

## 中国海南島産テクタイトの 希ガス組成と含水量について

下 良 拓\*・西 村 智佳子\*・Györgé CZUPPON\*  
松 本 拓 也\*<sup>\*\*\*</sup>・方 中<sup>\*\*\*</sup>・横 山 正\*  
中 嶋 悟\*・松 田 准 一\*

(2009年9月10日受付, 2010年3月6日受理)

### Noble gas compositions and water contents in tektites from Hainan Island

Yoshihiro SHIMO\*, Chikako NISHIMURA\*, Györgé CZUPPON\*,  
Takuya MATSUMOTO\*<sup>\*\*\*</sup>, Fang ZHONG<sup>\*\*\*</sup>, Tadashi YOKOYAMA\*,  
Satoru NAKAJIMA\* and Jun-ichi MATSUDA\*

- \* Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science,  
Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan  
\*\* Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University,  
Misasa, Tottori 682-0193, Japan  
\*\*\* Department of Earth Sciences, Nanjing University,  
Nanjing 210093, P. R. China

We investigated contents of the noble gas and water of tektite-like materials collected from several localities within Hainan Island, China. The island is located in the northern edge of the Australasian strewn field, and has been known as providing different types of tektites. One of the major objectives of this study is to identify the samples as tektites and to classify them into subtypes based on the analytical results. Noble gas compositions, as expected for tektites, are characterized by neon enrichment, while the Ne/Ar ratios are smaller than that of normal-type tektites, indicating consistent feature to that of previously reported Muong Nong-type tektites. Range of water contents agrees with those reported for Muong Nong-type tektites. Together with apparent morphological similarities between our samples and Muong Nong-type tektites, our results provide strong evidence to conclude that the studied samples are Muong Nong-type tektites. Since the Muong Nong-type tektites are formed relatively closer to impact craters, our findings and further studies on the Muong Nong-type tektites will help to narrow out the possible location of the source crater of the Australasian tektites.

**Key words:** noble gas, water, tektite, Hainan Island, Muong Nong-type

\* 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻  
〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1  
\*\* 岡山大学地球物質科学研究センター  
〒682-0193 鳥取県東伯郡三朝町山田827  
\*\*\* 南京大学地球科学科  
南京210093, 中華人民共和国

### 1. はじめに

テクタイトとは通常数 cm 程度の、黒色から緑色、あるいは茶色をした天然シリケートガラスである。一見すると黒曜石に似ているが、以下に述べるように外見が非常に特徴的であり、その成因については長く解

明されず「謎の石」とされ人々の興味をひいてきた。

テクタイトは、マイクロテクタイトを除けば、外見的特徴から以下の三種に分類される。(1) 液滴型テクタイトは、最も多く産出されるテクタイトであり、球形や涙型、または回転の痕跡が見られるものもある。(2) 溶融剥離型テクタイトは、空気中を高速で飛行した痕跡が見られるものである。化学組成は液滴型テクタイトとほぼ同じであるが外見が異なっており、いわゆるつばのあるボタンのような形をしたものがこれに分類される。溶融剥離型テクタイトの形状は、溶けた状態で空気抵抗を受けながら高速で空気中を飛行することにより形成されることが実験的に示されている (Chapman and Larson, 1963)。上記の二種類を普通テクタイトと呼ぶ。(3) Muong-Nong 型テクタイトは、普通テクタイトと異なり、不規則な形状を持ち、明暗の層状構造も確認される。また化学成分が不均一であり、揮発成分や気泡が多いなどの特徴から普通テクタイトとは区別され、特殊なテクタイトとされる (松田, 2008)。

テクタイトの成因についてこれまでは、火成岩の一種である、または月から飛来した隕石である、などの議論がなされてきた (O'Keefe, 1964; 1994; Koeberl, 1994)。多くの化学的・同位体的研究はすべて地球起源であることを示唆しており、現在では隕石の衝突により地表堆積物が溶融後、大気中に放出され固化し再び地表に落下し形成されたと考えられている (Taylor, 1973; King, 1977; Glass, 1990; Koeberl, 1986)。テクタイトは大きく分けて四つの分布域 (strewn field と呼ばれる) でのみ発見される。そのうち、Ivory Coast 分布域、Central European 分布域、North America 分布域については、それぞれガーナの Bosumtwi クレーター (Shaw and Wasserburg, 1982)、ドイツの Ries クレーター (Engelhardt *et al.*, 1987)、アメリカ合衆国のチェサピーク湾口 (Koeberl *et al.*, 1996) が衝突地点として特定されている。オーストラリアから東南アジアにかけて広がる Australasian 分布域についてはいまだその衝突地点が特定されていない。

