

原著論文

長野県東部のパイロフィライト鉱床：余地および信陽鉱床の鉱化年代

佐藤興平

産業技術総合研究所  
〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2

**要旨：**日本は世界最大級のパイロフィライト生産国であり、珪長質火成活動に伴う浅熱水鉱床から多量の鉱石を産出してきた。日本のパイロフィライト鉱床は、形成された時代によって、中国地方に分布する白亜紀の鉱床と長野県東部などに分布する新生代の鉱床に2大別される。長野県東部の鉱床は、白亜紀の大鉱床に比べれば規模がやや小さいが、近年まで農薬キャリアー用などに盛んに採掘されてきた。それらの鉱床の鉱化年代が不明だったので、生産量の多い代表的な2鉱床につき、鉱化変質で形成された石英-絹雲母岩の全岩K-Ar年代を測定した。その結果、南佐久郡の余地鉱床については $10.9 \pm 0.5$  Ma、小県郡の信陽鉱床については $8.5 \pm 0.4$  Maの年代が得られた。周辺の地質と合わせ考えると、これらの鉱床は中期中新世末-後期中新世の珪長質マグマの浅所貫入活動に起因する酸性熱水活動で形成されたと考えられる。

**キーワード：**パイロフィライト鉱床、余地、信陽、長野県、石英-絹雲母岩、K-Ar年代、中新世、珪長質火成活動、酸性熱水変質、蠟石、富岡層群

Pyrophyllite deposits in the eastern Nagano Prefecture, central Japan:  
Mineralization ages of the Yoji and Shinyo deposits

SATO Kohei

*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
AIST Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan*

**Abstract:** Japan is one of the largest producers of pyrophyllite ores in the world. Pyrophyllite deposits in Japan were formed in relation to felsic magmatism. They are divided into two age groups: Cretaceous deposits distributed mainly in the Chugoku district, western Japan, and Neogene deposits distributed mainly in eastern Nagano Prefecture, central Japan. Detailed age of mineralization of the Neogene deposits has not been determined. The representative two deposits in eastern Nagano Prefecture were examined by the whole-rock K-Ar dating for hydrothermally altered rocks composed essentially of quartz and sericite. The age dating yielded  $10.9 \pm 0.5$  Ma for the Yoji deposit in Saku of Minami-saku, and  $8.5 \pm 0.4$  Ma for the Shinyo deposit in Sanada of Ogata. These deposits may have been formed by acid hydrothermal activities caused by shallow-level intrusions in the late Middle Miocene to Late Miocene.

**Key Words:** Pyrophyllite deposit, Yoji, Shinyo, Nagano, quartz-sericite rock, K-Ar age, Miocene, felsic magmatism, acid hydrothermal alteration, Tomioka Group

## 1. はじめに

パイロフィライトはわが国の重要な非金属鉱物資源のひとつであり、耐火物や陶磁器の原料だけでなく、紙の充填材や農業のキャリアーなどとして多方面で使われてきた(例えば、地質調査所, 1950; Fujii, 1983). 日本は世界でも最大級のパイロフィライト生産国であり、例えば1990年には世界のパイロフィライト鉱石の半分以上を産出したという記録をもつ(註1). 鉱石の主要な産地は中国地方に分布する白亜紀の鉱床と長野県東部などに分布する新生代の鉱床に2大別される(Geological Survey of Japan, 1976; 佐藤ほか, 1994). 長野県東部のパイロフィライト鉱床は、地質学的な背景から新第三紀のものであることは分かっていたが、詳しい形

成時期は不明であった. そこで、この地域で採掘中もしくは休山中の代表的な鉱床として南佐久郡佐久町の余地鉱床と小県郡真田町の信陽鉱床をとりあげ(註2), 鉱化の時期を明らかにすることにした. このため、鉱床の一部から鉱化変質で形成された石英-絹雲母岩を採取し、全岩K-Ar年代を測定して鉱化年代を決定した. 本稿では、その結果を報告するとともに、関連する今後の課題について考えてみたい.

なお、蠟石鉱床はもともと葉蠟石(パイロフィライト)を主とする鉱床を意味していたが、近年は絹雲母を主とする鉱床も含める例が多くなっているため、佐藤ほか(1994)と同様に、ここではパイロフィライト鉱床という用語を用いる.

