熱水と続成変質作用を受けた岩石中の 雲母/スメクタイト混合層鉱物

下田 右*・黄 辰淵*・篠原也寸志*

Mica/smectite Interstratified Minerals Found in Hydrothermally
and Diagenetically Altered Rocks

Susumu SHIMODA*, Jin-Yeon HWANG*,
and Yasushi SHINOHARA*

Abstract

Mica/smectite interstratified minerals are formed from smectite by adding alkali ions and increasing temperature. This transformation starts by increasing the alkali ion content and smectite changes to mica/smectite interstratified minerals with $g=0$ in the early stage of the transformation. The minerals formed transform to mica/smectite with $g=1$ by increasing temperature and pressure. On the other hand, mica changes to mica/smectite interstratified minerals by hydrothermal alteration. The minerals formed from mica usually show the interstratifications with $g=1$ and 2. Some mineralogical data of the minerals formed by the two processes are given here and we show the considerations showing the formations of the minerals.

1. は じ め に

雲母/スメクタイト混合層鉱物は、天然に広く見いだされる鉱物で、その成因は初生的なものも、二次的なものも存在すると考えられている。ここでは、二次的成因のもの一主に熱水変質作用と続成作用—について、地質鉱物学的な面から、その性質を検討してみたい。

この混合層鉱物を形成する2つの作用、熱水変質作用と続成作用を区別することは困難なことである。しかし、天然に産するこの鉱物の多くは、両変質作用を受けた岩石中に認められることが多い。ここでは、熱水変質作用によるものは、熱水溶液と岩石の反応によって混合層鉱物が形成されることを指し、続成作用によるものは、堆積物中の粒子—主に、鉱物—が埋没により、温度、圧力の上昇により、まわりの溶液と反応して、混合層鉱物を形成することと考える。ここで問題は、熱水の起源と性質、それとその温度であるが、それらを両作用で区別して考えることはできない。そこで、ここでは火成岩の貫入、温泉等の作用が明らかに存在したことが、地質学的に認められるものを熱水、それらが認められないものを続成作用とした。

2. 調査、試料を採取した地域

筆者らが調査、検討した地域では、熱水変質作用で混合層鉱物が形成されたと思われる地域(場所)は、船生、米子、穂波、勝光山、五島等の陶石、パイロフィライト鉱山である。続成作用で形成され

1985年12月2日受理

* 筑波大学地球科学系

Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki 305.

たと思うものは、上砂川、新庄盆地で、両者の作用が複合して働いたと思われるものは、羽鳥湖付近と針生地域である。これらの中で、今回は、新庄地域、羽鳥湖地域、針生地域、船生鉱山を例に、それぞれの作用で形成された混合層鉱物の性質を示す。

筆者らが試料を採取した新庄大芦沢川付近の地質は、下位から中新世の草薙層、古口層、野口層、中渡層が分布し、それらは硬質頁岩、硬質シルト岩、砂質凝灰岩等である。草薙層中部の硬質頁岩は、女川層型の板状硬質頁岩を主体とする部分である。ここでは主に堆積岩中の鉱物の続成作用による変化と共生について考えてみたい。

福島県天栄村羽鳥湖付近は、中新世から鮮新世にかけての地層が、下位より天栄層、勢至堂層、北の入凝灰角礫岩層、白河石英安山岩質熔結凝灰岩層に分けられ、広く分布している。これらの地層の岩質は、それぞれ非常に異なっているが、混合層鉱物が多く認められた勢至堂層は、緑色～暗緑色の凝灰岩を主とする。そして局部的に、火山岩類の貫入による熱水の影響が認められ、貫入火山岩類の近縁部では、堆積岩は著しく白色化している。ここでは、続成作用で形成された鉱物が、熱水変質作用でどのように変化するかを考えてみたい。

南会津針生地域では、下位より第三紀中新世中部の浅布層、浅布層を不整合におおう鎌越沢層、さらにその上位に不整合で更新世の駒止峠層が分布する。この地域の鉱物分布は、ほぼ地質層序に従っていて、浅布層では絹雲母、緑泥石、鎌越沢層では、下部で沸石、スメクタイト、上部で火山ガラスを主とする鉱物に分帯される。ここでは、混合層鉱物は浅布層を貫く火山岩類の付近にのみ認められる。この地域でも前述の羽鳥湖周辺の変質に認められるような、続成と熱水の二重変質について考えてみたい。

