

雲南省勐野井カリ塩鉱床の古水文地質について

賈 疏 源¹⁾

成都地質学院水文地質工程地質学部

(1983年1月7日受付)

中国雲南省の西南部にある蘭坪 (Lang-ping), 思茅 (Si-mao) 盆地にはカリ塩を含む塩鉱床と塩泉が多数分布している (Fig. 1). 古生物学的研究によると (賈, 1978), 塩層を含んでいる地層は白亜紀から古第三紀までのものに属する. 盆地の東西両側には哀牢山・元江 (Ailansan・yuanjian) 変成帯と瀾滄江 (Lang zhang jian) 変成帯がのびている. プレートテクトニクスの考え方によれば, これらの変成帯は古いプレートの境界と考えられる. 含塩地層はジュラ紀以来堆積した紅色碎屑岩層の上部に位置している. これらの地層は何回かの造構運動をうけて強く変形し, 塩層が堆積した元の堆積盆の境界はほとんどわからない. それぞれの塩鉱床の境界は断層によって限られており, 又, 塩鉱床は押しつかせ断層によって塩層より古い地層によって覆われていることが多い.

1960年代初め, 思茅盆地の東南部に勐野井 (Mun yei jin) カリ塩鉱床が発見された. 以来多数の地質学者によって研究がおこなわれた. 筆者も又, 古水文地質的立場からこのカリ塩鉱床の成因についての研究を続けてきた. 以下では勐野井カリ塩床の成因の研究を中心にして蘭坪, 思茅盆地の塩湖形成についての従来の考え方や筆者の研究の概要を紹介したい. ただ, 資料の大部分を成都に残して来たため, 詳細にわたる記述ができない点をおことわりしたい.

一. 鉱床成因についての従来の説

1. 陸成堆積説

カリ塩鉱床を胚胎する地層は, 白亜紀から古第三紀の砂岩, シルト, 泥岩からなっている. 塩鉱にともなう炭酸塩層や硫酸塩層は殆んど見られない. 塩層中に大陸起源のシルトや泥質が多量に混入している. これらの点は通常海成塩層とは異なった特徴である. 従ってこのカリ塩鉱床は当初は陸成のもの, 即ち大陸塩湖環境で形成されたものと考えられた.

2. 海成堆積説

しかし, その後の調査によって, 塩層をはさむ上下の地層中に海生動物化石がみつけれられた. 又海緑石を含む地層もみつまっている. 従って地層の一部は海成のものであることが判った. このことは塩層の堆積にも海洋が密接に関係していることを示している.

更に最近の堆積相の研究結果によると, 蘭坪—思茅盆地はジュラ紀以来主として潮汐平野や三角洲の環境にあり (カリ塩研究隊岩相古地理組, 1978), 白亜紀末あるいは古第三紀初めに塩湖になったと考えられている.

蘭坪—思茅盆地の北方, 雲南省中部から四川省にかけて同時代の地層が分布している. この地層中には塩鉱と塩水層が多く含まれている. これらの塩層のなかには芒硝 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) が含まれている (Fig. 1). 例えば四川省成都市付近にも芒硝鉱床がみつまっている. 普通には芒硝を含む塩層は大陸塩湖にできたものと考えられる. しかし, 勐野井鉱床の塩層には芒硝がほとんどみられない. 更に勐野井鉱床の食塩のなかの微量成分である臭素の含有量は海水を蒸発させてできた食塩のものとよく似ている (許, 1978). 従って, この塩鉱床は海水の蒸発濃縮によってできたものと考えられる.

3. 濃縮塩水移動説

海水を蒸発させると, 食塩が沈殿する前に先ず炭酸塩, 次いで硫酸塩が沈殿することが知られている. 従って海水が蒸発して食塩層ができたとなると, 周辺には石膏, 硬石膏層も存在するはずである. しかしながら, 勐野井とその附近は勿論のこと, 蘭坪—思茅盆地全域にわたって, 石膏, 硬石膏層はほとんど見られない. このことは当カリ塩床が単なる海水の蒸発濃縮によってできたとする考え方では説明できない. この矛盾を解決する考えとしてこのカリ塩鉱床の探査に当たっている雲南省十六地質隊の羅克華らは蘭坪—思茅盆地に食塩を堆積させた塩水は, 他の盆地で蒸発濃縮して石膏などを沈殿した