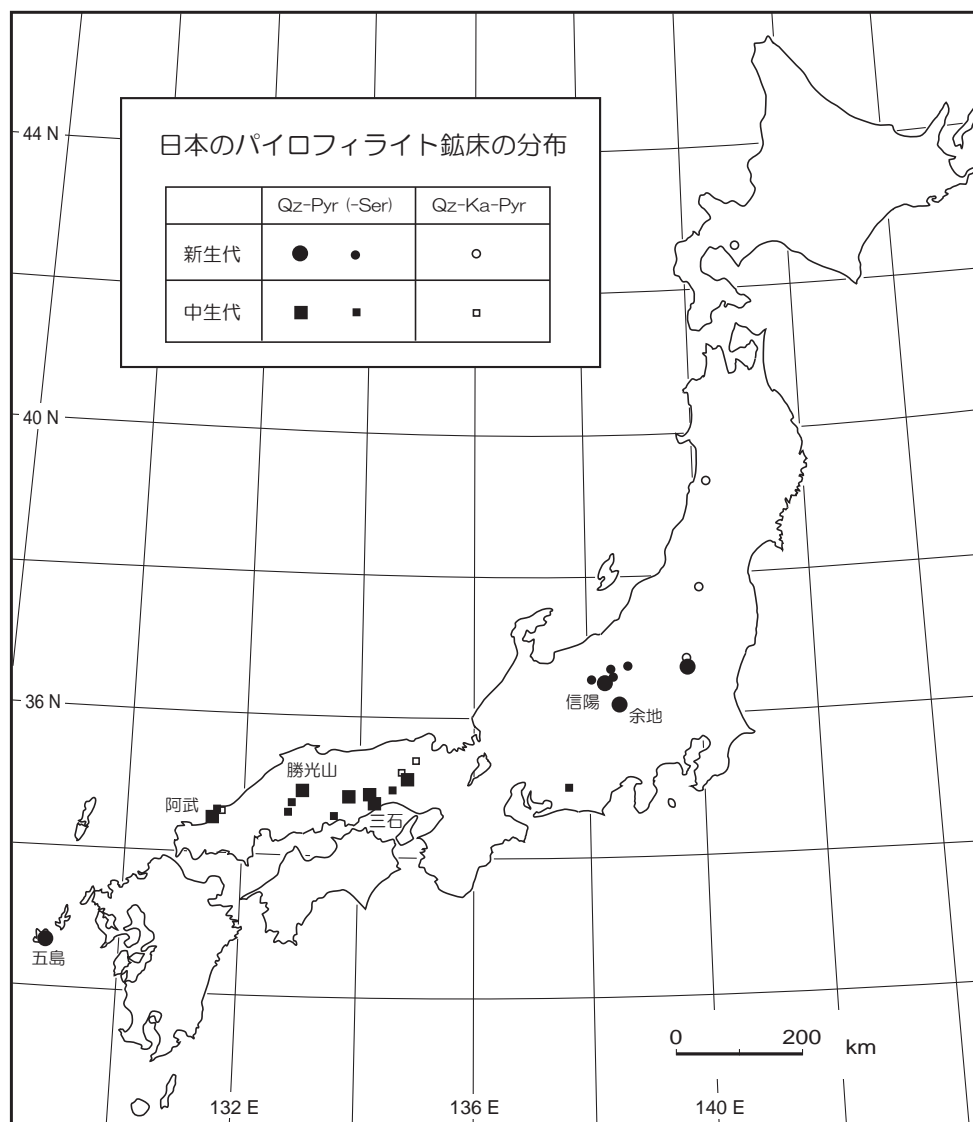


図1 日本のパイロフィライト鉱床の分布.

Geological Survey of Japan (1976)から編纂. パイロフィライトを産する鉱床を鉱物組み合わせにより2群に分けた. Qz-Pyr (-Ser)型が主要な鉱床. Qz: quartz (石英), Pyr: pyrophyllite (パイロフィライト), Ser: sericite (絹雲母), Ka: kaolin minerals (カオリン). 生産量が50万トン以上とされる鉱床は大きなマークで示した. 余地鉱床はGeological Survey of Japan (1976)の図に含まれていないが、大きな鉱床として図示した(註2). 主要な鉱床は関東以西にあり、東北地方より北側には大規模な鉱床が見られないことが注目される. 鉱化時期について、中生代は白亜紀、新生代は中新世とみられるが(例えば、佐藤ほか, 1994), 詳しい年代が全て分かっているわけではないので、このように表記した.

## 2. パイロフィライト鉱床の地質の概略

日本のパイロフィライト鉱床は、主に中国地方と本州中央部の長野県東部地域に産し、東北日本や北海道には経済的に重要な鉱床は知られていない(図1)。西南日本に分布する鉱床は、五島列島に産する中新世の五島鉱床(岩生ほか, 1953)を除いて、中国地方に広く分布する白亜紀の珪長質火山活動に伴う浅熱水鉱床が主体となっており、近畿-中部地方には白亜紀の火山岩類が産するものの鉱床はごくまれである(佐藤ほか, 1994)。長野県東部に産する鉱床も中新世以降の珪長質火山活動に伴う熱水鉱床とみられるが、年代測定は行われておらず、鉱化年代は不明のままであった。図2には長野県東部を含むフォッサマグナ-関東山地地域の地質の概略と余地および信陽鉱床などパイロフィライト鉱床の位置を示した。

### 1) 余地鉱床

余地鉱床は南佐久郡佐久町(現佐久穂町)余地の板石山の西側に産する。この一帯は秩父帯のジュラ紀付加体とこれを不整合に被う中新世の内山層からなり、一部には時代未詳の軽石凝灰岩も産する。これらを貫く花崗閃緑岩-石英閃緑岩質の小岩体や流紋岩質の岩脈がしばしば見られる。余地の集落から東方では、これらの岩石が広い範囲で熱水変質を受けており、変質は群馬県南牧村西端部や北方の白田町雨川上流部にまで及んでいる(佐藤・由井, 2008)。

鉱床はこの変質帯の中のパイロフィライトに富む強変質部が採掘対象になったもので、余地川北岸の中谷付近や群馬県境の余地峠の東側でも採掘もしくは試掘が行われたようである(註3)。パイロフィライトを含む変質岩はこの変質帯の広い範囲で見出されており、大量の鉱石が未採掘のまま残されている可能性がある。変質岩の原岩は、ジュラ紀付加体中の砂岩・泥岩・チャートおよび内山層の礫岩・砂岩・泥岩とこれらを貫く珪長質貫入岩類であるが、強変質部では原岩の判定が難しいことがしばしばある。尾根など地形的高所の弱変質部では軽石凝灰岩が見出されることがある。これは変質をもたらした珪長質マグマの噴出相である可能性が考えられるが、時代や成因は解明されていない(佐藤・由井, 2008)。予察的な野外調査では強変質部の分布に明瞭な規則性を見出すことができなかつたが、しばしば角礫構造が観察されることが注目される。角礫のサイズは5-10cm大のことが多く、30cmに及ぶチャートの角礫や丸みを帯びた貫入岩様組織をもつ変質岩が見られたこともある。これらは小規模なパイプ状の集合体を構成するらしく、構造的な原因よりも水蒸気爆発や噴火など火山活動に起因する可能性が考えられるが、成因はよく分かっていない。

この変質岩を不整合に被う未変質の安山岩類が、板石山の山頂部やその1km余り北東方の山稜に産し、板状節理を活かした石材(鉄平石)として採掘されている(佐藤・由井, 1994)。新鮮な安山岩溶岩について得られたK-Ar年代から、