隕石が地球上に落下した時に地球表面物質が融解固化したガラス物質としては、衝撃ガラスが知られているが、その形はいびつであり、化学成分も一様でなく、水の含有量も高いことから、テクタイトとは明らかに異なっている。

テクタイトに含まれる希ガスの同位体比や元素存在

度から、その起源や形成過程を探る研究は広く行われている (たとえば Hennecke *et al.*, 1975)。Matsubara and Matsuda (1991) は希ガスの中でも特にネオンのみがテクタイトガラスに濃縮していることを発見した。希ガスは不活性であるために、固相—液相での分配や、拡散、吸着過程において質量に依存した分別を示すことが期待される。しかし、テクタイト中の希ガスの元素存在度を大気と比較した場合、ネオン/アルゴン比のみが際だって大気よりも高く、簡単な物理過程では説明不能であることが指摘されてきた。その後、Matsubara and Matsuda (1995) は、ネオンが大気からガラス中に容易に拡散していくことを室内実験で確かめた。高温真空下で脱ガスさせたテクタイトを大気にさらすと、室温でも数週間のうちにネオンが飽和したのである。またテクタイトをすりつぶし、その粒子サイズが小さくなるにつれネオン含有量が減少していくことも確認した。これらの結果はネオンがテクタイトのガラス中よりも気泡内に入っていることを示唆した。

また、ヘリウム・ネオンなどの軽い希ガスは濃集しているが、アルゴン・クリプトン・キセノンのような重い希ガス量は少ないこともテクタイトガラスに見られる特徴である。Matsuda *et al.* (1993) によれば、これは周囲の圧力が 1 bar よりも低い大気中でテクタイトが周囲の大気と平衡に達しながら固化したことを反映したためである。テクタイトガラス中のアルゴン・クリプトン・キセノン濃度とその溶解平衡値を比較して、Matsuda *et al.* (1993) は、テクタイトが固化した高度は 20~40 km であると結論づけた。

中国海南島は Australasian 分布域の北限に位置する (Fig. 1)。海南島東北部の Wenchang と Penglei 産の液滴型テクタイトについては岩石学的、および地球化学的記載が Lee *et al.* (2004) により報告されている。彼等の研究によれば、海南島産テクタイトの Ar-Ar 年代は 70~80 万年であり、Australasian 分布域のテクタイトについて報告されている値 (Koeberl, 1990) と良く一致していた。一方、海南島からは Muong-Nong 型テクタイトも発見されている (Barnes, 1964; Wasson, 1991)。これまで、Muong-Nong 型テクタイトについての化学分析・希ガス分析は、タイ等からの試料について行われている (Koeberl, 1992; Mizote *et al.*, 2003)。海南島からの Muong-Nong 型テクタイトは、3 個の試料について化学分析が報告されているのみであり (Wasson,

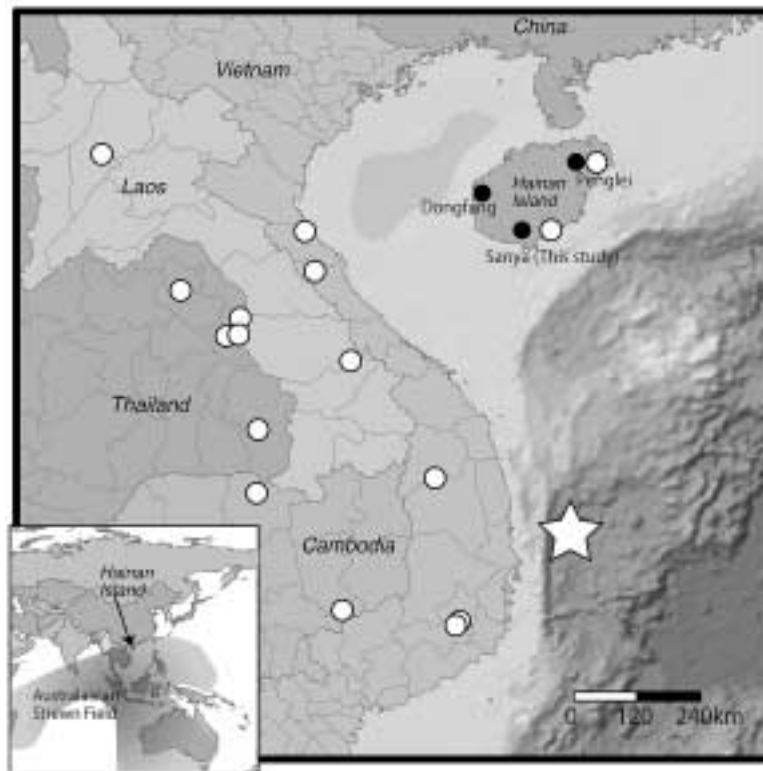


Fig. 1 Location of Hainan Island and the sampling locations (Sanya and Penglei). The sampling locations of Muon-Nong type tektites in Wasson (1991) are shown by open circle. The crater location estimated by Schnetzler *et al.* (1988) is also indicated by star symbol.