栃木県塩谷町船生鉱山付近には、第三紀中新世の緑斑～緑色の凝灰岩が広く分布する。船生鉱山の鉱体は、この凝灰岩層を貫く石英安山岩～流紋岩の接触部付近、あるいは流紋岩質岩体中に形成されている。付近には、パイロフィライト、絹雲母、カオリナイト等を主とする粘土鉱物が点在する。ここでは、主に熱水変質作用による混合層鉱物の成因を考えてみたい。

3. 混合層鉱物の産状と鉱物学的性質

新庄地域の雲母／スメクタイト混合層鉱物は、スメクタイトが埋没続成により消失すると出現する。そして、さらに埋没が進み混合層鉱物の量が減少すると、それに伴って雲母鉱物が認められるようになる (Fig. 1)。これは、一般に続成作用でいわれているように、スメクタイト→雲母／スメクタイト混合層鉱物→雲母の変化を支持するものと思われる。しかし、Fig. 1 からわかるように、それぞれの地層あるいは地層内での鉱物組合せの変化は、温度と圧力の変化のみでは説明できない。このような鉱物の続成作用による変化には、温度と圧力の変化の他に、もとの岩石、鉱物の化学、物理的性質の差異、その変化に関与した水溶液の性質も考慮されなければならない⁴⁾。

羽鳥湖付近の雲母／スメクタイト混合層鉱物は、勢至堂層にかぎって、産出するようである。そして、それらの産状から見て、続成作用で形成されたものと、熱水変質作用で形成されたものが考えられる。

続成作用で形成されたと考えられる雲母／スメクタイト混合層鉱物は、天栄沸石鉱山付近に認められる。ここでは、共生するオパール CT (クリストバライト) から見て、続成作用によって形成されたものと考えられる²⁾。他の共生鉱物は、斜ブチロル沸石、モルデン沸石、スメクタイト等で、一般に混合層鉱物の存在量は少ない。この地層は、鶴沼川ぞいに上流約 1 km の羽鳥湖ダムまで追跡でき、そこで石英安山岩脈の貫入が認められる。

貫入岩体から約 20m 離れた所の試料では、そこから約 500m 程離れた場所の試料と同じ鉱物組合せを示す。しかし、岩脈に接する試料では、雲母、石英、長石の鉱物組合せとなり、その間の試料に雲

Fig. 1 Diagram showing the mineral compositions along the Ôashizawa route.

Ku: Kusanagi Formation, Fu: Furukuchi Formation, No: Noguchi Formation, Na: Nakawatari Formation, S: Smectite, I/S: Mica/smectite mineral. M: Mica, C: Chlorite, K: Kaolinite, C/S: Chlorite/smectite mineral. Cp+Mo: Clinoptilolite+Mordenite, An: Analcime, Cr: Cristobalite, Qt: Quartz, Pl: Plagioclase. Kf: K-feldspar.

母/スメクタイト, 緑泥石/スメクタイト混合層鉱物が形成している (Table 1). 表からわかるように, 雲母/スメクタイト混合層鉱物は, 石英安山岩脈に近づくにつれ, $g=0$ で雲母格子15% のものから, $g=1$ で雲母格子55~65% のものを経て, 雲母に変化する. また, この変化の過程で認められるアナリシムは, Saha³⁾の図より考えて, 熱水性のものと思われる⁵⁾. Table 2 にこの地域で認められた雲母/スメクタイト混合層鉱物(熱水の影響を受けたと思われるもの—変朽安山岩中のもの), 緑泥石/スメクタイト混合層鉱物(熱水の影響を受けたと思われるもの—勢至堂層中のもの)と一緒に, その X 線回折分析のデータを示す. Table 3 に, この地域に認められる混合層鉱物の性質を示す.

Table 1 Mineral assemblages in the altered tuffaceous rocks around an andesitic dyke at the Hatori lake.

	72012	A	B	C	D	E	Andesite
I/S	-	+	+	-			
Mica				-?	-	-	+
C/S			-	-			
S. chl.				-?			
Cp.	++	++					
Mor.	+	+					
Anal.			+	++	++		
Crist.	+	++					
Qt.	-	-	++	++	++	++	++
Felds.	-?	-?	+	+	++	++	++
<i>Mica and mica component (%) in I/S</i>							
I/S <i>g</i> = 0	15	15					
<i>g</i> = 1			55	65			
Mica				-?	-	-	

I/S : Mica/smectite interstratified mineral, C/S : Chlorite/smectite interstratified mineral, S. chl. : Swelling chlorite, Cp. : Clinoptilolite, Mordenite, Anal. : Analcime, Crist. : Cristobalite, Qt. : Quartz, Felds. : Feldspar. Andesite includes other minerals.
72012 is unaltered specimen. A is about 20m, B 15m, C 10m, D 5m, E 50cm away from the andesite dyke.
++, + and - indicate large, medium and small amounts of minerals found in X-ray patterns, respectively.