安山岩類の噴出した4Ma頃にはすでに変質帯が地表に露出していたことが分かる(佐藤, 2002, 2004)。一方、余地鉱山南方の茂来山花崗岩体や八千穂岩脈群については14-11Maの年代が得られており、余地鉱床の鉱化作用もこれらの火成活動に関与した可能性が考えられる(佐藤・由井, 2008)。

### 2) 信陽鉱床

信陽鉱床は小県郡真田町上横道の洗馬川西側の山腹に産する。長野盆地東方の山地には、信陽鉱床のほかにも美山・仁礼・米子・佐野などのパイロフィライト鉱床が産し、盆地南西の更埴市には梵天山鉱床が産する(藤井・井上, 1971)。これらはいずれも中新世の火山岩や貫入岩類に伴うもので、信陽鉱床は規模が最も大きい(図2)。この鉱床については藤井(1975)が詳しい記載を行った。これによると、鉱床付近の地層は中新統内村層相当とされる珪長質凝灰岩や凝灰質砂岩・頁岩層からなり(註4)、これを石英閃緑岩や含石英閃緑ひん岩が貫く。付近には上記の火山砕屑岩層を不整合に被うかこれらを貫く安山岩や玄武岩も分布するが、これらも多かれ少なかれ変質を被っており、詳しい岩質や時代は不明である。信陽鉱床は、南に10-40度で傾斜する上記の火山砕屑岩層とこれを貫く含石英閃緑ひん岩の一部が熱水変質を受けてできたもので、上山鉱床と呼ばれる東西約200m、南北約200m、高さ最大120mに及ぶ鉱体が急斜面に露出し、余地鉱山と同様に露天掘りで採掘された(藤井, 1975)。

石英閃緑岩とされた岩石は鉱山の北1km付近から北側に広く露出する岩体の南端部である(図2)。歌田(1973)はこの岩体を菅平石英閃緑岩体と呼び、その南西縁部の中新統が広範囲に熱水変質を受け、変質の最も強いところに信陽鉱床が胚胎すると指摘している。洗馬川上流部に露出する岩体南縁部の予察調査では、岩相変化に富み花崗閃緑岩質の岩石も多いとの印象を受けた。岩相によらず高い帯磁率(10-30×10<sup>-3</sup>SI)を示し、還元型に相当する低い値は見出されなかつた。鏡下で観察した数個の試料では、黒雲母と角閃石は緑泥石化しているものの、斜長石(0.5-5mm)は新鮮で明瞭な累帯構造を示し、鉱化変質の証拠は認められなかつた(註5)。

一方、藤井(1975)の含石英閃緑ひん岩は上記の石英閃緑岩体を取り巻くように点在する岩脈状あるいは岩株状の小岩体で、融食組織をもつ径2-10mmの粗粒な石英斑晶に富むことで特徴づけられるという。そのひとつが信陽鉱山西方の天狗岩付近から露天採掘場の南部にかけてNW系の岩脈状に露出する天狗岩岩体で(約1.5×0.3km)、鉱化に直接関係した貫入岩体と解されている。鉱床はこの岩体の北東側に産し、南西側には知られていない。この岩石は鉱化変質を受けていても粗粒な石英斑晶により容易に原岩を判別できるため、全体が変質し白色化した採掘場でも、母岩の凝灰質岩中に枝分かれして貫入している様子を観察することができ

る。岩体の南西側が露出する天狗岩の南東斜面の農道脇では、転石ではあるが鉍化変質を受けていない原岩を確認することができた。これは斑晶として石英・斜長石・角閃石・磁鉄鉍を含み、基質は0.01mm程度かそれ以下の微細粒で、0.5-1.5cm大の苦鉄質な包有物も見られた。藤井(1975)の報告した化学分析値(SiO<sub>2</sub>=69.6%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=5.0%)も参照すると、この岩石は流紋岩に近いデイサイト質のマグマが固結したものとみられる。鏡下観察した2試料では、角閃石の大

部分は褐色の粘土様鉍物に交代されているが斜長石はかなり新鮮で、鉍化変質を特徴づけるパイロフィライトや絹雲母のような熱水変質鉍物は見られなかった。鉍化変質を受けていない類似のデイサイト質岩は鉍山の2kmほど南にある実相院付近でも見られ、採取した試料にはわずかながら黒雲母の仮像も認められた。ここでは砥沢岩体の例にならって(佐藤, 2006)、この岩石をデイサイト質ポーフィリーと呼ぶことにする。