1991), 希ガスデータについては全く報告がない。我々は、海南島でテクタイトがどのような状態で産出しているのかを実際に観察し、採取したテクタイト様試料について希ガスの存在度測定とネオン、アルゴンの同位体比測定、ならびに含水量の測定を行った。これらの結果に基づいて、採取したテクタイトがどのような種類のテクタイトであるのかを特定した。

## 2. 試料

本研究で用いた試料は、2003年11月30日から12月5日に大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻の惑星科学(松田)グループが中国の海南島にて採取した。中国海南島は中国南東部雷州半島南沖に位置する火山島で、始新世からの火山活動が確認されている。噴火の様式は、初期は石英ソレライトやカンラン石ソレライトの洪水型割れ目噴火、中期以降はアルカリかんらん石玄武岩とカンラン石ソレライトの中央型噴火であることが知られている (Ho *et al.*, 2000)。

試料は、海南島の南部 Sanya 地区周辺で採取した。崖や舗装されていない道路上の未固結の堆積物中には、黒色のガラス質のテクタイト様物質が点在する。11月30日に4個、12月2日に16個採取した。今回の測定にはこれらの試料から6個を用いた。試料の大きさは1~4 cm 程度であり、色は大部分が黒褐色であるが、一部変質を受けた部分が茶色に変色している。サンプリングの様子を Fig. 2に示す。試料には多数の気泡が含まれることを薄片の顕微鏡観察により確認した (Fig. 3)。

希ガス分析のための試料は数ミリサイズに粉碎し、表面の汚れを除去するためにエタノールおよびアセトン中で超音波洗浄を数回行った後に、約100°Cのオーブンで一晩乾燥させた。また含水量測定のための試料は、赤外光が透過できるようにダイヤモンドカッターを用いて0.3 mm~0.8 mm 程度にスライスした。

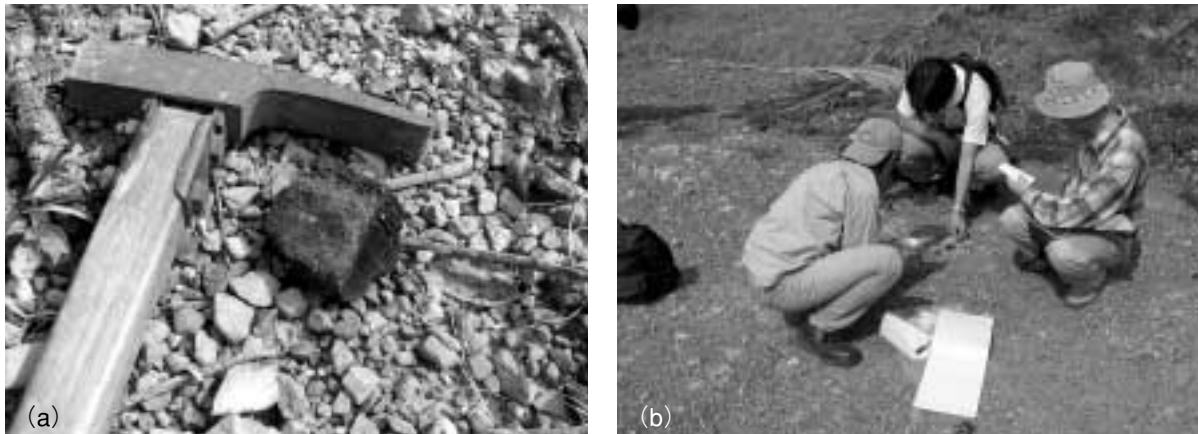


Fig. 2 (a) The sample SLT 031202-5 at the sampling location. (b) The photo of the sampling when tektite-like material was found.

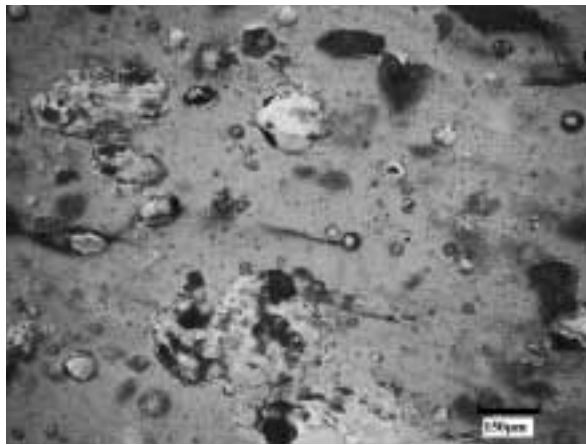


Fig. 3 Microphotograph of the thin section of the sample SLT 031202-3.

