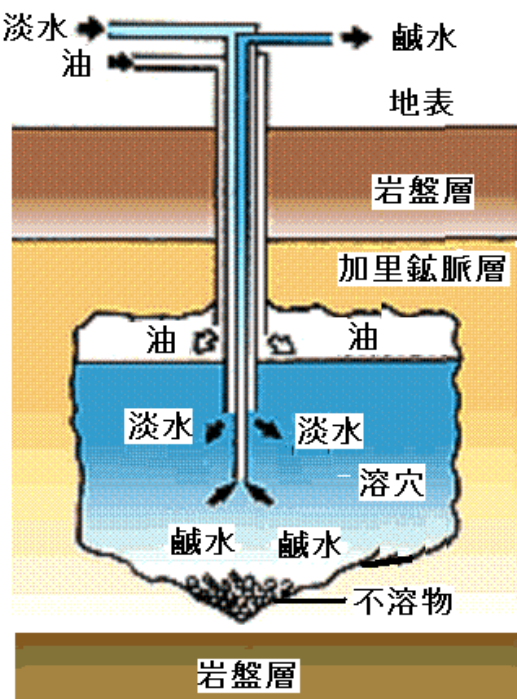


図 1. 1 本井戸対流溶解法の概略図

この方法は初期投資と維持管理コストが少なく済むが、溶解面積に制限があり、吸い

上げられた鹹水の塩類濃度が薄く、採鉱回収率が低く、生産能力が相対に小さい。

3-2. 井戸連通溶解法 (Relative's wells concatenation method)

これは加里鉱脈に2本以上の井戸を約100~150mの間隔を開けて掘り、地下でつながり、1本井戸が溶解した鹹水を吸い上げ、ほかの井戸が淡水を地下に注入し、加里鉱物を溶解させる採鉱方法である。その手順は、まず、2つ以上の井戸を加里鉱脈層までに掘り、井戸を完成してから高圧で水を注入し、水圧破碎という技術で加里鉱脈層に割れ目を作り、井戸の間に通路を形成する。次いで、1本の井戸を抽出井戸、ほかの井戸を注水井戸にして、注水井戸から淡水を注入して、地下通路を経由して抽出井戸へ流れながら周辺の加里鉱物を溶解する。抽出井戸に到達した鹹水はほぼ飽和状態に達し、ポンプにより吸い上げられ、濃縮池に送られる。この溶解採鉱法の概略は図2、鹹水抽出の様子は写真9に示す。

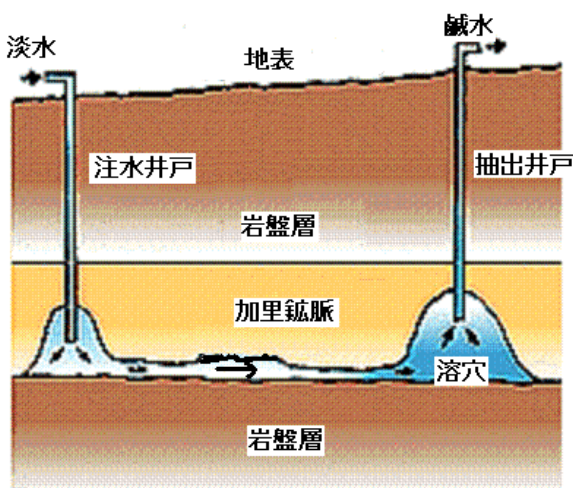


図2. 井戸連通溶解法の概略図



写真9. 溶解採鉱法により抽出された鹹水
(カナダサスカчевン州)

溶解採鉱法の長所は

- ① 物理と化学を統合した採鉱方法で、鉱物から可溶性部分だけを溶解抽出して、不溶の脈石等の異物を地下に残すため、環境破壊や汚染が少ない。
- ② 鉱山の建設から竣工までの期間が短く、初期投資が少なくて済む。
- ③ 採鉱に必要な機械設備が少なく、自動化程度が高く、生産コストが安い。
- ④ 採鉱能率は高く、生産能力は井戸の数と間隔、注入した水の量に依存して、生産の安定化が望める。
- ⑤ 深い鉱脈、薄い鉱脈も採鉱でき、採掘可能量が増える。
- ⑥ 抽出した鹹水は容易に配管でポンプ輸送できる。