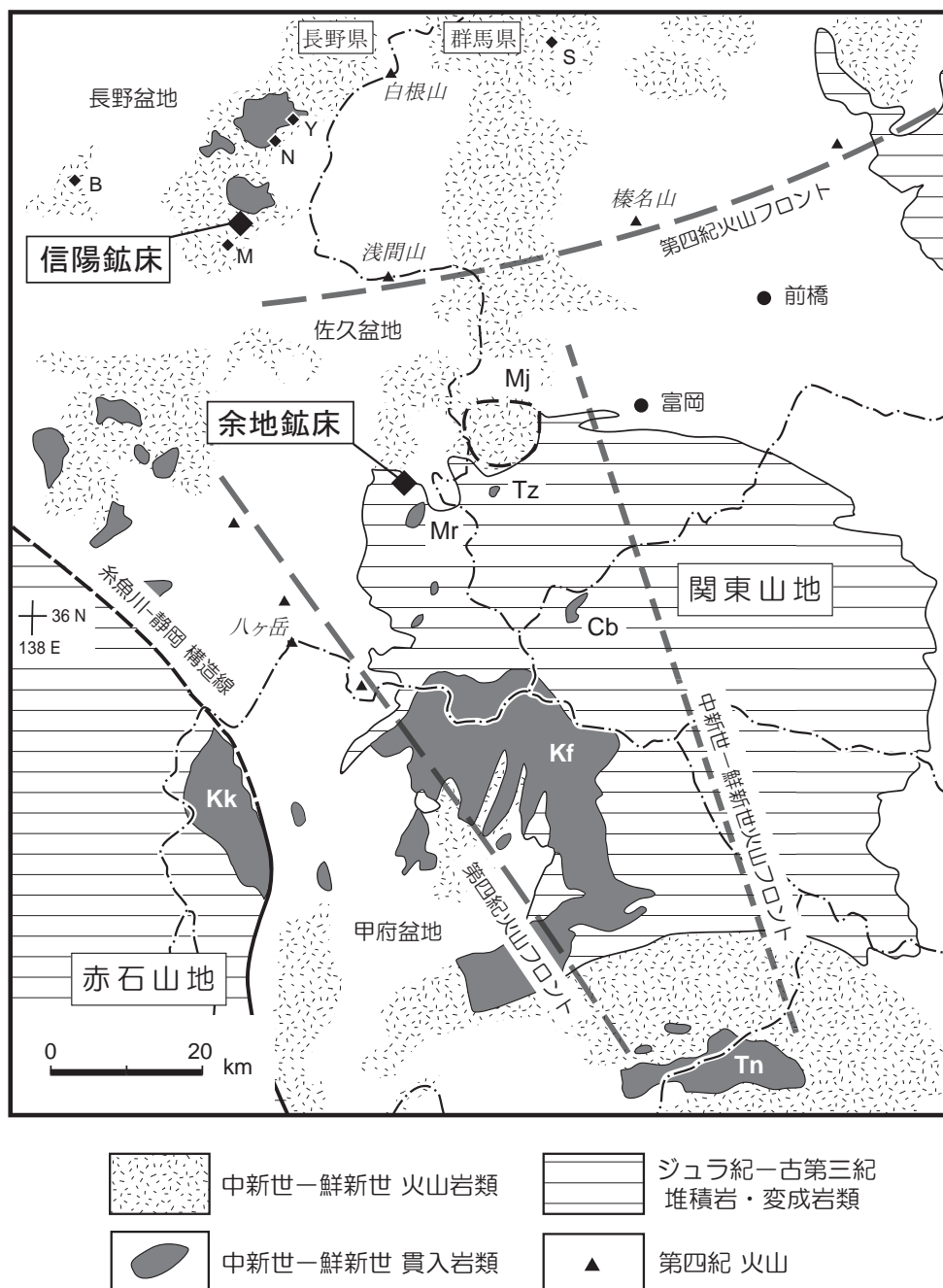


図2 関東山地-フォッサマグナ地域の地質の概略と余地および信陽鉍床の位置。

地質調査所(1992)を簡略化。火山フロントは佐藤・由井(2008)の図1を踏襲。長野盆地周辺のパイロフィライト鉍床は、藤井・井上(1971)と工業技術連絡会議窯業連合部会編集(1978, p.523)による。群馬県北西部の鉍床(S)は中村・上野(1955)による。鉍山名は、B: 梵天山, M: 美山, N: 仁礼, S: 四万, Y: 米子。余地鉍山は国土余地鉍山と呼ばれたこともある。同時代の火成岩類はフォッサマグナ地域に広く分布するが、パイロフィライト鉍床の分布は上信国境地域に限られている。岩体名は、Cb: 秩父, Kf: 甲府, Kk: 甲斐駒ヶ岳, Mr: 茂来山, Tn: 丹沢, Tz: 砥沢。Mjは本宿カルデラ。

信陽鉱床はこのデイサイト質岩脈の北東側に発達しており、この貫入岩体から外側に向かって(1)ろう石、(2)珪質ろう石、(3)弱変質岩の順に変質岩の累帯配列が見られる(藤井, 1975)。パイロフィライトは(1)と(2)に含まれるのに対し、絹雲母は(2)と(3)に含まれ、鉱床周辺部に産する(3)は大部分絹雲母と石英からなる。この変質岩の累帯配列は、詳しく見ると地層面や貫入岩と母岩の境界とは斜交しており、鉱床下部では凝灰質砂岩を原岩とする(1)が発達して富鉱部を形成している。黄鉄鉱はそれぞれの変質帯に散在し、溶脱して四角い穴が残ることもあるが、鉱石としての質を下げる要因になっている。

### 3. 試料と年代測定

#### 1) 試料

年代測定用の試料の選択にあたっては、それぞれの鉱床の鉱石採掘場で絹雲母に富むと思われる火成岩源の変質岩を採取し、鏡下の観察とX線粉末回折により、石英と絹雲母からなることを確認した上で、絹雲母ができるだけ多くかつ粒度の粗いものを選んだ。

#### 余地鉱床 (94031604a) :

年代測定試料は露天掘り採掘場の中段付近で採取した鉱石の一つである。これは石英斑晶が目立つ流紋岩を原岩とする熱水変質岩で、岩脈が角礫化したとみられる礫状鉱として産した。鏡下では融食組織をもつ自形の石英(径0.5-3mm)が絹雲母化した細粒の(10-100 $\mu$ m)基質に散在している。絹雲母(5-30 $\mu$ m)は基質の石英の粒間を埋めるように産するが、輪郭の不明瞭な不規則な形に濃集していることもあって、薄片ではその中心が抜け落ちていることが多い。X線粉末回折では主に石英と絹雲母からなり、少量のパイロフィライトも確認された。絹雲母の回折パターンは2M<sub>1</sub>タイプのものに一致した。

#### 信陽鉱床 (97121217) :

年代測定試料は露天採掘場の最上部に近い標高900-1000m付近で採取した試料の一つである。この付近は藤井(1975)による上山鉱床上部の峰山鉱体に相当する部分で、