### 3. 実 験

#### 3.1 希ガス測定

大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻の地球試料用希ガス分析装置は、試料からガスを抽出するための真空中岩石試料破碎装置、抽出したガスから希ガス以外の成分を除去する精製システム、および磁場型質量分析計 (VG5400)、四重極質量分析計 (QMS) で構成される。真空中岩石試料破碎装置は6個の試料ホルダーを備えている (Matsumoto *et al.*, 2001)。約 0.3~3 g の試料を各ホルダーに入れ、真空下で破碎しその気泡内のガスを抽出した。ただし試料ホルダーの一つはブランクを決定するため空にしておいた。抽出したガスを試料破碎装置から直接つながるガス精製ラインまで広げる。チタンとジルコンのGetter作用を

用いて二酸化炭素や水のような活性ガスを除去した後、液体窒素温度の活性炭トラップにてアルゴン・クリプトン・キセノン を吸着捕獲し、ヘリウム・ネオンとの分離を行った。分離したヘリウム・ネオンおよび活性炭トラップ内のアルゴン・クリプトン・キセノンの2フラクションに対し四重極質量分析計にて測定を行い、その元素存在量を決定した。ネオンおよびアルゴンは、同位体比を測定するため、一部のガスを分取し、磁場型質量分析計でも質量分析を行った。

四重極質量分析計と磁場型質量分析計の感度および質量分別係数の決定は、大気を標準物質として用い、三回の測定より得た平均値から行った。

四重極質量分析計の各希ガスのブランク量は $^4\text{He} \sim 1.1 \times 10^{-9} (\text{cm}^3 \text{STP})$ ,  $^{20}\text{Ne} \sim 2.0 \times 10^{-9} (\text{cm}^3 \text{STP})$ ,  $^{36}\text{Ar} \sim 5.0 \times 10^{-10} (\text{cm}^3 \text{STP})$ ,  $^{84}\text{Kr} \sim 5.4 \times 10^{-10} (\text{cm}^3 \text{STP})$ ,  $^{132}\text{Xe} \sim 2.1 \times 10^{-11} (\text{cm}^3 \text{STP})$ であった。

希ガス測定後の試料粒子の大きさは粉碎回数に関わらず全て $150 \mu\text{m}$ 以下であった。試料気泡内の希ガスはほとんど抽出できたとみなし、粉碎後の試料重量で規格化して、単位質量当たりの希ガス存在度を算出した。

#### 3.2 含水量測定

含水量測定は、大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻の顕微赤外分光装置を用いて行った。赤外光を試料に照射し、その透過光を吸収スペクトルとして検出し、各薄片に対し三つの異なる箇所を測定しその平均をとった。試料含水量の分析は、Beran and Koeberl (1997) と同様に、得られた吸収スペクトル中の O-H 伸縮振動起源である $3550 \text{ cm}^{-1}$ での吸収強度 (ピーク高) を用いた。なお、シリケートガラス中の

水は、OH または H<sub>2</sub>O 分子として存在することが知られているが (Zhang, 1999), 本研究の試料から得られたスペクトルには、H<sub>2</sub>O 原子の存在を示す 1640 cm<sup>-1</sup> 付近の吸収が認められず、大部分は OH として存在していることが示唆された。測定に用いた赤外光の照射領域のサイズは 100 μm × 100 μm であり、気泡の影響を取り除くため顕微鏡にてその表面を観察しながら気泡の少ない箇所には赤外光を照射した。試料を置かずに測定した空気のスペクトルをバックグラウンドとし、湿度によるバックグラウンドのゆらぎを避けるためバックグラウンド測定は薄片毎に行った。

含水量の定量は Lambert-Beer 則を用い、以下で与えられる。

$$C = (18.02 \times \text{Abs}) / (\rho \times d \times \varepsilon) \quad (2)$$

C は含水量 (wt%), Abs は試料の 3550 cm<sup>-1</sup> での吸光度, ρ はガラス試料の密度 (g/L) で、全ての試料について 2300 g/L を用いた。d は試料の厚さ (μm), ε は物質に固有のモル吸光係数であり、Beran and Koeberl (1997) と同様の値, 75.1 (L/mol

/cm) を用いた。

## 4. 結果

### 4.1 希ガス濃度

Table 1 に希ガス濃度分析結果を、Table 2 にネオン・アルゴン同位体分析結果および F 値をまとめた。F 値とは、試料中の希ガス存在度を大気と比較するための値であり、次のように定義される。

$$F(m) = \frac{({}^m\text{X}/{}^{36}\text{Ar})_{\text{sample}}}{({}^m\text{X}/{}^{36}\text{Ar})_{\text{air}}} \quad (1)$$

