

## ボニナイトとサヌカイトの 微量元素の特徴

理学部 白木敬一

### 1. はじめに

ボニナイト（無人岩）とサヌカイト（讃岐岩）は、それぞれの岩石が発見された小笠原諸島の古名：無人嶋（Bunin-shima→Bonin）と四国讃岐の地名をとって名づけられた、いずれもSiO<sub>2</sub>に対するMgOが高い特異な性質をもつ安山岩の一種である。ふつう安山岩は玄武岩マグマからおもに結晶分化作用によって生ずるので、玄武岩よりSiO<sub>2</sub>が増えMgOが減少する。ところがボニナイトとサヌカイトは、SiO<sub>2</sub>含有量は安山岩と同じだが、MgOが玄武岩と同じか、時にはそれより高いという特徴をもっている。従って、それらは玄武岩マグマから結晶分化作用によって生じたものではなく、玄武岩マグマと同様に、MgOに富むマントルが直接融けてつくられたものと考えられる。

地球上でマグマは、1) プレート内部（ホットスポット）、2) プレート生成域（中央海嶺）、3) プレート消滅域（沈み込み帯）で生ずる。いずれも玄武岩は出現するが、安山岩は、1)・2) では見られず、沈み込み帯でしかつくられない。沈み込み帯が前二者と異なる点は、海水と接して水を含んだ海洋プレートが沈み込みによってマントル深くまで持ち込まれていることである。そこで安山岩の生成は水の存在と関係することが予想される。事実、マントルでつくられる安山岩であるボニナイトとサヌカイトも、水の存在と密接に関係することが、蛍光X線分析による微量元素の研究から明らかになったので紹介する。

### 2. ボニナイトとサヌカイトの発見

ボニナイトは1891年ドイツのPetersen<sup>1)</sup>によって、博物学者Warburgの採取した標本から、「カンラン石と古銅輝石（Mgに富む斜方輝石）の斑晶をもち長石を欠くガラス質安山岩」と定義して命名された。

古銅輝石を含む火山岩は欧米諸国では非常に珍しく、このような岩石は今まで知られていなかったのも、新種の岩石とした訳である。そして表1の2に示す分析値を与えたが、その値はふつうの安山岩の組成となんら変わりのないものであった。

これ以前の1888-89年、日本における近代的鉱物学の創始者といえる菊池安（1862～1894）は、小笠原諸島の岩石について詳細な研究を発表していた<sup>2)</sup>。彼はすでに小笠原父島の火山岩が日本本土の火山岩と異なる特殊なものであることに気づいていた<sup>3)</sup>。しかしそれに特別な名称は与えなかった。彼の得た分析値を表1の1に示す。これは現在のボニナイトの分析値（表1の3）と極めて良く一致する。しかし、SiO<sub>2</sub>に対するMgOが余りにも高く、岩石学の常識に反する結果であったため、当時の岩石学者からは全く無視され、いつしか忘れられてしまった。

サヌカイトは、たたくと良い音色がするのでカンカン石と呼ばれ、讃岐地方で古くから知られていた。そのため地質学のお雇教師であったNaumannの注意をひき、本国ドイツの岩石学者Weinschenkに研究が依頼された。Weinschenk<sup>4)</sup>は、カンカン石が古銅輝

表1 ボニナイト・サヌカイト及び随伴する玄武岩の組成

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub> %	57.49	57.03	57.6	48.84	56.95	51.29
TiO <sub>2</sub>			0.15	0.56	0.72	0.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.62	19.02	11.1	16.28	14.01	17.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.48	5.73	9.38	9.14	7.66	8.45
MnO			0.18	0.20	0.13	0.13
MgO	13.46	4.83	12.3	12.17	8.96	8.87
CaO	5.41	8.03	7.33	10.60	7.01	9.07
Na <sub>2</sub> O	2.18	4.15	1.56	1.90	2.73	3.31
K <sub>2</sub> O	0.37	1.21	0.47	0.25	1.68	0.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0.03	0.07	0.15	0.12
Rb ppm			10.2	3	67.2	18.1
Sr			66.8	216	269	231
Ba			31.1	37	328	128
Zr			17.5	42	114	93.0
Y			4.1	16	19.2	21.6
Nb			0.5	1.5	5.9	3.8