Table 2 X-ray diffraction data of B (the mixture of I/S and C/S given in Table 1), 1 (I/S) and 2 (C/S).

Assignment	B		1		2	
	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>
C/S					29.42	30
C/S, I/S	27.50	120B	26.00	90		
C/S	14.47	49			14.47	49
C			14.24	sh		
I/S	12.44	98	12.62	110		
C/S	9.604	3			9.604	7
C/S	7.248	10			7.248	65
C, K			7.161	23		
C/S	5.749	3			5.862	3
Anal.	5.604	3				
I/S	5.006	20	5.021	30		
C/S	4.870	sh			4.818	20
C			4.741	7		
Qt.	4.267	4	4.267	12		
C/S					3.601	22
K, C/S	3.573	6	3.573	sh		
C			3.545	12		
Qt.	3.348	10	3.348	30	3.348	5
Feld.					3.206	7
I/S	3.184	15	3.184	12		
C/S	2.910	3			2.910	5
C			2.838	2		

C/S : Chlorite/smectite interstratified mineral, I/S : Mica/smectite interstratified mineral, C : Chlorite, K : Kaolinite, Anal. : Analcime, Qt. : Quartz, Feld : Feldspar. B and sh indicate broad and shoulder reflections, respectively.

Table 3 Mica/smectite interstratified minerals around the Hatori lake.

<i>Minerals found in hydrothermally altered rocks</i>		
	Mica components (%)	Mineral assemblages
1	$g = 2$, Mica 85 %	1M Mica, Qt., F.
2	$g = 2$, Mica 85 %	Chl., Mica, Kaol., Qt., F.
3	$g = 1$, Mica 70 %	Sm., Chl., Mica, Kaol., Qt.
4	$g = 1$, Mica 65 %	C/S or swelling chl., Anal., Qt., F.
5	$g = 1$, Mica 60 %	Chl., Kaol., Qt., F.
6	$g = 1$, Mica 54 %	C/S., Chl., Anal., Q., F.
7	$g = 1$ or 0, Mica 20 %	Chl., Mica, Q., F.
8	$g = 0$, Mica 15 %	Crist., Cp., Mor., F. ¹
9	$g = 0$, Mica 10 %	Qt., F.
<i>Minerals found in diagenetically altered rocks</i>		
10	$g = 0$ or 1, Mica 35 %	Mor.
11	$g = 0$, Mica 15 %	Mor., Qt.
12	$g = 0$, Mica 15 %	Crist., Cp., Mor., Qt., F.

C/S : Chlorite/smectite interstratified mineral, Sm. : Smectite, Chl. : Chlorite, Kaol. : Kaolinite, Cp. : Clinoptilolite, Mor. : Mordenite, Anal. : Analcime, Crist. : Cristobalite, Qt. : Quartz, F. : Feldspar.

針生地域では、雲母/スメクタイト混合層鉱物のほとんどは Fig. 2 に示すように、鉱物分布図の曹長石-緑泥石-絹雲母帯(ほぼ浅布層に相当する)に産する。そして、その分布は偏在していて、その近くには常に安山岩、石英安山岩等の火山岩類の貫入、あるいは石膏鉱床などが認められる。そして、この雲母/スメクタイト混合層鉱物には、良結晶度のカオリナイト鉱物(ディッカイト、場所によってはパイロフィライトも含む)が伴われることが多い¹⁾。

船生鉱山では、雲母/スメクタイト混合層鉱物は鉱体のどの部分にも認められるが、全体として見ると鉱体の東側-凝灰岩と接する部分-に多いようである。そして、それは緑泥石、雲母、パイロフィライト、カオリナイトを伴うことが多い (Fig. 3)。鉱物組合せから考えると、1) 雲母/スメクタイト混合層鉱物+緑泥石、2) 雲母/スメクタイト混合層鉱物+パイロフィライト、3) 不規則型雲母/スメクタイト混合層鉱物+雲母の3つの型に細分される⁶⁾。

4. 雲母/スメクタイト混合層鉱物の成因

混合層鉱物の成因は、現在では、初生的なものと、二次的なものとに分けて検討されている。そして、二次的な成因については、既存の鉱物に特別のイオンが付加される過程 (aggrading process) と、イオンが取り去られる過程 (degrading process) に分けて考察されている。一般には、前者には続成作用が、後者には風化作用が考えられ、熱水変質作用は、両者の性質を合せもったものと考えられている。

Fig. 2 Mineralogical zones and mineral distribution in the Haryuu area.