珪質ろう石や弱変質岩が分布する。両者の判別は野外では難しかったため、実際にはこの付近でいくつかの試料を採取し、X線粉末回折により最適の試料を選んだ。この試料は天狗岩岩体の縁から10mほど離れた黄鉄鉱の見られない均質な露頭から採取した白色の変質岩である。鏡下では絹雲母(5-20 $\mu$ m)の分布にいくぶんか方向性が見られるものの全体として塊状で、50-300 $\mu$ mの破片状の石英が微細粒な(<20 $\mu$ m)基質に散在している。角張った形の絹雲母の濃集部も見られるが、これは斜長石片の仮像と思われる。このような組織から、この試料の原岩は細粒な塊状の凝灰岩と推定される。X線粉末回折で検出された鉱物は石英と絹雲母のみで、絹雲母の回折パターンは2M<sub>1</sub>タイプのものに一致した。鏡下の観察では、微細な(<20 $\mu$ m)なルチル様鉱物が少量見られたが、黄鉄鉱や磁鉄鉱とみられる不透明鉱物は認められなかった。

#### 2) 測定と結果

全岩年代測定用試料の調製は、これまでの報告書に記述したのと同様である(例えば、佐藤・由井, 2008)。すなわち、岩石試料を粉砕し、篩い分けにより40-60メッシュの粒度にそろえ、磁気分離装置で磁性鉱物や鉄粉を取り除いた。今回の試料に黄鉄鉱などは含まれていないので、重液などによる処理は行っていない。最後に脱イオン水で洗浄・乾燥した試料をAr抽出用とし、その一部を粉末にしてKの定量用とした。K-Ar年代の測定はTeledyne Isotopes社(現Allegheny Technologies社)に依頼して行われた。年代計算に用いた定数は、 $\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10}/y$ 、 $\lambda_{e}=0.581 \times 10^{-10}/y$ 、 $^{40}K/K=0.01167$  atom% (Steiger and Jäger, 1977)である。

K-Ar年代の測定結果を表1に示した。空気混入率が低く誤差が小さいので、これらの結果は信頼度が高いとみてよい。余地鉱床と信陽鉱床の試料は、それぞれ10.9 $\pm$ 0.5Maと8.5 $\pm$ 0.4Maという後期中新世(11.6-5.3 Ma, Lourens et al., 2004)の年代を示した(註6)。これらの鉱床は浅成の熱水鉱床であり、形成後に何らかの熱的な影響を受けたという証拠はないので、得られた年代は鉱化の時期を示すと考えて良いだろう。

表1 余地および信陽鉱床の熱水変質岩の全岩K-Ar年代

Sample No.	Ore deposit	Rock	$^{40}Ar^*$ (scc/g $\times 10^{-6}$ )	$^{40}Ar^*$ (%)	K (%)	Age (Ma)
94031604a	Yoji	Hydrothermally altered rhyolite <sup>1)</sup>	0.063	57.6	1.47	11.0 $\pm$ 0.5
			0.061	57.4	1.47	10.6 $\pm$ 0.5
						10.9 $\pm$ 0.5 (av.)
97121217	Shinyo	Hydrothermally altered felsic tuff <sup>1)</sup>	0.077	63.4	2.34	8.5 $\pm$ 0.4
			0.078	61.3	2.33	8.6 $\pm$ 0.4
						8.5 $\pm$ 0.4 (av.)

$\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10}/y$ 、 $\lambda_{e}=0.581 \times 10^{-10}/y$ 、 $^{40}K/K=0.01167$  atom % (Steiger and Jäger, 1977)、 $^{40}Ar^*$ : radiogenic Ar  
Analyst: M. Siragusa (Yoji) and K. Noyes (Shinyo), Teledyne Isotopes

1) Dated samples consist mostly of quartz and sericite.

## 4. パイロフィライト鉱床の時空分布に関する今後の課題

### 1) 余地鉱床

今回の検討で余地鉱床は11Ma頃に形成されたことが明らかとなった。この年代は南方に分布する八千穂岩脈群の年代にはほぼ一致する(佐藤・由井, 2008)。年代を測定した変質岩は八千穂岩脈群の流紋岩に良く似ており、これらは一連の活動の産物である可能性が高い。この年代は茂来山花崗岩体よりもいくぶんか若く、この地域で14Ma頃から11Ma頃まで続いた珪長質火成活動の最末期に、流紋岩脈に係してパイロフィライト鉱床が形成されたように見える。しかし詳しく調べると、茂来山岩体として一括した花崗岩類も変化に富み、流紋岩脈に遅れて貫入したものもあるらしく(佐藤・由井, 2008)、一部が鉱化に関係した可能性も排除できない。余地鉱床の近くで見られた石英閃緑岩質小岩体は熱水変質を受けており、鉱化の時期かそれに先立って貫入したことを示唆する。余地鉱床がどの貫入活動に係して形成されたのかは、厳密には分かっていないと言わざるを得ない。また、鉱床を形成した熱水活動が火成活動の最末期にのみ起こった現象かどうかは自明ではない。余地地域の變質岩と花崗岩類との関係を詳しく調べるとともに、年代データを補足して、火成活動と鉱化作用の関係をさらに検討していく必要がある。

余地地域には時代未詳の軽石凝灰岩が産する。これが岩脈を形成した流紋岩質マグマの噴出相であるとすれば、鉱化の起こった場所は地下のごく浅い部分であったことになり、その成因に興味を持たれる。また、余地鉱床やその周辺でしばしば見られる角礫パイプは、熱水性のものである可能性が考えられる。もしそうだとすれば、これも浅い環境を示唆する。このようなパイプはまた熱水の通路として変質帯の分布を支配したであろうから、鉱床探査の観点からも成因を探る必要がある。由井・松枝(1995)は、パイロフィライトと共生する石英中の流体包有物について300°Cを超える均質化温度を報告するとともに、一部の試料では包有物の気液比のばらつきが大きく熱水の沸騰が示唆されるとしている。余地鉱床は、熱水の沸騰が可能な浅所で、高温かつ酸性の条件下で形成されたと考えられる(註7)。近傍にはきわめて小規模ながら本郷鉱山と呼ばれた硫砒銅鉱の鉱床があり、南方の八千穂岩脈群に伴う陶石鉱床もある(佐藤・由井, 2008)。この地域のマグマ-熱水系の中で余地鉱床がどのような時間・空間を占めていたのか、総合的な解析が求められる。