1) 中国政府派遣留学生として1982年4月より岡山大学温泉研究所に留学中

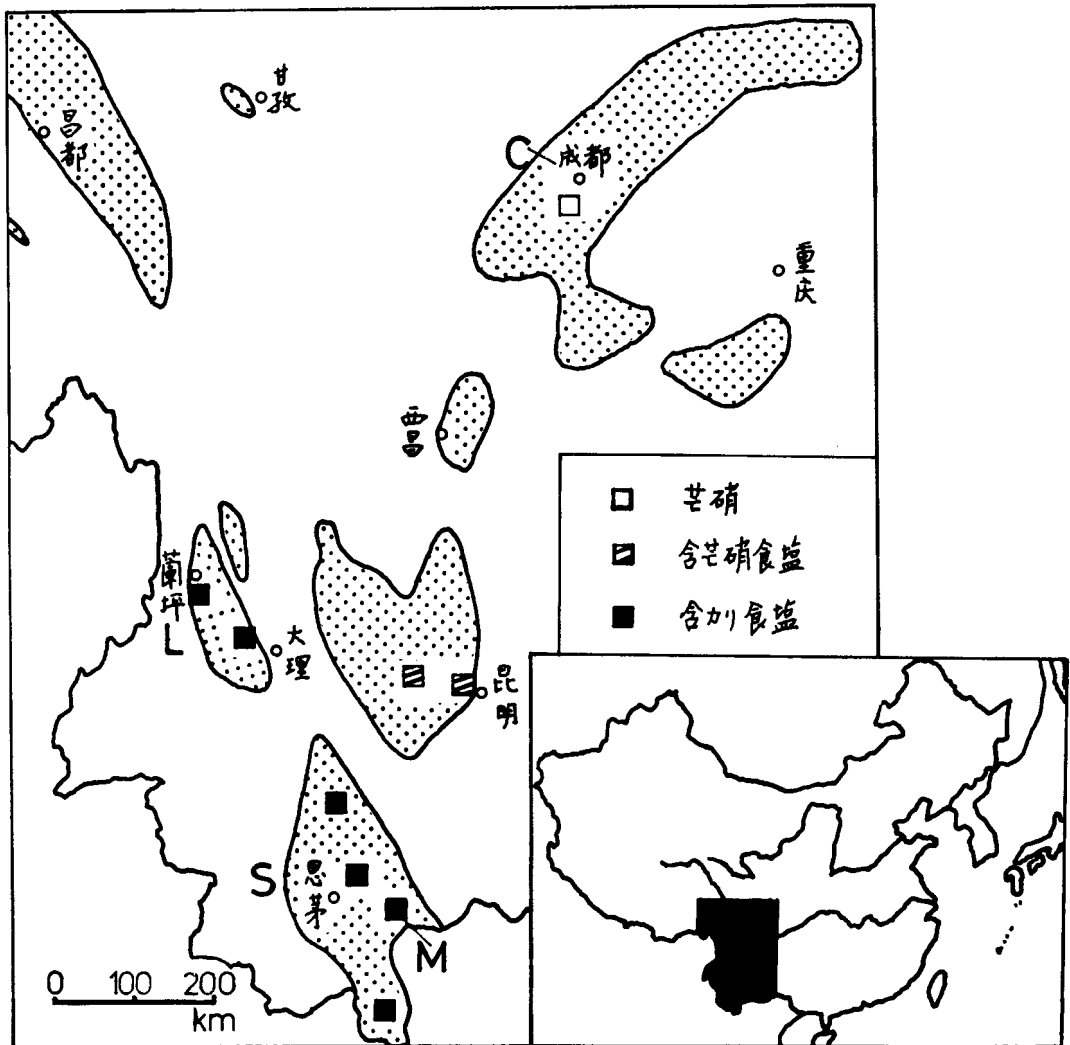


Fig. 1 A map showing Munyeijin (M) salt deposit, and Langpin (L) and Simao (S) basins. Chengdu (C) is also shown : Mirabilite deposit, Mirabilite-bearing salt deposits, Potassium-bearing salt deposits, Dotted areas : Cretaceous to Paleogene formations

後、当盆地に移動してきたものと考えた。このように蒸発濃縮され、塩類を沈殿した濃縮塩水が次から次と移動していく盆地系を“多級盆地”と呼ぶ。しかしながら、この多級盆地がどこに形成されたかについては色々の考えがあり、今の所結論は出されていない。先に述べたように、蘭坪—思茅盆地の北方に存在する塩層は殆んど陸成であり、この多級盆地に含まれたものとは考えられない。

近年、蘭坪—思茅盆地南方のタイとラオスの境界コーラ高原に光ろ石（カーナル石、 $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ ）

鉱床が発見された。勐野井鉱床とコーラ鉱床は胚胎する地層の特徴と時代がほとんど同じであり、成因的にも密切な関係があると考えられる。従って、コーラ高原が蘭坪—思茅盆地と共に多級盆地を形成した可能性がある。

4. 深部塩水起源の説

ところが、最近、曲一華ら（1978）は勐野井とコーラ鉱床の鉱物組成を研究し、両者にタクハイドライト（中国名：溢晶石（yijin se） $CaCl_2 \cdot 2MgCl_2 \cdot 12H_2O$ ）

を発見した。海水の蒸発濃縮によって形成される塩水は最終的にはマグネシウム、カリウムに富んだものとなり、カルシウムの残留量は極めて少ない。曲一華は、先に述べた多級盆地のような考え方ではこれらの鉱床に発見された多量のタクハイドライトを沈殿させることは不可能であると指摘した。彼は Ca-Cl 型の塩水が地下水として移動し、塩湖に流入し蒸発濃縮されてタクハイドライトを生成したのであろうと考えている。

二. 古水文地質の仕事について

1. 古水地質分析のための地質観察

筆者は孫世雄、帥開業らと共に1977~1981年までの約5年間にわたり、当カリ塩の古水文地質学的研究に従事した。

勐野井カリ塩鉱床は侵食されているが岩塩ドーム状の構造を持っている。塩層は褶曲運動によって激しく変形している。第4坑道で観察される各種塩層の様子を Fig. 2 に示した。ここで赤塩、黒白塩、光ろ石(カーナル石)粘土層などについてはすぐ後に説明する。第4坑道第3樋で発見した火山凝灰岩層を鍵層にして、塩層の元の堆積順序と明らかにしたものが Fig. 3 である。二つの図を比較すると判るように第4坑道に露出した塩層には塩類の二つの堆積サイクルがみとめられる。凝灰岩層は上下サイクルの間に挟まれている。下のサイクルは下から