(mX: 質量 m の希ガス同位体)

仮に大気を測定すれば F 値は常に 1 となる。Pinti *et al.* (2004) による海南島テクタイトおよび Mizote *et al.* (2003) によるラオス産テクタイトの値も比較のために、表に記載した。SLT-3 は Sanya 周辺からのサンプルで、WBT-1 は Penglei 周辺、DPT-1 は西部の Dongfang 周辺の試料であり、いずれも液滴型テクタイトである (Pinti *et al.*, 2004)。今回の実験結果では、ヘリウム・クリプトン・キセノンの存在度は、二試料を除きブランク値と区別できなかった。またキセ

Table 1 Noble gas amount of tektites from Hainan Island by crushing experiments.

Sample	Weight(g)	Strokes	<sup>4</sup> He × 10 <sup>4</sup> cm <sup>3</sup> STP/g	<sup>20</sup> Ne × 10 <sup>8</sup> cm <sup>3</sup> STP/g	<sup>36</sup> Ar × 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> STP/g	<sup>84</sup> Kr × 10 <sup>10</sup> cm <sup>3</sup> STP/g	<sup>132</sup> Xe × 10 <sup>11</sup> cm <sup>3</sup> STP/g
SLT031130-1	2.926	x30	4.6±0.5	9.5±1.0	2.2±0.2	8.9±0.9	< 2.6 <sup>a</sup>
SLT031202-3	2.064	x30	7.7±0.8	11±1.6	1.9±0.2	9.2±0.9	< 2.1 <sup>a</sup>
SLT031202-5	0.319	x100	-	7.1±0.7	0.8±0.1	-	-
SLT031202-9	0.291	x100	-	5.8±0.6	1.6±0.2	-	-
SLT031202-13	0.353	x100	-	8.0±0.8	0.7±0.1	-	-
SLT031202-16	0.316	x100	-	4.5±0.5	0.8±0.1	-	-
DPT-1 <sup>b</sup>	0.148	x300	2.22±0.10	5.6±0.1	0.0452±0.0007	-	-
SLT-3 <sup>c</sup>	0.117	x300	-	2.5±0.04	0.0414±0.0007	-	-
WBT-1 <sup>b</sup>	0.106	x300	-	0.5±0.01	0.006±0.0001	-	-
MN 8309 <sup>d</sup>	0.150	x1000	< 0.29	8.2	1.5	3.2	0.17

<sup>a</sup>Xenon concentrations are given as an upper limit because they are not corrected for procedural blank.

<sup>b</sup>Normal tektites from Hainan island (Pinti *et al.*, 2004).

<sup>c</sup>Maong-Nong type tektite from Laos (Mizote *et al.*, 2003).

Table 2 Relative abundances of noble gases (F values) and isotopic ratios of tektites from Hainan Island by crushing experiments.

Sample	F(4)	F(20)	F(36)	F(84)	F(132)	<sup>20</sup> Ne/ <sup>22</sup> Ne	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar
SLT031130-1	0.3	8.3	1	0.98	< 0.85 <sup>a</sup>	9.80±0.13	295.0±1.5
SLT031202-3	8.0	10	1	0.76	< 0.50 <sup>a</sup>	9.71±0.12	290.1±1.5
SLT031202-5	-	17	1	-	-	9.66±0.15	296.0±1.1
SLT031202-9	-	7.1	1	-	-	9.63±0.11	296.3±5.4
SLT031202-13	-	22	1	-	-	9.78±0.11	299.5±3.2
SLT031202-16	-	10	1	-	-	10.1±0.09	297.2±1.6
Air	1	1	1	1	1	9.8	295.5

<sup>a</sup>F(132) are given as an upper limit because they are not corrected for procedural blank.

ノンは、ブランク値の寄与が大きいため（80%~100%）、上限値として示している。

Fig. 4に示すように、今回分析した海南島試料は、大気と比較してヘリウム、ネオンはアルゴンに対し相対的に富んでいることがわかる。F(20)値（7~22）は、普通テクタイトについて報告されている値（110~300）よりも優位に低く、特殊なテクタイトとされる Muong-Nong 型テクタイトについての報告値（3