ところで、この地域の火成活動の消長という視点からみると、東方の群馬県富岡市周辺に分布する富岡層群に多数の凝灰岩層が挟まれていることが注目される。この凝灰岩層は層序対比の重要な鍵層となっているだけでなく、モンモリロナイト化の著しい部分はベントナイト鉱床として採掘されている(木崎, 1965; Minato et al., 1970; 今井ほか,

1973, p.277-279; 註8)。原市層に含まれる凝灰岩層については、13-11Maの放射年代が得られており(群馬県地質図作成委員会, 1999, p.48-49)、この年代は余地-茂来山付近の火成活動の時期とほぼ一致するのである。これら火山灰の供給源が特定されているわけではないが、偏西風に乗って飛来し当時の海底に堆積した火山灰が余地周辺の火山活動の消長を記録している可能性がある。富岡層群を群馬-長野県境部の火山活動の記録媒体として解析してみるのも興味深い課題である(註9)。

### 2) 信陽鉱床

長野盆地周辺には、信陽鉱床の他にもいくつかのパイロフィライト鉱床が知られている(図2)。これらが信陽鉱床と同時代のものかどうか興味深いが、手掛かりとなる年代データはなく、これも今後の課題として残された。鉱床北方に露出する花崗岩体群との成因関係も未解明であり、この地域の鉱床と花崗岩類の年代測定が待たれる。しかし、信陽鉱床について得られた8.5Maの年代は、この地域のマグマ-熱水活動が活発化した一時期を現すことは間違いないだろう。

信陽鉱床が天狗岩岩脈の北東側にだけあって南西側には知られていないことも興味深い。鉱床の北側に広く露出する花崗岩体にも鉱床を伴っていない。これらのことは、鉱化変質に関わる熱水系や変質帯の温度構造が、熱源となった貫入岩体からの距離よりも、むしろ母岩の透水性など熱水の流通に係する要因に支配されたことを示唆する。地殻の深部や巨大岩体の近傍では割れ目系が発達しにくく、とくにパイロフィライト鉱床が形成されるような地表水が関与する浅成の酸性熱水条件は達成されにくいであろう。

図2に示したように、フォッサマグナ地域には中新世-鮮新世の珪長質火山岩類や花崗岩類が広く分布するが、パイロフィライト鉱床は限られた地域にしか知られていない。パイロフィライト鉱床は、余地鉱床の例にもあるように、珪長質マグマの貫入活動に伴う浅熱水鉱床と考えられるので、削剥が進んだ地域には鉱床として残されていないのだと思われる。甲府や甲斐駒ヶ岳あるいは丹沢岩体のような巨大岩体に浅成の鉱床が見られないのはこのためであろう。また、余地や信陽鉱床の鉱化の時期には、それぞれの地域が陸化しており、地表水が供給されやすい地理的条件が整えられていたのかも知れない。

## 5. まとめ

長野県東部に分布するパイロフィライト鉱床のうち代表的な2つの鉱床につき、絹雲母を含む鉱化変質岩の全岩K-Ar年代を測定することによって鉱化時期を検討した。その結果、余地鉱床は約11Ma、信陽鉱床は8.5Maの後期中新世前半に形成されたことが明らかになった。いずれも流紋岩-

デイサイト質マグマの貫入時に、岩脈自身とその周辺の堆積岩や火山岩類が酸性熱水変質を受けてパイロフィライト鉱床が形成された。鉱化の時期は長野県東部地域における新生代火山活動の活発化した時期を現しているであろう。

## 謝 辞

元北海道大学理学部教授で佐久町在住の由井俊三博士は、ここで検討した2つの鉱床に同行して下さった。先生は2003年9月に南佐久郡白田町誌の原稿校閲を目的としたとみられる野外調査で田口峠付近に出かけたまま行方不明になっている。お礼の気持ちを伝えられないのが残念である。ネバダ大学のL.C.Hsu博士は、今回も英文要旨をチェックして下さった。岡山理科大学の板谷徹丸博士には原稿の査読でお世話になった。以上のお二人に深謝します。

### <註>

**註1)** US Geological Survey Minerals Yearbookには各種鉱物資源の国別生産量が示されている。パイロフィライトは滑石などとともに一括されており、1970-1980年代は日本(主にパイロフィライト)がトップで米国(主に滑石)が2位であった。近年の統計表はパイロフィライト(pyrophyllite)、ソープストーン(steatite)、滑石(talc)、未区分(unspecified)と4つに分けられ、世界の動向が分かりやすくなっている。世界のパイロフィライト鉱石総生産量に占める日本の割合は、例えば1990年には52.9%で1位、2000年には35.2%で2位(1位は韓国の46.6%)であった。日本から朝鮮半島南端部を経て中国南東部に至る太平洋西岸地域には、白亜紀の珪長質火成活動に伴うパイロフィライト鉱床が多産し、世界の需要の大半をまかなっている(佐藤ほか, 1994)。中国の生産量も多いと思われるが、上記の統計では未区分とされ、詳細は不明である(例えば, Virta, 2005a)。

**註2)** 余地および信陽の2鉱山を主とする長野県の蝸石生産量は、例えば1975-1998年に約1千万トンであり、余地は信陽の6割近くを産出した(通商産業省統計、個別数値は非開示、1999年以降は統計休止)。

**註3)** 余地の中谷付近の採掘跡では、接触変成で再結晶したチャートが熱水変質を受けたものを珪砂として採掘したらしい(片山ほか, 1955; 河内・井上, 1962)。余地峠を越えた南牧村側の斜面に産するパイロフィライト-絹雲母鉱床については、藤本(1958)に記述がある(p.156-158)。その原典の東京教育大学の卒論(児玉, 1956, 未公表)は、資料を引き継いだと思われる筑波大学地球科学系図書室には所蔵されておらず、筑波移転時には既に存在が確認できなかったという記録だけが残っているとのことであった。現在はカナ