順に赤塩、黒白塩、さらに有機物を含んだ光ろ石粘土岩層の三つの塩層に分かれている。カリ塩鉱石はこれら三つの塩層に含まれているが、主要な工業カリ塩鉱石は黒色と白色の食塩層の薄層が互層をなす“黒白塩”層に含まれている。カリ塩の品位が高い部分は黒っぽい色を呈するため、“黒カリ”といわれている。赤塩層は多数の赤色のシルト質礫などを含んでいるので“赤塩”と呼ばれる。赤塩層の中でカリ塩を含んでいる部分は緑色と赤色が混って雑色を呈するので“雑カリ”といわれている。タクハイドライト粘土岩は脈状のカリ塩を含み、黒っぽい緑色を呈するので“緑カリ”と呼ぶ。黒白塩の黒色部分には炭酸塩や石膏が多い。炭酸塩は微粒として分散して存在するが、石膏は薄層として存在するものも認められる。

地下水と岩石の相互反応を示す形跡は孫世雄らによって地下水活動形跡と呼ばれている。勐野井カリ塩床の形成に関係した各種の地下水活動の様子を知るために、我々はいろいろな活動形跡を観察した。主要なものを次に紹介する。

① 二次的食塩脈。塩脈はほとんど地層の層面に平行しているが、あるところでは塩脈が分岐したり、層面に斜交したりしている。また塩層の褶曲にもとづいて変形している。塩脈の臭素の含有量はその周辺の塩の臭素含有量より高い。これらのことから、この塩脈は塩層の堆積したあとで出来たものであり、活動していた塩水は元

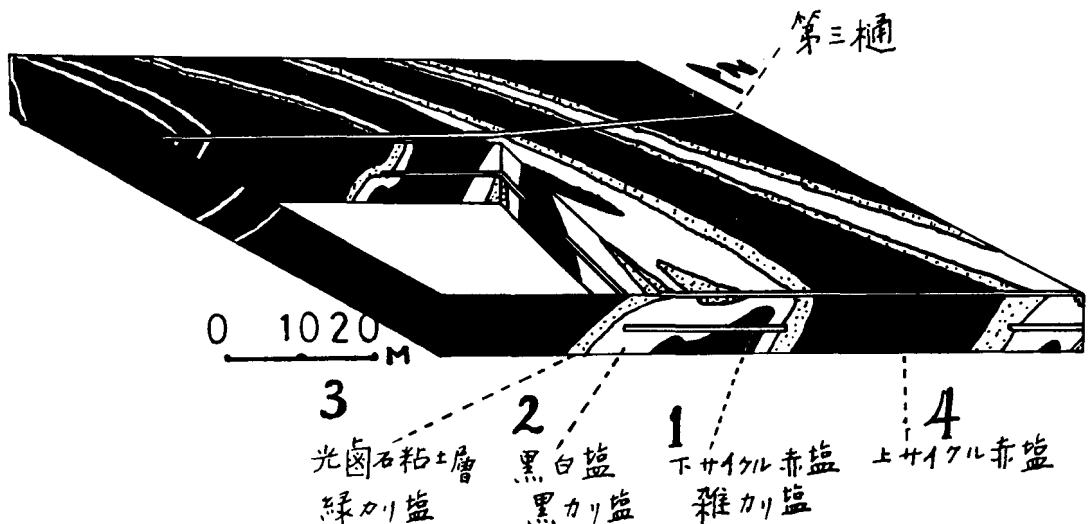


Fig. 2 Schematic view of the Munyeijin salt deposit at the fourth shaft

- 1. Red salts 2. Black-white salts 3. Carnallite-bearing clay deposits
- 4. Red salts of the younger cycle