1. Kikuchi (1889) による父島のガラス質岩の分析値
2. Petersen (1891) によるボニナイトの分析値
3. 小笠原父島のボニナイト平均値
4. 小笠原母島のソレアイト質玄武岩
5. 瀬戸内海西部のMgO>6%サヌカイト平均値
6. 香川県高見島のサヌカイト質玄武岩

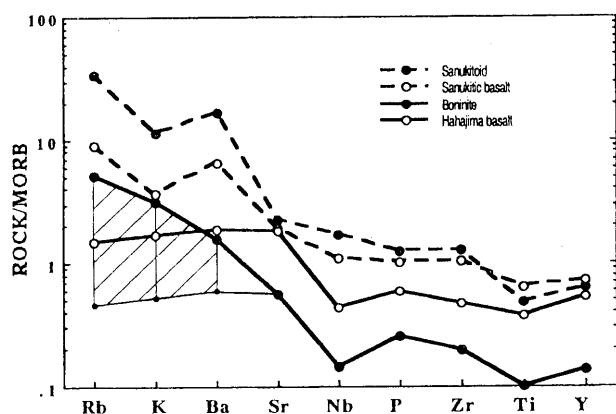


図1 小笠原父島ボニナイト，母島ソレアイト質玄武岩，瀬戸内サヌキトイド，瀬戸内サヌカイト質玄武岩の中央海嶺玄武岩（MORB）規格化パターン

石とガラスだけで構成されていることを知り，新種の火山岩としてサヌカイトと名づけた。後にKoto<sup>6)</sup>は，瀬戸内海地域の第三紀火山岩が全体として古銅輝石に富むことを見出し，サヌキトイドと総称した。サヌカイト・サヌキトイドは，日本ではボニナイトより知られていたが，欧米諸国においてはほとんど注目されなかった。

1975年著者ら<sup>6), 7), 8)</sup>は小笠原父島において，ボニナイトが深海底に噴出した枕状溶岩として大量に存在すること，及びボニナイトは菊池が示したように著しくMgOに富む安山岩であることを明らかにした。そして同様な高マグネシア安山岩は，沈み込み帯にしばしば見出され，サヌカイトを典型として，日本列島には特に多いことを指摘した<sup>9), 10)</sup>。その後ボニナイトは，マリアナ・パプア・ニューカレドニア・トンガなどの西太平洋の島弧や，オフィオライトと呼ばれる海洋地殻が陸上に露われたものなどから，続々と発見された<sup>11), 12), 13)</sup>。しかしサヌカイトについては，全く同様なものは日本列島以外からは未だ見つかっていないようである。

### 3. ボニナイトとサヌカイトの特徴

ボニナイトとサヌカイトはともに古銅輝石をもつ安山岩であるが，いくつかの異なる点がある。ボニナイトはカンラン石を含むがサヌカイトには含まれない。カンラン石はマントルに最も多く含まれてい

るので，マントルで生ずるたいていのマグマからいちばん初めに晶出する。カンラン石をもたないサヌカイトはカンラン石が取り去られた残りの液相を表しているであろう。サヌカイトに伴って産するサヌキトイドの中には，カンラン石を多く含むものがあり，マントルに由来する初生のマグマを表すと考えられる。その組成を表1の5に示す。サヌキトイドとボニナイトの主成分元素組成を比べると，ボニナイトはサヌキトイドよりSiO<sub>2</sub>に対するMgOの高いことがわかる。これは鉱物組成に反映し，ボニナイトの中には単斜頑火輝石という古銅輝石よりさらにMgに富み，地球上の岩石ではボニナイト以外からは知られていない輝石を含むものもある<sup>14)</sup>。MgOの高いボニナイトは，マントル物質がより多く融け込んだことを示し，サヌキトイドより高温もしくは水の多い条件下で生じたと推定される。

