

## 《解 説》

# 天然ゼオライトの産状と成因

## (1) 最古のゼオライト

歌 田 実

東京大学総合研究資料館

## 1. はじめに

天然ゼオライトの結晶は実に美しい。外形も大きさもいろいろであるが、その美しさに魅惑され、とりことなった人は、研究者から“鉱物マニア”まで古今東西にその数は知れない。

筆者が天然ゼオライトに抱いている興味は、結晶の美しさも勿論のこと、地質学的見地からはその産状と成因についてである。今世紀半ばまで知られていたゼオライトの産状は、肉眼やルーペで識別できるものに限られていたため、稀ではないにしろ普遍的に見られる鉱物には数えられていなかった。しかし、変成作用の立場からEskola<sup>1)</sup>によりゼオライト相が定義され、Coobms<sup>2)</sup>によりニュージーランド南島の非変成とされていた三疊紀層中にゼオライト相が実在することが明らかにされた。このような続成～変成作用<sup>\*1</sup>によるゼオライトはX線により検出されるサイズであり、大ざっぱに云えば、地球表層に普遍的に存在するようである。この他、アルカリ塩湖堆積物、深海底、活地熱地帯や種々の鉱床地帯からもゼオライトの存在が報告され、その産状や成因が多様であることが明らかになった。ここでは、それらに関するいくつかの話題について思いをつくまま、順不同で述べていきたい。

## 2. ゼオライトの生成時代

ゼオライトは普遍的とは云うものの、地球上に一樣には分布してはいない。実際、次回に述べるように岩石の種類によって出現頻度にかかなりの差異がある。また、含ゼオライト岩の地質時代には偏りが著しい。したがって、最も古いゼオライトが何時、何処に、どんな成因のものかは、筆者にとって大変興味ある問題である。その理由は、ゼオライトの成因から、その生成物理化学的条件を知ることができ、地殻表層の環境変化を知る鍵をにぎっているからで

ある。このアプローチは筆者の主要研究テーマの一つでもある。岩石の種類、産状、成因に無関係に報告された全ての含ゼオライト岩の地質時代をみると、新生代が約45%、中生代、25%、古生代、5%、不明25%であり、先カンブリア時代は1例が知られているに過ぎない。このように大きな偏りがみられる理由の一つは、時代の古い岩石程、高温・高圧で生成した深成岩と変成岩の露出している比率が高いためと考えられる。しかし、先カンブリア時代でも、原生代はカンブリア以後と岩石の性質や構成、地質構造において大きな差異がみられず、ゼオライトが少ない理由はこの他に考えなければならない。

## 3. 原生代Keweenawan 層群中のゼオライト

現在確実である先カンブリア時代の含ゼオライト岩は北米スベリオル湖北岸のKeweenawan 層群中のもの1例のみである(図1)。

Keweenawan 層群は原生代中期の“Mid-continental rift”の堆積物であり、ゼオライトを産出するその下部は、主として玄武岩溶岩で、薄い砂泥岩と流紋岩質凝灰岩をささむ。全層厚は6000mを越える。これらはほとんど同時代の貫入岩類に貫かれており、とくに西南部のDuluth complexは巨大であり、主要岩相はハンレイ岩であるが斜長岩やカコウ岩なども含まれている<sup>3,4)</sup>。スベリオル湖北岸のゼオライトは古くから知られており<sup>5)</sup>、Good Hope Bay 西岸から産するトムソン沸石は宝石として加工されてきた。近年、ハイデルベルグ大学のS. Schmidt<sup>6)</sup>により、ゼオライトの詳しい産状と成因が報告された。筆者は清水正明氏<sup>\*2</sup>とともに1989年夏に現地を訪れ、その産状を観察する機会を得たが、Schmidtの成因説には疑問をもった。そのため、1992年夏に再訪して調査を行った<sup>7)</sup>。以下はその結果にもとづくものである。