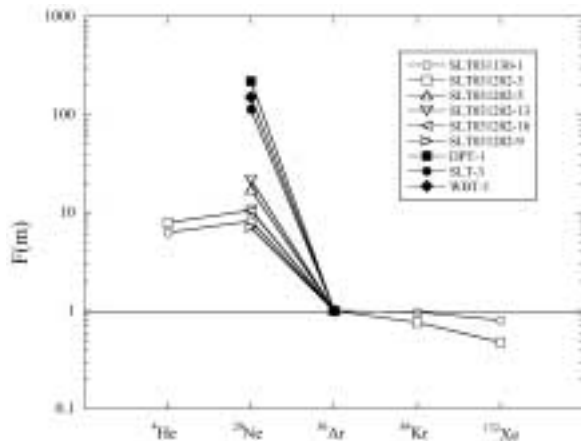


Fig. 4 Relationship between abundance of noble gases in tektites from Hainan Island and the fractionation factor F(m) (see text for the explanation). F(4), F(84), and F(132) are shown only for two samples as their heavy noble gas abundances were as low as the procedural blank levels. F(132) values are upper limits because of their low amounts. F(20) values in the measured tektites are lower than those in DPT-1, SLT-3, and WBT-1, splash-form tektites from Hainan Island, reported previously (110-240; Pinti *et al.*, 2004).

~40) とよく一致した (Mizote *et al.*, 2003; Pinti *et al.*, 2004)。これは、普通テクタイトと Muong-Nong 型テクタイトにおけるネオン量の違いに加えて、アルゴン量の違いも反映していると考えられる。また、Fig. 4より、F(4)値がF(20)値と比べ小さいことがわかる。ヘリウムはネオンよりも高い拡散係数を持ち、もしヘリウムやネオンが大気から取り込まれたとなると、テクタイトは既にヘリウムとネオンに飽和しており、F(4)値とF(20)値は同じ値を示すと考えられる。F(4)値がF(20)値より低いのは、試料を質量分析計のラインの真空下に導入した後、測定までの真空引きの間に、ヘリウムがテクタイトから抜け出たからかもしれない。

一方、F(84)値およびF(132)値は、キセノンに関し上限値のみの結果であるものの大気とほぼ一致したことから、試料の形成時にこれらのガスを大気存在比で捕獲した後、相対的な希ガス濃度を変動させるようなイベントがなかったことを示している。試料の希ガスが大気起源であることは、Table 2に示すネオンとアルゴンの同位体組成からも強く示唆される。 $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比は大気とよく一致し、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比もすべて300以下であり大気値（295.5）に近く、放射壊変起源の $^{40}\text{Ar}$ の寄与はほとんど無いと見なせる (Table 2)。

#### 4.2 含水量

Table 3に含水量分析の結果をまとめた。我々が得た0.024~0.029 wt%という値は一般的な火山ガラスの含水量 (>0.1 wt%) よりも優位に低い。しかし、テクタイトについて報告されている中では高い含水量を示し、Australasian 分布域の普通テクタイトの値 (~0.01 wt%) よりも優位に高く、やや含水量の高

Table 3 Water contents of tektites from Hainan Island by infrared analysis.

Sample	Thickness (μm)	Absorbance 3550 cm <sup>-1</sup>	Water contents × 10 <sup>-2</sup> (wt%)
SLT031130-1	61	0.15	2.5±0.6
SLT031202-3	58	0.14	2.4±0.4
SLT031202-5	47	0.13	2.8±0.2
SLT031202-9	44	0.10	2.4±0.2
SLT031202-13	43	0.12	2.9±0.3
SLT031202-16	48	0.13	2.8±0.1

The relation between the absorbance and the concentration is expressed by the Lambert-Beer law:

$$C = (18.02 \times \text{Abs}) / (\rho \times d \times \epsilon)$$

where Abs is the absorbance; d is the thickness in cm; ρ is the density in g/L.

We assumed that our samples have 2300 g/L of ρ, similar to rhyolitic glasses.

ε is the molar absorptivity in L/mol/cm and we accept 75.1 reported in previous study (Beran and Koeberl, 1997)

い普通テクトタイトの Ivory Coast テクトタイトや moldavite とよばれるチェコ産のテクトタイト (0.002~0.01 wt%) に比較しても高い。一方で, Muong-Nong 型テクトタイトについての報告値 (0.011~0.03 wt%) とよく一致している (Beran and Koeberl, 1997)。

## 5. 考 察

上述の通り, 試料の気泡中には地球大気由来の希ガスが存在していた。今回の試料の希ガス濃度は, 海南島の普通テクトタイト (液滴型テクトタイト) の報告値 (Pinti *et al.*, 2004) と比較すると, ネオンが0.5~37倍, アルゴンが12~780倍程度であるが, Mizote *et al.* (2003) が報告しているラオス産の Muong-Nong 型テクトタイトの測定値にはよく一致している (Fig. 5)。Barnes (1964) や Wasson (1991) は, 中国海南島で採取したテクトタイト試料をその外見から Muong-Nong 型テクトタイトであるとし, その形成過程や衝突地点の議論を行っている。我々が今回採取した試料も, 外見的特徴は Muong-Nong 型テクトタイトの特徴とは矛盾しないことに加えて, 希ガス存在度の特徴が過去に報告されている Muong-Nong 型テクトタイトに酷似している。海南島の Muong-Nong 型テクトタイトの希ガスデータは本論文が初めての報告である。また試料の含水量も Muong-Nong 型テクトタイトとよく一致している。今回測定した Sanya 近郊で採