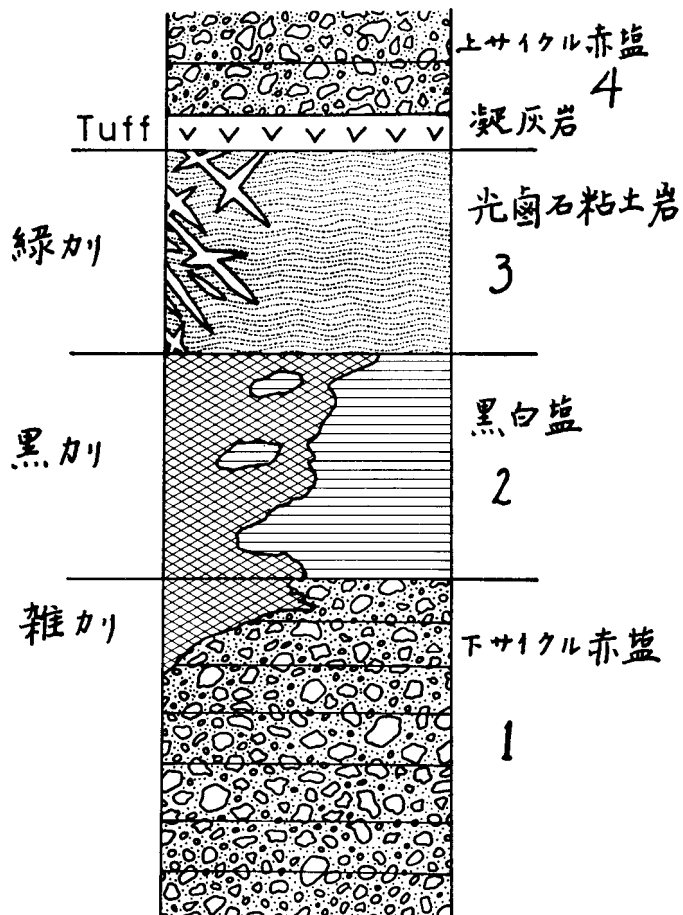


Fig. 3 Reconstructed sequence of salt deposition of one cycle at the fourth shaft of the Munyeijin deposit (see Fig. 2)

1. Red salts, 2. Black-white salts, 3. Carnallite-bearing clay deposits, 4. Red salts of the next cycle. Note the volcanic tuff between stages 3 and 4.

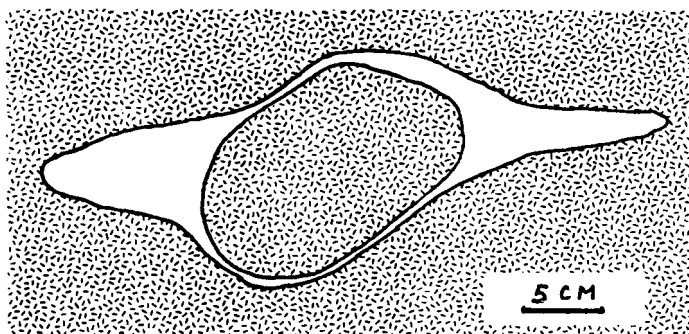


Fig. 4 A sketch showing recrystallized salt around a silt debris in the red salts. The recrystallization was caused by water squeezed out of the debris by compression of the salt beds.

の塩湖水、即ち周辺の食塩を沈殿した塩水より含塩量が高かったことが推定される。

② 眼球状構造。赤塩層中のシルト質礫は白色の食塩結晶に包まれ、眼球のような形をもっている (Fig. 4)、白い食塩結晶体が礫の表面に垂直に成長している様子が観察される。眼球構造はすべて層面に平行して並んでいる。従って、礫の表面の白色食塩結晶体は塩層が続成作用を受けたとき、シルト質礫からしぼり出された水が周辺の食塩に作用してこれを再結晶させたものと推定される。

③ 充てん交代カリ塩。“黒カリ”塩を顕微鏡で見ると食塩結晶体あるいは食塩顆粒の間にカリ塩が充てんしたり、交代したりして、不規則液滴状、脈状、網状あるいは残余砂礫状の組織を示す。これらの産状からカリ塩はカリウムを含んでいる塩水が食塩の間にしみこんできたものと推定される。

“黒カリ”中の食塩の臭素含有量は海水の濃縮実験によって得られる食塩のものに似ているが、カリ塩の臭素含有量は海水濃縮で光ろ石が晶出するときのカリ塩中の含有量と似ているものが多い。

④ 交代食塩残余体。Fig. 5は“黒カリ”中によく見られる団塊状の岩塩包有体を示す。包有された岩塩体は“黒白塩”で、褶曲した層理がみえるが、その周囲の黒カリ中には層理がほとんど見えない。従って、この食塩残余体は元の塩層がカリウムを含んでいる塩水の充てん、交代作用を受けた際に取り残された部分だと推定される。

⑤ カリ塩脈。“緑カリ”層中には巾5~20mmのカリ塩脈が共役状、雁行状、或いは不規則な脈状に発達しているのが一般に観察され、カリ塩脈にはさまれた粘土質礫は擦痕を示し、カリ塩脈はその擦痕の上に発達している。塩層に割目ができるのは塩層が続成作用を受けて、自由水がほとんど絞り出されてしまった後のはずである。カリ塩を沈殿した塩水の起源は粘土の吸着水あるいは光ろ石の結晶水と考えられる。脈状カリ塩の臭素含有量は“黒カリ”のものよりかなり低いので、塩層割目の形成にもなってできた水がその周囲の光ろ石を溶解して塩水を生成したものと推定される。このようなカリ塩脈は、“黒カリ”と“雑カリ”中にも見られる。Fig. 6は“雑カリ”中で観察されたカリ塩脈と層面の関係をスケッチしたものである。カリ塩脈が発達するところは塩層中カリウムの含有量も著しく増加している。

⑥ “黒白塩”中の硬石膏の定方向配列。顕微鏡で観察すると、硬石膏は同一方向に並び (Fig. 7)、その方向は黒白塩層の層理方向と斜交していることが判る。このことから硬石膏は造構運動のとき石膏が脱水してでき