\*1 “埋没続成作用”と同義。以後はこの語を用いる。

\*2 東京大学総合研究資料館

(1) ゼオライトの種類と産状：ゼオライトは主として Keweenaw 層群下部の玄武岩溶岩中に生成している。玄武岩溶岩は数mの層厚をもち、図2に示したように、その上面および下面には気泡がぬけたために生成した晶洞やシリンダーが多く生成しており、著しく多孔質で、赤褐色を呈している。これに対し、中心部は緻密で、黒色～黒灰色を呈している。ゼオライトは主として上部と下部の晶洞などを充めて生成し、肉眼またはルーペで鑑定できるサイズである。晶洞などの周辺部では XRD で検出できるサイズのゼオライトが斜長石やガラス質石基を交代して生成している。また溶岩のみでなく砂泥岩や貫入岩を切っている数mmから数10 cm の脈中にもゼオライトは生成している。ゼオライトの種類は、

濁沸石、輝沸石、束沸石→ステラ沸石、トムソン沸石、剥沸石、モルデン沸石および方沸石であり、3つの産状によりその種類に大きな違いはみられない。これらと共に生成する変質鉱物は、長石、粘土鉱物、緑レン石やブドウ石などの珪酸塩類、石英や赤鉄鉱などの酸化物、炭酸塩類、硫化物・硫酸塩、自然銅など30種に及ぶ。晶洞やその周辺に生成したゼオライトは脈などを中心に累帯分布をする特徴がある。典型的な場合は、中心から周縁部へ、緑レン石→ゼオライト→方解石、の順に分布し、石英と緑泥石が最も普通の共生鉱物である。ゼオライトの中では濁沸石が最も多くみられ、濁沸石→輝沸石→ステラ沸石、トムソン沸石と累帯分布することが多い。

(2) ゼオライトと関連する変質鉱物の分布：上述の累帯分布は水平方向に数100 mから数kmの拡がりを持つ7つの変質帯に分布している。これらの変質帯はNEE-SWWの方向性をもち、強い構造規制を受けている。ゼオライト脈はこの主方向のものと、共役方向にあるNWN-SES方向のものが卓越している。

(3) ゼオライトの成因：上述のような累帯分布や強い構造規制はゼオライトの成因が熱水変質作用によるものであることを強く示唆する。これは、岩石帯磁率の分布にもよく示されている。すなわち、帯磁率は変質鉱物を含まない新鮮な玄武岩は $10^{-1}$  SIオーダーであるにもかかわらず、方解石帯やゼオライト帯は $10^{-2} \sim 10^{-4}$  SI、変質の中心部では $10^{-5}$  SI以下である。これは、岩石中の磁性鉱物が熱水変質作用により分解したため、中心部で著しく帯磁率が減少したものと解される。

S. Schmidt<sup>6)</sup> はスペリオル湖岸南西部の調査から、広域変成作用によるものとしているが、この場合には層準の上位から下位に、例えば、束沸石→輝沸石→濁沸石のように累帯分布がみられ、この順に各ゼオライト間の交代関係がなければならない。これらの点は今回の調査結果からは否定され、熱水変質作用の他に、前述の Duluth complex の貫入に伴う熱変成作用の存在が明らかになった。ゼオライトを生成した熱水変質作用は各種の岩脈の貫入後まで続いていたことは明らかであり、両者共に原生代リフト帯の火成活動と無関係とは考え難い。放射年代の測定はまだ行われていないが、Keweenaw 層群中のゼオライトは、熱水活動があったと考えられる原生