1: Quaternary welded tuff, 2: Volcanic glass-smectite zone, 3: Zeolite-smectite zone, 4: Albite-chlorite-sericite zone, 5: Clinoptilolite, 6: Mordenite, 7: Mica/smectite interstratified mineral, 8: Well-crystallized kaolinite (dickite).

続成作用による鉱物の変化は、埋没による温度、圧力の上昇と母材の性質によって定まるので、一般には鉱物の分布(地層内での鉱物の生成)は、地層の分布と一致する。Fig. 1 に示した新庄の例でもこの事は明らかである。針生地域でも黄、下田⁹が示したように、浅布層では、曹長石、絹雲母、緑泥石が多く、鎌越沢層の下部では、沸石、スメクタイトが、上部では火山ガラス、スメクタイトが主な変質鉱物として認められる (Fig. 2)。このような所に火山岩類の貫入があると、その付近では鉱物の分帯がみだされ、別の鉱物が火山岩体と関係して、別の鉱物分帯を形成する。針生では、曹長石-緑泥石-絹雲母帯の緑泥石の減少に伴って、雲母/スメクタイト混合層鉱物の形成が認められる。また、この混合層鉱物の形成に伴って、カオリン鉱物(主にディッカイト)、パイロフィライトなどの熱水変質作用で形成されたと思われる鉱物も認められる。

羽鳥湖付近でも続成と熱水作用の重なったと考えられる変質作用による雲母/スメクタイト混合層鉱物の形成が認められる。ここでは、続成作用で形成された斜プチロル沸石、モルデン沸石、少量の雲母/スメクタイト混合層鉱物が、多量の雲母/スメクタイト混合層鉱物、緑泥石/スメクタイト混合層鉱物を経て、雲母、石英、長石に変化していくことが明瞭に認められた。この変化の過程は、一般にいわれている続成作用によるものと良く似ていて、ここでは、火山岩類の貫入による温度の上昇が、埋没による温度の上昇と同じ働きをしたものと思われる。しかし、熱水変質作用には、既存の鉱物が

Fig. 3 Distribution map of clay minerals at the Funyu mine.

らイオンを取り去る働きと、付加する働きが強いので、単純に温度の上昇のみが作用したとはいえない。

船生鉱山の場合には、パイロフィライト、雲母、緑泥石、カオリナイトの共生から、熱水変質作用が強く関与したものと思われる。この鉱山に産する雲母/スメクタイト混合層鉱物は、結晶度のよい規則型のものが多い。そして、化学組成は珪酸塩層間に Na を持つレクトライトであるが、不規則型のものでは、層間に K イオンが多くなる。結晶構造上は、両者は連続する ($g=1 \sim g=2$) のもののようであるが、化学組成上からは別の系列に属するものかも知れない。

5. ま と め

雲母/スメクタイト混合層鉱物は、続成作用でも熱水変質作用でも形成されるが、一つの混合層鉱物を見て、それがどちらの作用で形成されたかを知ることが困難なことが多い。結晶構造の面からは、 $g=0$ のものは続成作用が、 $g=1$, $g=2$ のものは熱水変質作用が強く関与したものと考えられる。しかし、Table 3 に示したように、 $g=0$ でも熱水の影響が考えられるものもあるので、地質、共生鉱物等を検討して、総合的に判断する方がよいと思われる。共生鉱物としては、オパール CT(クリストバラ

イト)の X 線回折線, 形態, アナルシムの a_0 の値, 雲母粘土鉱物のポリタイプ, カオリナイト, デイッ
カイト, パイロフィライトなどの存在の有無などが検討の対象になるものと思われる。

文 献

- 1) 黄 辰淵・下田 右: 粘土科学 **23**, 70 (1983).
- 2) 本多朔郎: 「堆積岩の続成作用に関する研究」(総合研究 A, 代表 田口一雄) 報告書 No. 1, 53 (1981).
- 3) Saha, P.: Amer. Miner. **44**, 300 (1959).
- 4) 下田 右・富田克利・松倉公憲: 「堆積岩の続成作用に関する研究」(総合研究 A, 代表 田口一雄) 報告書 No. 3, 89 (1983).
- 5) 下田 右・木股三善: 「鉱物の続成過程に見られる結晶構造ならびに化学組成の変化」(一般研究 B, 代表 下田 右) 報告書, 1 (1984).
- 6) 篠原也寸志: 筑波大学地球科学系卒業論文 (1981).