ボニナイトはTi・Na・K・P・Rb・Sr・Ba・Zr・Y・Nbがサヌキトイドより低い。これらの元素は，マントル物質からマグマが生ずる時，マグマ中に入り易く，incompatible（液相濃集）元素と呼ばれる。図1にボニナイト・サヌキトイド及びそれらに伴う玄武岩のいくつかの液相濃集元素について，地球上で最も大量に見られる中央海嶺玄武岩（MORB）の含有量で割った値を示す。小笠原父島のボニナイトは，すぐ南の母島に産する玄武岩より，Rb・K・Baを除く液相濃集元素が著しく減少している。ボニナイトは先のマグマの生成によって，液相濃集元素を大量に失った枯渇した（depleted）マントルから生じたのであろう。一方，瀬戸内海地域のサヌキトイドはRb・K・Ba以外の液相濃集元素が伴われる玄武岩とほぼ等しく，両者はMORBをつくったと同様な組成のマントルから生じたことと見ることができる。ただし，サヌキトイドにおけるRb・K・Baの高含有量は，これらの元素がなんらかの過程によって，サヌキトイド生成の場へ加えられたことを示している。ボニナイトについてもRb・K・Baは，図1の斜線部分が加えられたとして，他の液相濃集元素に比べて高い含有量を説明することができる。Rb・K・Baは水に伴って移動しやすいことが知られており<sup>15)</sup>，これらの元素は水によって運ばれたと考えられる。マグマ生成の場であるマントルに多量の水が加えら

れた時ボニナイトやサヌキトイドが生じ、水に乏しいマントルからは玄武岩が生じるのであろう。水の存在はまた、生成されるマグマのSiO<sub>2</sub>量を増加させることが実験的に確かめられている<sup>16)</sup>。

#### 4. ボニナイトとサヌカイトの生成条件

ボニナイトやサヌカイトの生成に必要とされる水は、沈み込んだプレート (subducted slab) から供給されるだろう。これはこれらの岩石が沈み込み帯に限られて産する事実と一致する。沈み込むプレートは一般にまわりのマントルと比べ冷たいので、水によって融解温度が下がるとはいえ、沈み込み帯でのマグマ発生には温度を上昇させる機構が必要である。特にボニナイトは融解実験から、水を含み35km

より浅いマントルが1200°C以上に達したとき生ずることが知られている<sup>17), 18)</sup>。この温度圧力条件は、玄武岩マグマを大量に生成し、海洋プレートをつくる中央海嶺 (mid-ocean ridge) 下と同じであり、通常の沈み込み帯とは異なる高い地下増温率が要請される。図2に高温をもたらす2つの機構を示す<sup>19)</sup>。Aはマグマを発生しつつある海嶺下に沈み込みが起こった場合であり、Bはマグマを発生しつつある海嶺が沈み込んだ場合である。最も高温を示すボニナイトの生成は、A・Bが同時に起こる、即ち高温の海嶺下に同じく高温の海嶺が沈み込んだ場合に相当するだろう<sup>20)</sup>。一方、マグマ発生の際である沈み込んだプレートの上のマントルは、年代が古くなるほど、また海嶺の中心軸から離れるほど、低温となり、そこから含水下で生ずるマグマは、よりMgOに乏しいサヌカイト質の高マグネシア安山岩となるだろう<sup>21)</sup>。

#### 5. おわりに

陸地を構成する安山岩や花こう岩は水の惑星、地球特有の岩石であるらしい。水の欠如する月や金星の表面は、地球の海底と同様に、玄武岩によっておおわれ、現在知られている限りでは、安山岩や花こう岩は存在しないようである。地球では、海として大量に保持されている水が、プレート運動により地球内部と表面を循環し、SiO<sub>2</sub>に富む軽い岩石を表面に運び、重い玄武岩の上に浮かぶ陸地をつくりあげた。海と陸はしばしば対比されるが、岩石学的にも海なくして陸は生じ得なかったといえることができる。

#### 参考文献

- 1) Petersen, J., (1891); Jahrb. Hamburg. Wiss. Anst., 8, 1-95.
- 2) Kikuchi, Y., (1889); J. Coll. Sci. Imp. Univ. Japan, 3, 67-89.
- 3) 菊池安, (1888); 東洋学芸雑, 5, 64-69.
- 4) Weinschenk, E., (1891); N. Jahrb. Min. Petr. Paleont., B7, 133-151.
- 5) Koto, B., (1916); J. Geol. Soc. Japan, 23, 95-157.
- 6) 白木敬一, 黒田直, (1975); 三鈷学会演旨