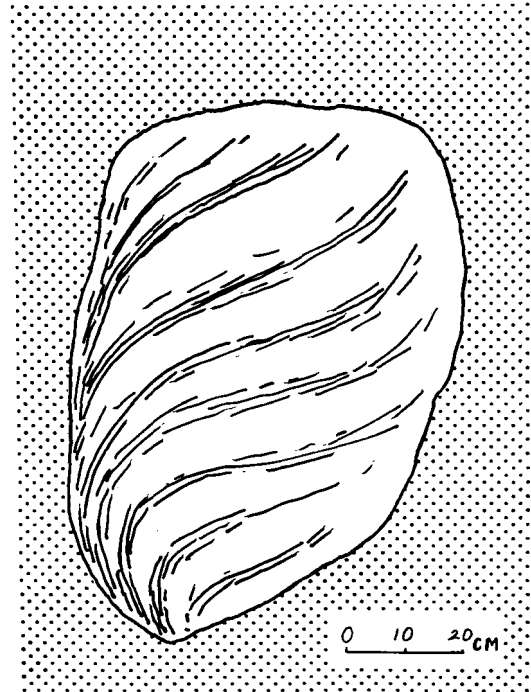


Fig. 5 A sketch showing a massive residue of the black-white salts in "Kurokari" bed. The massive salt residue is a mass of the black-white salts remained unreacted but slightly deformed when the latter was converted to "Kurokari" (black potassium salt) by potassium-rich brines in the tectonic stage.

たものと推定される。

2. 鉱床形成の時代と温度について

袁海華 (1980) は K-Ar 法により当鉱床の“黒カリ”の年令を2500万年、カリ塩脈の年令を1300万年と測定した。

カリ塩の液体包有体の充填温度がデクレピテーション法によって測定されている (帥, 1979)。この結果によると一部のカリ塩の形成温度は150°Cから210°Cまでと考えられる。その他、塩層の中に双晶石英、ハイドロタルサイト $[MgAl_2(OH)_{16} \cdot CO_3 \cdot 4H_2O]$?, 含硫硅磷灰石、鏡鉄鉱、磁鉄鉱などの鉱物が見つけられている (成都地質学院カリ塩研究隊, 1979)。これらの鉱物の形成温度は上述の充填温度と矛盾しない。

従って、カリ塩の形成時代は胚胎する地層 (白亜紀末~古第三紀初め) より新しく、形成の環境は常温、常圧ではなくて、地下のより高い温度、圧力の環境だったと推定される。

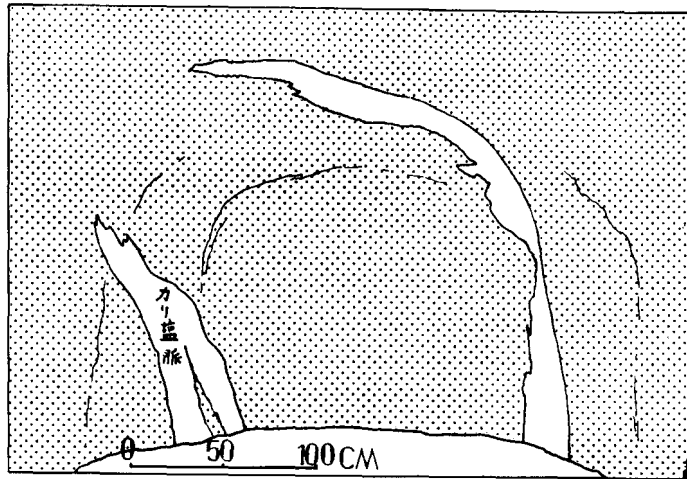


Fig. 6 Veins of potassium salt formed by the brines that flew through fissures during the tectonic stage.

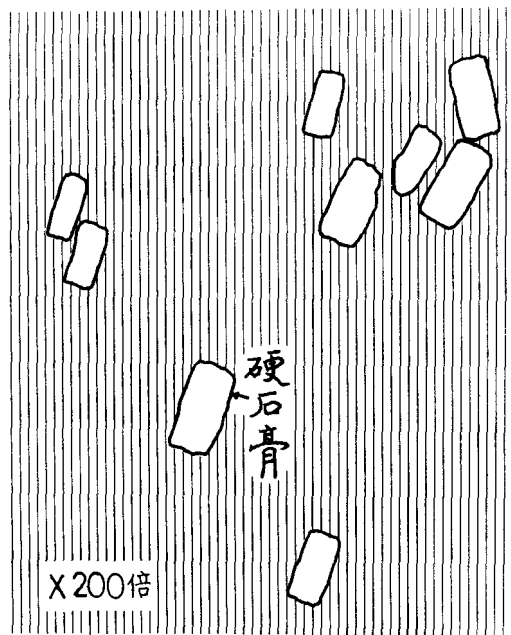


Fig. 7 Anhydrite crystals in sodium salts viewed under a microscope. Note that the anhydrite crystals are not aligned to the plane of salt beds.