取した他試料も含め, Sanya 以外で採取した試料も多くは外見的特徴から Muong-Nong 型テクトタイトであると思われるが, 外見的特徴の少し異なるものもあり, 今後の更なる研究が必要である。海南島のテクトタイトについては, これまでの研究では, 液滴型テクトタイトに関する報告が多い (たとえば Lee *et al.*, 2004) が, 海南島では Muong-Nong 型テクトタイトが多く産出している可能性もある。

普通テクトタイトは4つの分布域で最も多く発見され, また全ての分布域に幅広く存在する。一方 Muong-Nong 型テクトタイトは Australasian 分布域北端でのみ発見されており偏っている。Wasson (1991) は Australasian 分布域で発見される Muong-Nong 型テクトタイトが, 普通テクトタイトと異なる衝突起源により形成したと主張した。しかし多くの化学分析・同位体分析結果により, 現在は, Australasian 分布域に存在する全てのテクトタイトは, 単一の衝突起源を持つことが支持されている (Koeberl, 1992)。水などの揮発成分に富み, 化学的に不均質であり, 大きさが数センチに及び形状も様々であることなどから Muong-Nong 型テクトタイトは, 普通テクトタイトと比べ低温で溶融し, 空気中を低速で飛行し形成したと考えられる (Koeberl, 1992)。加えて, Muong-Nong 型テクトタイトのアルゴン存在度が普通テクトタイトよりも大きいことは, Muong-Nong 型テクトタイトが普通テクトタイトよりも周囲の圧力が高い, すなわち低空で固化したことを示唆する (Mizote *et al.*, 2003)。それゆえ, Muong-Nong 型テクトタイトは衝突クレーター近傍に産出されることが考えられている。我々は, 今回の中国海南島産テクトタイトの多くを Muong-Nong 型テクトタイトと断定したが, 海南島は Australasian 分布域北端に位置している。Schnetzler (1992) は Australasian 分布域の衝突クレーターを, Muong-Nong 型テクトタイトの分布から特定しようと試みた。Fig. 1にはこれまで報告されているタイ, ラオス, カンボジア, ベトナムなどでの Muong-Nong 型テクトタイト分布域を示したが, これまでの研究では, 衝突クレーターの詳細な場所の特定には至っていない。今後このような Muong-Nong 型テクトタイトをより多くの地点で採取し, その分布域を特定すれば, その衝突クレーターの発見につながるかもしれない。例えば, Schnetzler *et al.* (1988) では, 重力異常からベトナム沖の東方175 km (北緯13°47', 東経110°37') の場所に100 kmほどの直径のクレーターがあることを主張している

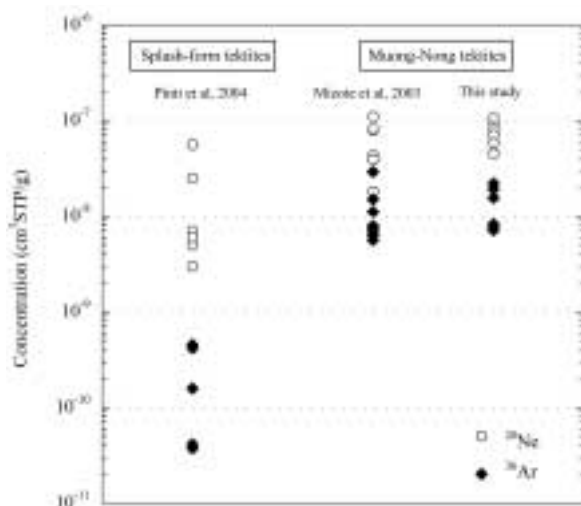


Fig. 5 Concentrations of  $^{20}\text{Ne}$  (open circle) and  $^{36}\text{Ar}$  (closed diamond) of vesicles of tektites from Australasian strewn fields (Pinti *et al.*, 2004; Mizote *et al.*, 2003).