ダ在住の著者にも問い合わせたところ、卒論資料は全て大学に残してきたので手元には残っていないという。また、記憶では上信鉱化工業という会社が試掘をしたが、本格的な採掘には至らなかったと思われる、とのことであった(児玉秀臣, 2004, 私信)。このように、余地峠付近の鉱床を記載した原資料を参照することはできなくなっているが、研究の一部はKodama (1957)に公表されている。なお、余地地域の変質帯にはパイロフィライトや絹雲母の他に、ダイアスポア・明礬石・ズニ石などの鉱物も見出されることがある。黄鉄鉱など硫化鉱物の産出はまれである。

**註4)** 信陽鉱床の母岩となっている火山砕屑岩層は、山岸(1964)によれば、流紋岩-デイサイト質凝灰岩-凝灰角礫岩層に砂岩や泥岩を挟む横尾層で、鉱床付近はNW-SE系向斜軸の北翼にあたる。横尾層はこの地域の中新統最下部の内村層の一部に対比されるという。

**註5)** 信陽鉱床北方の花崗岩体について、山岸(1964)は南縁部に産する苦鉄質な大良型とこれを貫く珪長質な大松山型に分け、主岩相の後者が前者を貫くとしている。この北西の長野市松代町付近に露出する類似の岩体は、鮮新世の奇妙山火山岩類に不整合に被われる(太田・片田, 1955; 森本ほか, 1966; 金子ほか, 1991; 中野ほか, 1998)。しかし、これらの貫入岩体は広く変質を受けていて、信頼度の高い放射年代が得られていない。

**註6)** 時代区分の数値年代は研究の進展により改訂されることがしばしばあるが、後期中新世の年代範囲はBerggren et al. (1995)も11.2-5.3Maとしている。

**註7)** 流体包有物のデータから由井・松枝(1995)は、余地鉱床が「地下深所(約2000m以深?)」で形成されたと推定している。しかし、現世の地熱地帯のボーリングで、地下1000-2000m付近からもパイロフィライトが見出されていることを考慮すれば(例えば, Reyes, 1990; 金原, 1991)、余地鉱床は過去の地熱地帯の酸性変質帯が地表に現れたものと解釈することもでき、「深所」を強調する必要はないと思われる。なお、パイロフィライト鉱床の鉱物組み合わせは、斑岩銅鉱床や浅熱水金鉱床に見られるadvanced argillic alterationあるいは地熱地帯の酸性変質帯の鉱物組み合わせと同様であり、マグマ起源のH<sub>2</sub>Sなどが地下浅所で酸化されることによって生じた酸性条件下の熱水変質を特徴づける(例えば, Meyer and Hemley, 1967; Hemley et al., 1980)。

**註8)** パイロフィライトだけでなく、日本はベントナイトでも世界の主要生産国の一つである。2004年の総生産量1150万トンのうち40万トン以上を産した主要8カ国は、米国(39.6%)、ギリシャ(8.3%)、トルコ(7.4%)、CIS(6.2%)、メキ

シコ(4.9%)イタリア(4.3%),日本(4.0%),ドイツ(3.5%)である(Virta, 2005b). 富岡層群分布域は日本の近代的なベントナイト鉱業発祥の地であり, 現在も(2009年1月)株式会社ホーゲンが, 富岡市上黒岩地区で露天掘りによる採掘を行っている。

**註9)** 富岡層群は前期中新世の17Ma頃から後期中新世の9-8Ma頃までの800-900万年の長期にわたる海成層とされる(群馬県地質図作成委員会, 1999). この時代は, 富岡付近には海が広がっていて時々火山灰が降って来るという環境にあったが, 凝灰岩層は中期中新世の地層に多い。松丸(1977, Fig.5)によれば, これらの地層は浮遊性有孔虫化石帯(Blow, 1969)のN10-13付近に対比される。Lourens et al. (2004)をもとにすると, この化石帯の年代範囲は14.2-11.6Maとなる。長い間続いた海の時代も9-8Ma頃には終わり, 一帯が陸化していったらしいことが, 富岡層群最上部に現れる陸成の堆積物から推定される(群馬県地質図作成委員会, 1999)。やがて富岡層群を不整合に被って秋間層や霧積層の安山岩質火山岩類が堆積した。この不整合と信陽鉱床との時間関係は微妙である。霧積層やこれに相当する火山岩類については8.3-1.8Maの全岩K-Ar年代が報告されており(野村・海老原, 1988), 霧積層基底には流紋岩-デイサイト質の凝灰岩-凝灰角礫岩からなる厚さ約250mの久保部層が産するという(群馬県地質図作成委員会, 1999)。この珪長質火山岩層の年代は不明であるが, 上位の湯ノ沢部層について得られた8.3±0.8Maよりも古いのであれば, 信陽鉱床に関係した珪長質火山活動と無縁ではないことになる。今後精度の高い年代データが蓄積されれば, 時間的關係を考える手掛かりが得られよう。