3. 各段階における地下水の活動様式の推定

塩類堆積から現在に至るカリ塩の形成過程は次の四つの段階に分けられる。

① 堆積段階．光ろ石粘土層は塩湖が蒸発によって乾

燥する直前に堆積したもので、晶間残留塩水から晶出した光ろ石、食塩など塩類結晶が粘土質物質と共に堆積したものである。このような時期を堆積段階と云う。この堆積物は光ろ石、食塩、粘土、有機物などの他に、臭素含有量が高く、光ろ石で飽和した塩水を間隙水として含んでいた。堆積層の中には体積80%以上の水が含まれることがある。このような塩層は次に述べるようにそのあとにできたカリ塩鉱床の鉱液を供給した層と考えられる。

② 続成段階．光ろ石粘土層は堆積した後、更に新しい塩層に覆われ、その静岩圧の作用で間隙率が減少し、間隙塩水が絞り出される。光ろ石粘土層の下部にある食塩層は食塩の結晶が相互に支えあっているため、間隙率の減少はより少ない。このため光ろ石粘土層から絞り出された塩水は食塩層にしみ込んでいく。この塩水は粘土層の中では光ろ石と塩化カリウムによって飽和しているが、下部の食塩層には KCl が含まれていないため、塩水から KCl が晶出する。このカリ塩の臭素含有量は光ろ石が塩水から結晶するときのものによく似ている。塩水のなかには有機物が多量に含まれているため (Table 1)、沈殿したカリ塩は黒色を呈する。又このような塩水が赤塩に入ると、還元能力をもっているため、赤塩中の Fe^{3+} イオンを Fe^{2+} イオンに還元して、塩層の色は赤色から緑色に変化する。“黑白塩”はこのような塩水が最もしみこみ易いので、“黑白塩”層は“黒カリ”塩に最も変化し易いはずである。勿論、このような作用の進行は長い地質年代の間になされる。

Table 1 The contents of organic materials in various zones of Munyeijin potassium deposits.

サンプル番号	名称	有機物質含有量% ¹⁾
1	池の底泥	4.61
2	成都粘土	0.95
21	緑カリ	1.20
32	"	2.73
30	"	1.42
25	"	1.95
35	"	2.55
27	赤塩	0.56

賈疏源 (1980)

1) 范文稻測定

③ 造構運動段階、塩層の続成作用は造構運動がはじまっても続いて進行する。けれども造構運動段階になると、静岩圧のかわりに造構応力が作用し、これに応じて塩水の流れの方向は変る。一般に地層中の水は節理や割れ目の発達するところ、あるいは断層破砕帯へ移動し、向斜軸から背斜軸へ移動する。勿論、塩水が集まる所には新しい塩類が生成することが多い。図2に示したように塩層の形は押しかぶせ褶曲構造になっているが、鉱石は主に褶曲軸に産出し、その品位も褶曲軸で高くなる。さらに、褶曲軸に産する赤塩は鉱化作用を還元作用によって緑カリのように変化している。しかし、この緑カリ状の塩層中の礫を割ってみると、表面は緑色でも、内部には赤色の部分があるまま残っていることがわかる。

造構応力場では最初に臭素含有量が高い自由塩水（間隙水）が光ろ石粘土層から絞り出され、上述の如く下部含塩層中にカリ塩を形成する。続いて同一粘土層から粘

土鉱物の吸着水や鉱物の結晶水が絞り出されて、自由水になる。この自由水は容易に周囲の光ろ石を溶解し、光ろ石で飽和した、つまり K^+ と Mg^{2+} の濃度の高い塩水になる。この二次塩水もカリ塩を結晶させつつ、食塩層の中を移動して行くが、二次塩水中の臭素の供給源は光ろ石中に含まれていたものだけなので、これから晶出したカリ塩の臭素含有量は堆積段階に取り込まれた自由塩水（間隙水）から晶出した塩中のものより低い。又、造構運動とともなって地熱活動も強くなるため、地下水も熱水に変っていたはずである。このような塩水が塩層以外の地層に入ると、塩水中の Mg^{2+} が岩石と反応して地層中に Mg を含む鉱物が生成される。勐野井鉱床東側の押しかぶせ断層の破砕帯がほとんど菱苦土石 ($MgCO_3$) と苦灰石 ($CaMg(CO_3)_2$) でセメンテーションされているのは、こうした過程によるものと考えられる。(Fig. 8)

勐野井カリ塩鉱床は、このような長い期間にわたり、地下塩水と各種塩層との相互作用によってできたものと考えている。

三. 考 察

1. カリ塩鉱床探査への応用

以上に述べた古地下水活動の特徴からも判るように、勐野井型のカリ塩鉱床を探査するとき、溶け残った光ろ石粘土層やカリ塩に鉱化された岩塩層あるいは菱苦土石、苦灰石化した岩石の存在はカリ塩鉱床探査の重要な手掛りとなる。

勐野井鉱床周辺には重金属鉱化点がたくさん発見されている。その鉱化作用は塩層中に流れた塩水と関係があると思われる。蘭坪一思茅盆地内で発見された重金属鉱化現象とカリ塩鉱床を総合的に研究し、それらに關与し

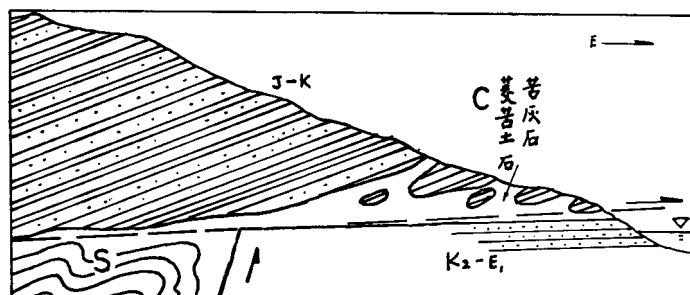


Fig. 8 A schematic cross section showing thrust fault and salt beds (S). The Jurassic and Cretaceous formations overlie the younger salt deposits and formations. The fault zone is cemented by dolomite and magnesite (C).