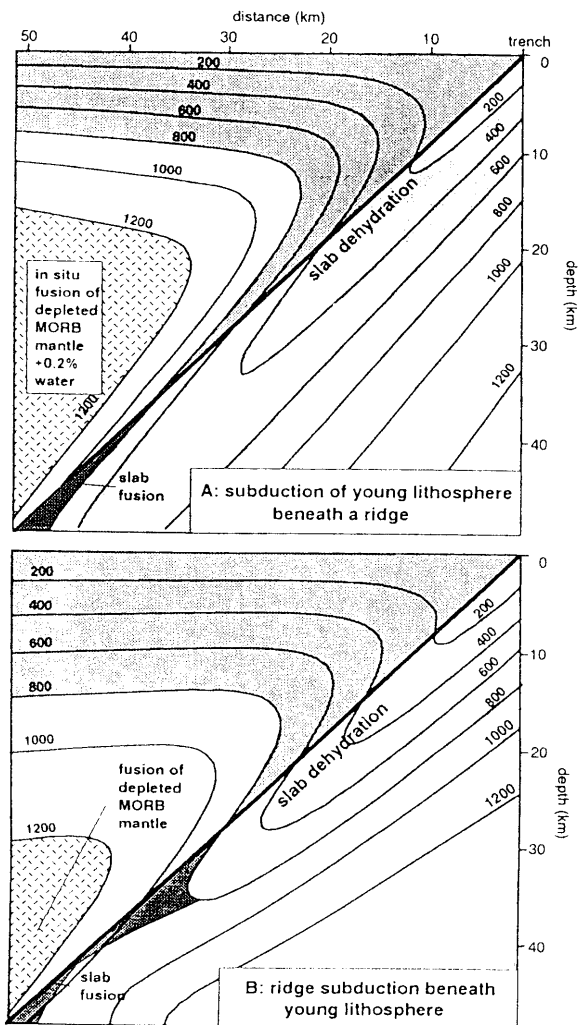


図2 沈み込み (subduction) 帯において高温をもたらす2つのモデル

- 集, 55.
- 7) Kuroda, N., Shiraki, K., (1975); Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ., 10, 145-155.
  - 8) Kuroda, N., Shiraki, K., Urano, H., (1978); Bull. Volc., 41, 563-575.
  - 9) 白木敬一, 黒田直, (1977); 地学雑, 86, 174-190.
  - 10) Suzuki, K., Shiraki, K., (1980); Contrib. Mineral. Petrol., 71, 313-322.
  - 11) Sun, S. S., Nesbitt, R. W., (1978); Geology, 6, 689-693.
  - 12) Varne, R., Brown, A. V., (1978); Contrib. Mineral. Petrol., 67, 195-207.
  - 13) Cameron, W. E., Nisbet, E. G., Dietrich, V. J., (1979); Nature, 280, 550-553.
  - 14) Shiraki, K., Kuroda, N., Urano, H., Maruyama, S., (1980); Nature, 285, 31-32.
  - 15) Tatsumi, Y., Hamilton, D. L., Nesbitt, R. W., (1986); J. Volc. Geotherm. Res., 29, 293-309.
  - 16) Kushiro, I., (1972); J. Petrol., 13, 311-334.
  - 17) Umino, S., Kushiro, I., (1989); Crawford, A. J. ed.: Boninites, 89-111.
  - 18) van der Laan, S. R., Flower, M. S. J., Koster van Groos, A. F., (1989); Crawford, A. J. ed.: Boninites, 112-147.
  - 19) Pearce, J. A., van der Laan, S. R., Arculus, R. J., Murton, B. J., Ishii, T., Peate, D. W., Parkinson, I. J., (1992); Proc. ODP Sci. Results, 125, 623-659.
  - 20) 白木敬一, 藤岡換太郎, (1992); 地球, 14, 473-477.
  - 21) 白木敬一, (1993); 地質学論集, 42, 255-266.