(Fig. 1)。海南島で Muong-Nong 型テクトイトが多く産出することは、このクレーター位置と矛盾するものではない。

## 謝 辞

本論文を査読し、貴重な御意見をいただいた兼岡一郎博士と山本綱志博士に感謝いたします。

## 引用文献

- Barnes, V. E. (1964) Variation of petrographic and chemical characteristics of indochinite tektites within their strewn field. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **28**, 893–913.
- Beran, A. and Koeberl, C. (1997) Water in tektites and impact glasses by fourier-transformed infrared spectrometry. *Meteoritics and Planetary Science*, **32**, 211–216.
- Chapman, D. R. and Larson, H. K. (1963) On the lunar origin of tektites. *Journal of Geophysical Research*, **68**, 4305–4358.
- Engelhardt, W. V., Luft, E., Arndt, J., Schock, H. and Weiskirchner, W. (1987) Origin of moldavites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 1425–1443.
- Glass, B. P. (1990) Tektites and microtektites: Key facts and inferences. *Tectonophysics*, **171**, 393–404.
- Hennecke, E. W., Manuel, O. K. and Sabu, D. D. (1975) Noble gases in Thailand tektites. *Journal of Geophysical Research*, **80**, 2931–2934.
- Ho, K. S., Chen, J. C. and Juang, W. S. (2000) Geochronology and geochemistry of late Cenozoic basalts from the Leiqiong area, southern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**, 307–324.
- King, E. A. (1977) The origin of tektites: A brief review. *American Scientist*, **65**, 212–218.
- Koeberl, C. (1986) Geochemistry of tektites and impact glasses. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science Letters*, **14**, 323–350.
- Koeberl, C. (1990) The geochemistry of tektites: An overview. *Tectonophysics*, **171**, 405–422.
- Koeberl, C. (1992) Geochemistry and origin of Muong-Nong-type tektites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **56**, 1033–1064.
- Koeberl, C. (1994) Tektite origin by hypervelocity asteroidal or cometary impact: Target rocks, source craters, and mechanisms. *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution*, 133–151.
- Koeberl, C., Poag, C. W., Reimold, W. U. and Brandt, D. (1996) Impact origin of Chesapeake Bay structure and the source of North American tektites. *Science*, **271**, 1263–1266.
- Lee, Y.-T., Chen, J.-C., Ho, K.-S. and Juang, W.-S. (2004) Geochemical studies of tektites from East Asia. *Geochemical Journal*, **38**, 1–17.
- Matsubara, K. and Matsuda, J. (1991) Anomalous Ne enrichments in tektites. *Meteoritics*, **26**, 217–220.
- Matsubara, K. and Matsuda, J. (1995) Laboratory experiments on the Ne enrichments in terrestrial natural glasses. *Geochemical Journal*, **29**, 293–300.
- 松田准一 (2008) テクトイト. 松田准一・坂本尚義編, 地球化学講座2「宇宙・惑星科学」, 培風館, 190–208.
- Matsuda, J., Matsubara, K. and Koeberl, C. (1993) Origin of tektites: Constraints from heavy noble gas concentrations. *Meteoritics*, **28**, 586–589.
- Matsumoto, T., Chen, Y. and Matsuda, J. (2001) Concomitant occurrence of primordial and recycled noble gases in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, **185**, 35–47.
- Mizote, S., Matsumoto, T., Matsuda, J., Koeberl, C. (2003) Noble gases in Muong Non-type tektites and their implications. *Meteoritics and Planetary Science*, **38**, 747–758.
- O'Keefe, J. A. (1964) Water in tektite glass. *Journal of Geophysical Research*, **69**, 3701–3707.
- O'Keefe, J. A. (1994) Origin of tektites. *Meteoritics*, **29**, 73–78.
- Pinti, D. L., Matsumoto, T., Matsuda, J., Fang, Z. (2004) Distribution of noble gases in Chinese tektites: Implication for neon solubility in natural glasses. *Meteoritics and Planetary Science*, **39**, 87–96.
- Schnetzler, C. C. (1992) Mechanism of Muong Nong-type formation and speculation on the source of Australasian tektites. *Meteoritics*, **27**, 154–165.
- Schnetzler, C. C., Walter, L. S. and Marsh, J. G. (1988) Source of the Australasian tektites strewn field: A possible off-shore impact site. *Geophysical Research Letter*, **15**, 357–360.
- Shaw, H. F. and Wasserburg, G. J. (1982) Age and provenance of the target material for tektites and possible impactites as inferred from Sm-Nd and Rb-Sr systematic. *Earth and Planetary Science Letters*, **60**, 155–177.
- Taylor, S. R. (1973) Tektites: A post-Apollo view. *Earth Science Reviews*, **9**, 101–123.
- Wasson, J. (1991) Layered tektites: A multiple impact origin for the Australasian tektites. *Earth and Planetary Science Letters*, **102**, 95–109.
- Zhang, Y. (1999) H<sub>2</sub>O in rhyolitic glasses and melts: Measurement, speciation, solubility, and diffusion. *Reviews of Geophysics*, **37**, 493–516.