た古地下水の性質やその運動の特徴を推定することができれば、塩類鉱床あるいは重金属鉱床の探査に役立つと考えられる。

2. 塩水の起源

勐野井鉱床の中にタクハイドライトが出ることは塩湖の中のカルシウムの含有量が硫酸根より大きいことを示している。鳥居鉄也ら(1965)は南極のドン・ファン塩湖で南極石を発見した。勿論、この塩湖水は多量のカルシウムを含んでいる。もし、塩湖水の起源が海水であったとすると、多量のカルシウムを含む塩湖水が形成されるためには、第一に蒸発濃縮の気温が非常に低いことが必要である。これは低温下における海水の蒸発濃縮によると石膏の代りに芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)が沈殿し、残液中に Ca^{2+} と Cl^- が濃縮されるためである。光ろ石粘土層に含まれる花粉や胞化石は塩層の形成が亜熱帯気候下で行なわれたことを示している。コーラ高原の当時の気候も同様であったろうと考えられる。従って、これらの地域においては当時 CaCl_2 を濃縮した塩水を海水より作るような寒冷乾燥気候は存在しなかった。従って、タクハイドライトの起源は海水以外の塩水に求める必要がある。

Table 2 は四川省の三疊系、ジュラ系に含まれている地下塩水の化学組成である。震旦系や白亜紀の地層にも似たような塩水が発見されている。これらの塩水は、四

川省においては現在も蒸発濃縮して食塩を採取するのに用いられる。残液は胆水と呼ばれ CaCl_2 に富んでいて豆腐の製造に用いられる。このような塩水が塩湖に多量に注ぎ込み、蒸発濃縮されてタクハイドライトが生成されたと考えることができるかもしれない。このような CaCl_2 に富んだ塩水の起源は興味ある問題である。日本でも酒井ら(1978)が有馬型塩水と呼んでいる構造線に沿う地域で湧出する塩水は硫酸根を殆んど含まない Na-Ca-Cl 型地下水である (Table 3)。その起源については未だよく判っていない。

3. 火山岩との関係

勐野井鉱床の塩層中には凝灰岩が含まれていることは既に述べた。鉱床から東に20 km ほど離れた地点の地表露頭およびボーリングコア中にも、塩類鉱物が溶けてしまった残余層に挟まれて、幾層かの火山砕屑層と薄層のドロマイト、石膏・硬石膏層が見つっている。火山砕屑岩のなかには魚卵状緑泥石と末知の立方体形の結晶が含まれている。また苦灰石の中には団粒状のフリントが含まれているのが観察された。更に硬石膏層中には電気石の完晶が僅かながら見られる。これらの現象は火山活動と塩層の形成が密接に関係していることを示唆する。

火山活動とそれに伴う地熱活動によって、勐野井区域にも熱水活動が生じたかどうか、若し熱水系ができたとすると、それはどんな熱水系であって、塩層の形成や

Table 2 The composition of brines in salt-bearing formations of Sichuan Province. The top is from Jurassic and the other two from Triassic formations.

塩 層			化学組成 (mg/l)						
地 層	時 代	深 さ	温 度	PH	Eh(mv)	Na+K	Ca	Mg	Cl
下沙溪庙砂岩	ジュラ紀末	600M	30.4°C	7.0	122	33940	5232	270	63630
蓮花岩砂岩	三疊紀末	450M	28.6°C	7.1	192	31660	3841	422	59310
嘉陵江石灰岩	三疊紀中	1000M	43.0°C	7.2	-180	59570	6162	405	104000

化 学 組 成 (mg/l)								化学型
HCO_3	Ba	Sr	I	Br	Li	NH_4	B	
7.18	1715	272	7.35	271	5.44	7.01	2.88	Cl-Na-Ca
63.4	1796	258	8.41	489	11.4	32.9	32.59	Cl-Na-Ca
7.20	18.7	173	17.50	668	11.0	72.1	89.0	Cl-Na-Ca

成都地院水化組 (1974)

Table 3 The chemical and isotopic compositions of Arima-type springwaters of Japan.

温泉水	同位体比				主要元素化学組成						
	H ₂ O‰		SO ₄ ‰		Cl ⁻ (meq.)	Na Cl	K Cl	Ca Cl	Mg Cl	SO ₄ Cl	HCO ₃ Cl
	δ18O	δD	δ34S	δ18O		(meq. ratio)					
有馬 兵庫県 ¹⁾	+6.5	-27.8	—	—	1090	.745	.092	.166	.004	.000	—
矢立 秋田県 ¹⁾	-1.8	-39.7	—	—	222.8	-1.150-		.010	.003	.005	.159
八塩 群馬県 ²⁾	+6.0	-20.6	+28.9	+16.6	414.6	1.105	.064	.059	.095	.075	.227

1) MATSUBAYA et al. (1973)

2) 松葉谷他 (1974)

重金属鉱化作用に対してどんな役割を果たしたか、今後の興味ある研究課題である。

四. 謝 辞

本稿は当研究所地質部門のセミナーでの講演に手を加えたものです。セミナーの機会を与えて下さった地質部門の院生諸君に感謝致します。原稿の作成を援助して下さい酒井均教授と柳沢文孝氏に深謝します。

文 献

成都地質院水文工程地質系水文地球化学組 (1974), 四川盆地五通橋地区深層高礦化水某些水文地球化学問題的研究. 水文地質工程地質, 1974, 1号, 17-30.