短所としては、

- ① 鹹水の濃縮に時間がかかるまたは多量のエネルギーが消費される。
- ② 淡水源の制約を受ける。

③ 塩化加里回収後、廃鹹水の排水処理が問題あるなどが考えられる。

二、 液体カリウム鹹水鉱物の採鉱

中東の死海 (Dead sea)、アメリカのグレートソルト湖 (Great salt lake)、南米ポリビアのウユニ塩湖 (Salar De Uyuni)、中国のチャルカン塩湖 (Qarhan salt lake) とロブノール (Lop Nor) などの塩湖には鹹水中のカリウム濃度が 0.7%以上、多いところは2%もあり、海水のカリウムより 20~30 倍も高い。塩湖鹹水は重要な加里資源である。イスラエルとヨルダン死海から年間 4 百万トン弱の塩化加里を生産し、中国もチャルカン塩湖から年間約 300 万トンの塩化加里を生産している。

塩湖の鹹水も表層鹹水と析出した塩類結晶の隙間に存在する結晶隙間鹹水に分けられる。概して、結晶隙間鹹水は表層鹹水よりカリウム、マグネシウム、ホウ素、ヨウ素等の含有量が高く、利用価値が高い。その鹹水採鉱方法は、鹹水の存在状態により異なり、死海やグレートソルト湖のような湖水がある塩湖は表層鹹水をポンプ移送法、チャルカン塩湖等は表層湖水が非常に浅く、塩殻下に鹹水を存在する塩湖表層に溝を掘り、滲出した結晶隙間鹹水を集める溝採集法、アメリカ Searles 湖の乾塩湖等は井戸を掘って、深層の結晶隙間鹹水を吸い上げる井戸採集法に大別される。

1. ポンプ移送法

塩湖表層に存在する鹹水をポンプで濃縮池に送り、そこで数ヶ月から 1 年以上をかけて数ヶ所の濃縮池を経由して太陽と風で鹹水を濃縮していき、採塩池で析出してきたカーナイトまたはシルビン結晶を採塩船が吸い上げ、或いはブルドーザーやハーベスターで結晶を掻き集め、トラックに載せ、精製工場に送る方法である。詳細は「塩化加里」の章を参照ください。

写真 10~13 はポンプ移送と濃縮、析出した結晶を回収する様子を撮影したものである。



写真 10. 死海からポンプで鹹水を濃縮池に送る。



写真 11. グレートソルト湖の鹹水濃縮池群



写真 12. 死海の南側にある濃縮池群、総面積は 200km² 以上、死海表面積 1/6 を占める。



写真 13. グレートソルト湖の採塩池にハーベスターがカーナリット結晶を集める

2. 溝採集法

塩湖表面を覆う塩の殻を開け、1~3km 間隔で数本溝を掘り、塩結晶の隙間に存在する結晶隙間鹹水を滲出させ、集めてポンプで濃縮池に送り、そこで数ヶ月かけて太陽と風で鹹水を濃縮していき、採塩池に移し、析出してきたカーナイト結晶を採塩船が吸い上げ、精製工場に送る方法である。詳細は「塩化加里」の章を参照ください。塩湖にすでに沈殿した塩類結晶を採集しないのは、それらの結晶は塩 (NaCl) の結晶で、カリウム含有量が少ないからである。

写真 14~15 は中国チャルカン塩湖の結晶隙間鹹水の採集様子を撮影したものである。



写真 14. チャルカン塩湖の鹹水採集溝



写真 15. チャルカン塩湖の鹹水採取溝とポンプ場

3. 井戸採集法

乾涸した塩湖に井戸を掘り、内部に存在している結晶隙間鹹水を滲出させるか、または淡水を注入して、塩類結晶を選択的に溶解した鹹水を吸い上げる。この方法は、過飽和した鹹水が井戸内に結晶として析出し、井戸を塞ぐ等の恐れがあり、定期的に淡水を注入して井戸を洗う等が必要である。

写真 16~19 は Allana potash corp 社がアフリカエチオピアの Danakhil 砂漠にあるアサ

レ湖 (Lake Asele) から井戸採集法により鹹水を採集する様子である。アサレ湖は強い蒸発作用により平常は乾涸塩湖を呈し、雨が降る時しか湖水を現れない。厚さ 30~50cm 乾いた岩塩層の下には塩分の高い鹹水が岩塩結晶の間に染込んだ状態となっている。



写真 16. エチオピア Danakhil 砂漠に井戸を掘る (Allana potash corp 社)。



写真 17. 鹹水井戸。赤パイプは鹹水吸上げ用、青パイプは淡水用 (Danakhil)。



写真 18. 鹹水濃縮池 (Danakhil)。



写真 19. 採塩池 (Danakhil)。

通常、採掘した加里鉍物は精製工場に送り、塩化加里の製造に供する。