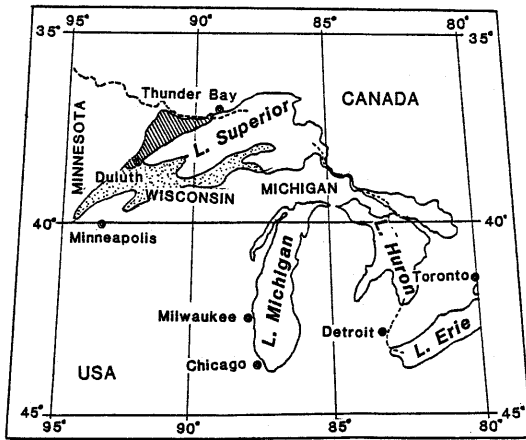


図1 Keweenaw 層群の分布域(点で示した部)とその下部(斜線で示した部分)の分布域  
ゼオライトの産地は斜線部の湖岸に面した地域が多い。

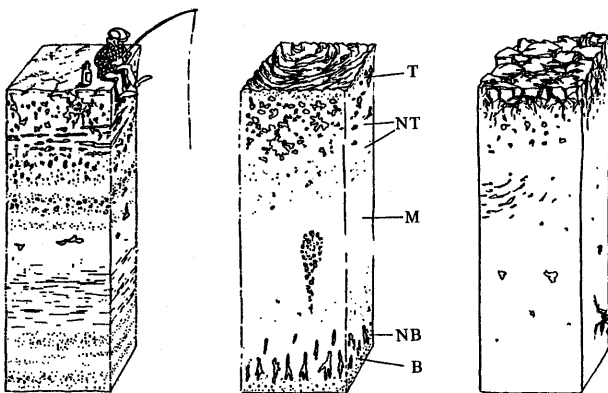


図2 玄武岩の含ゼオライト晶洞の産状  
晶洞はガスの抜けた跡で、上面と下面に集中している (Schmidt, 1990)

代中期から後期に生成した可能性が極めて高い。

#### 4. カンブリア紀以後のゼオライトとの比較

上述の Keweenawan 層群中のゼオライトの産状は、カンブリア紀以後における熱水変質作用によるゼオライトの産状と差異がない。玄武岩溶岩の晶洞中に多種のゼオライトが生成している例は多く、Gottardi<sup>8)</sup>らはその成因を熱水変質作用によるものと類推している。身近の例では、伊豆半島はゼオライトの美晶の産地が多数あるが、いずれも鮮新世以後の熱水変質作用により生成したものである<sup>9)</sup>。とくに、大洞林道などで観察されたゼオライトの産状や累帯分布は Keweenawan 層群のものと酷似している。

#### 5. おわりに

現時点では先カンブリア時代のゼオライトは研究例があまりに少ないが、今後埋没続成作用やアルカリ塩湖環境下で生成したゼオライトなどが見つかる

ことを期待したい。また、始生代にもゼオライトが生成したかどうかなど、この方面の研究は益々興味深くなってきたと云えよう。

#### 参考文献

- 1) Eskola, P., Geol. Fören, Stockholm Förh., **51**, 157–172 (1929).
- 2) Coombs, D. S., Trans. Roy. Soc. New Zealand, **82**, 65–109 (1954).
- 3) Green, J. C., *Geology of Minnesota*, Minnesota Geol. Surv., 487–522 (1972).
- 4) Goldich, S. S., Nier, A. O., Baadsgaard, H., Hoffman, J. H., and Kruger, H., Minnesota Geol. Surv. Bull., **41**, p. 193 (1961).
- 5) Stoiber, R. E. and Davidson, E. S., Econ. Geol., **54**, 1250–1277 & 1444–1460 (1959).
- 6) Schmidt, S. Th., Heidelberg, Geowiss, Abh., **41**, p. 309 (1990).
- 7) 歌田 実・清水正明, 地学雑, **102**, 604–607 (1993).
- 8) Gottardi, G. and Galli, E., *Natural Zeolite*, p. 409 (1985).
- 9) 歌田 実・清水正明, 粘土科学, **30**, 11–18 (1990).

### Occurrence and Genesis of Natural Zeolites (1) Oldest Zeolite

Minoru UTADA

University Museum, University of Tokyo

Natural zeolites have been reported from a large part of the earth's surface. Most of them occur in Mesozoic and Cenozoic rocks, while they are rare in Paleozoic and Precambrian ones. The northshore of L. Superior is a classic locality of Precambrian zeolites. Recently, the writer surveyed mode of occurrence and distribution of these zeolites. He found seven zeolites such as laumontite, heulandite, stilbite-stellerite, thomsonite, epistilbite, mordenite and analcime. They mainly occur in veins, vugs or interstices of lava flows in the Keweenawan Group (middle Proterozoic). They are probably of hydrothermal origin.