成都地質学院鉀塩研究隊 (1979), 对雲南江城勐野井鉀塩礦床成因的幾点認識, 未刊.

賈疏源 (1980) 勐野井“綠鉀”形成的古水文地質条件, 雲南思茅地区鉀塩地質研究論文集.

曲一華ら (1978), 泰国鉀塩地質考查報告, 赴泰国考查組報告.

MATSUBAYA, O., SAKAI, H., KUSACHI, I. and SATAKE, H. (1973), Hydrogen and Oxygen isotopic ratios and major element chemistry of Japanese thermal water systems. *Geochem. J.* 7, 153-165.

松葉谷 治, 酒井 均, 鶴巻道二 (1974), 有馬地域の温泉, 鉀泉の水素と酸素の同位体について, 岡大温研報, No. 43, 15-28.

鉀塩研究隊岩相古地理組 (1978), 雲南勐腊地区侏羅—下第三系沈積環境初步分析, 鉀塩地質科技, 1978.1.

酒井 均, 大木靖衛 (1976), 日本の温泉, 科学, Vol. 48, No. 1, 41-52.

帥 開業 (1979), 思茅盆地鉀塩礦液包有体測温初探, 鉀

塩地質科技, 1979.2.

TORII, T. and OSSAKA, J. (1965), Antarcticite: A new mineral, calcium chloride hexahydrate, discovered in Antarctica. *Science*, 149, 975-977.

許 效松 (1978). 雲南勐野井鉀塩礦床中 Br, Li, 炭酸塩賦存特征, 分布規律及找鉀意義, 鉀塩地質科技, 1978. 3.

袁 品泉 (1978), 雲南思茅盆地含塩地層有關問題, 鉀塩地質科技, 1978.1.

袁 海華 (1980), K-Ar 法確定某些沈積礦產的形成時代 (摘要) 成都地院論文集編, 1980.8.

ON THE MUNYEIJIN POTASSIUM SALT DEPOSITS IN YUNNAN PROVINCE, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Jia SHUYUAN

Department of Hydrology and Engineering Geology, Geology Institute of Chengdu, Sichuan Province

Abstract In Langping-Simao basins of Southwestern Yunnan Province, a number of salt deposits and salt springs are distributed (Fig. 1). The salt-bearing formations are sandstones, silt and mudstones of the Cretaceous to Paleogene ages, although the ages of the potassium-salts deposits seem to be younger. The Munyeijin potassium deposit was found on the eastern side of the Simao basin in early nineteen sixties. Although the salt

deposit has been strongly deformed by tectonic movements (Fig. 2), the deposit has salt-dome structure and three depositional stages have been identified in each cycle of depositional sequence. They are, from the bottom to the top, red salts, black and white salts and carnallite-bearing clayey rocks (see Fig. 3). The red colour of the bottom zone is due to globular debris of silt in the red salts, whereas the top clayey rocks are high in organic materials, being characteristic of the residue of the last stage evaporation of a salt lake. Potassium salt is found in all the three zones, filling up the grain gaps of sodium chloride crystals or running through salt beds in veins and veinlets, although the black-white salts are the most fertile in potassium and have been mined for commercial use. Small amounts of carbonates and sulfates (gypsum and anhydrite) also exist as fine, dispersed grains. Thin layers of gypsum are not uncommon in dark portions of the red and black-white salts. Tachhydrite ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) is also observed in the top clayey deposits.

From the field observation, geological, mineralogical, and geochemical considerations, the paleohydrogeological environments which led to the formation of potassium-rich salt deposits at Munyejin are reconstructed as follows:

1) The depositional stage of the carnallite-bearing sediments: This is the last stage of evaporation of a salt lake. The sediments would have had up to 80 vol. % interstitial waters saturated with carnallite and sylvite.

2) Diagenetic stage: The carnallite-clay deposits were covered by younger salt deposits and

the pore water was gradually squeezed out by compression. The pore water penetrated into the underlying sodium chloride deposits, where the pore water precipitated sylvite as the sodium salts were essentially devoid of potassium. Because the pore water contained organic materials (Table 2), the sylvite precipitates were dark in colour.

3) Tectonic stage: The Langping and Simao basins are lined along the Sanjian tectonic belts. The tectonic activity which presumably started in Eocene must be responsible for the intense deformation of the salt beds. Enrichment of potassium along the axis of folding and the anhydrite formation with the axis of crystallization tilted to the plane of salt beds are some of the important paleohydrogeological results of such movements. Several lines of evidence strongly suggest that hydrothermal activity took place widely in Munyejin basin during this stage.

The origin of the potassium-bearing brines has been debated in China since the discovery of the deposits. Many lines of evidence suggest it be of marine origin. However, the presence of tachhydrite in the carnallite-bearing clayey deposits requires some additional source(s) of calcium in addition to seawater. The highly saline groundwaters in Triassic through Jurassic formations of Sichuan Province often are rich in Ca^{2+} as well as Mg^{2+} and K^+ as some examples are shown in Table 3. If such saline ground waters flew into a salt lake and was subjected to evaporation, calcium-bearing salts such as tachhydrite may form at the last stage deposit of the lake. The origin of such groundwaters is an interesting problem to be studied in future.