## 文 献

- Berggren, W., Kent, D.V., Swisher, C.C. and Aubry, M.P. (1995) : A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: Time Scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Publication (54), p.129-212.
- Blow, W.H. (1969) : Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In: Bronniman P. and Renz, H.H. eds., Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneva 1967), Leiden, E. J. Brill, Volume 1, 199-421.
- 地質調査所 (1950) : 日本鉱産誌 Ⅲ 主として窯業原料となる鉱石. 東京地学協会, 137p.
- 地質調査所 (1992) : 100万分の1日本地質図 第3版, 地質調査所.
- 藤井紀之 (1975) : 長野県信陽鉱山のろう石鉱床. 耐火物, **27**: 197-207.
- Fujii, N. (1983) : The present position of Japanese pyrophyllite. Industrial Minerals, November 1983, 21-27.
- 藤井紀之・井上秀雄 (1971) : 北信地方のろう石鉱床の特徴と分類. 鉱山地質, **21**: 407-417.
- 藤本治義 編 (1958) : 南佐久郡地質誌. 長野県南佐久教育会, 314p.
- Geological Survey of Japan (1976) : Distribution map of kaolin, pyrophyllite and sericite clay deposits of Japan. 1:2,000,000 Map Series 17-1, Geological Survey of Japan.
- 群馬県地質図作成委員会 (1999) : 群馬県10万分の1地質図解説書. 内外地図株式会社, 113p.
- Hemley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W. and Luce, R., W. (1980) : Equilibria in the system  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  and some general implications for alteration/mineralization processes. Econ. Geol., **75**: 210-228.
- 今井秀喜・河井興三・宮沢俊弥編 (1973) : 日本鉱床誌 関東地方, 朝倉書店, 518p.
- 岩生周一・浜地忠男・山田正春・井上秀雄 (1953) : 長崎県五島福江島のダイアスポアおよび蠟石鉱床調査報告. 地調月報, **4**: 81-97.
- 金子隆之・清水 智・板谷徹丸 (1991) : 松代周辺に分布する鮮新~更新世火山岩類のK-Ar年代. 火山, **36**: 193-195.
- 片山信夫・高野幸男・佐藤良昭 (1955) : 長野県海瀬珪砂鉱床. 鉱山地質, **5**: 64.
- 河内洋佑・井上秀雄 (1962) : 長野県南佐久郡下の鑄造用珪砂鉱床. 岩鉱, **47**: 47-57
- 金原啓司 (1991) : 日本の地熱地帯のパイロフィライト. 地調月報, **42**: 347-362.
- 木崎喜雄 (1965) : 群馬県南部の第三紀凝灰岩の続成作用による変質. 群馬大学紀要, 自然科学編, **13**: 153-203.
- Kodama, H. (1957) : Sericite from Ozawa-mura, Gumma Prefecture. Mineral. Jour., **2**: 151-161.
- 工業技術連絡会議窯業連合部会編集 (1978) : 日本の窯業原料. 名古屋工業技術会, 879p.
- Lourens, L., Hilgen, F., Shackleton, N.J., Laskar, J. and Wilson, D. (2004) : The Neogene Period. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G. and Smith, A.G. eds., A Geologic Time Scale 2004, Cambridge University Press, p.409-440.
- 松丸国照 (1977) : 関東山地北縁~北東縁の新第三系の層序. 地質雑, **83**: 213-225.
- Meyer, C. and Hemley, J.J. (1967) : Wall rock alteration. In: Barnes, H.L., ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, p.166-235.
- Minato, H., Utada, M. and Aramaki, S. (1970) : Betonite deposit and manufacturing plant in Yokokawa and Asama volcano. IMA-IGOD Meeting Excursion Guidebook 4, 14p.
- 森本良平・村井 勇・松田時彦・中村一明・恒石幸正・吉田鎮男 (1966) : 松代群発地震とその周辺地方の地質. 地震研究所彙報, (44) : 423-445.
- 中村久由・上野三義 (1955) : 群馬県四万温泉および四万蠟石鉱床調査報告. 地調月報, **6**: 351-358.
- 中野 俊・竹内圭史・加藤碩一・酒井 彰・濱崎聡志・広島俊男・駒沢正夫 (1998) : 20万分の1地質図幅「長野」, 地質調査所.
- 野村 哲・海老原充 (1988) : 群馬県西部新生代火山岩類のK-Ar年代と古地磁気. 群馬大学教養部紀要, **22**: 65-78.
- 太田良平・片田正人 (1955) : 5万分の1地質図幅「須坂」および同説明書. 地質調査所, 54p.
- Reyes, A.G. (1990) : Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., **43**: 279-309.
- 佐藤興平 (2002) : 群馬県南牧村砥沢の金鉱山跡調査報告(続) — 砥沢岩体のK-Ar年代と南牧村周辺地域の新生代火成活動史 —. 群馬県立自然史博物館研究報告, (6) : 59-74.
- 佐藤興平 (2004) : 妙義-荒船-佐久地域の火山岩類のK-Ar年代と火山



- フロントの後退. 群馬県立自然史博物館研究報告, (8):109-118.
- 佐藤興平(2006): 砥沢岩体の帯磁率と化学組成: 砥石鉱床の成因に関する予察的検討. 群馬県立自然史博物館研究報告, (10):63-80.
- 佐藤興平・由井俊三(1994): 長野県佐久の鉄平石. 地質ニュース, (484):2-3.
- 佐藤興平・由井俊三(2008): 関東山地北西縁に産する八千穂岩脈群の K-Ar年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, (12):45-54.
- 佐藤興平・金 燂栄・朱 金初・神谷雅晴(1994): 東アジアのパイロフィライト鉱床. 地質ニュース, (484):40-50.
- Steiger, R. H. and Jäger, E. (1977): Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants on geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**:359-362.
- 歌田 実(1973): 北部フォッサマグナ地域, とくに中央隆起帯にみられる変質作用. 地質学論集, (9):215-226
- Virta, R. L. (2005a): Talc and pyrophyllite. *US Geological Survey Minerals Yearbook-2005*, 75.1-75.7.
- Virta, R. L. (2005b): Clay and shale. *US Geological Survey Minerals Yearbook-2005*, 18.1-18.22.
- 山岸いくま(1964): 長野県上田市北方の地質. 地質雑, **70**:315-338.
- 由井俊三・松枝大治(1995): 余地地域の鉱化作用. 火口-貫入岩頂部探訪, 三鉱学会巡検案内書, p.32-35.