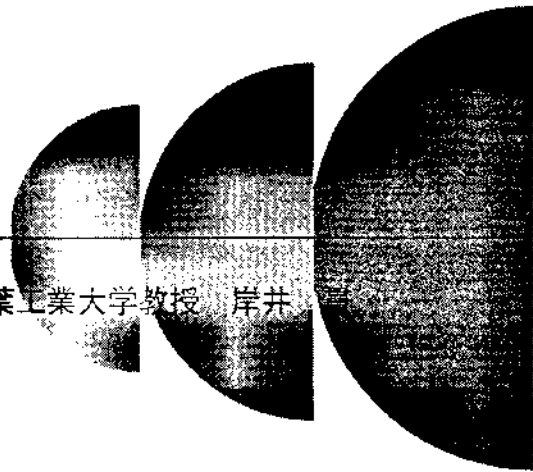


やさしいガラス講座26

天然ガラス②

千葉工業大学教授 岸井 隆



3. 火山灰ガラス

火山の噴火では時に多量の火山灰が噴出する。火山灰は溶岩が含有ガスの膨脹や地下水・海水との接触により爆発・発泡し、微細な飛沫となり固化したものである。

溶岩が酸性（＝ケイ長質）であると粘度が高いために、発泡してから飛散する。泡の壁は薄いガラス片となり、火山灰の一成分として風に乗って広範囲に散布される（図24）。

日本中を覆うような大規模の降灰は何回もあったし、ガラス片はフィッション・トラック法による年代測定に好都合なので、火山灰層は考古遺跡・遺物の年代決定に好都合であった。10万年前くらいまでの年代がガラスの

フィッション・トラック法で決まり、ほかの方法で数百万年前まで測られる（図25）。広域に散布された火山灰（「広域火山灰」）の分布範囲を図26に挙げる。図24は日本の6ヵ月所で採取した阿蘇第四火山灰のガラスである。阿蘇第四火砕流は熊本市から阿蘇山にかけての比較的浅い所にある帯水層であり、下流部からの湧き水が水前寺の池や江津湖を作っている。

日本の火山灰層で分布面積最大のもは始良丹沢（AT）火山灰であり、供給源は鹿児島市前面の錦江湾である。その火砕流は南九州地方の「シラス（白砂とも）台地」を作った（図27）。火山灰層の厚さ分布を図28に示

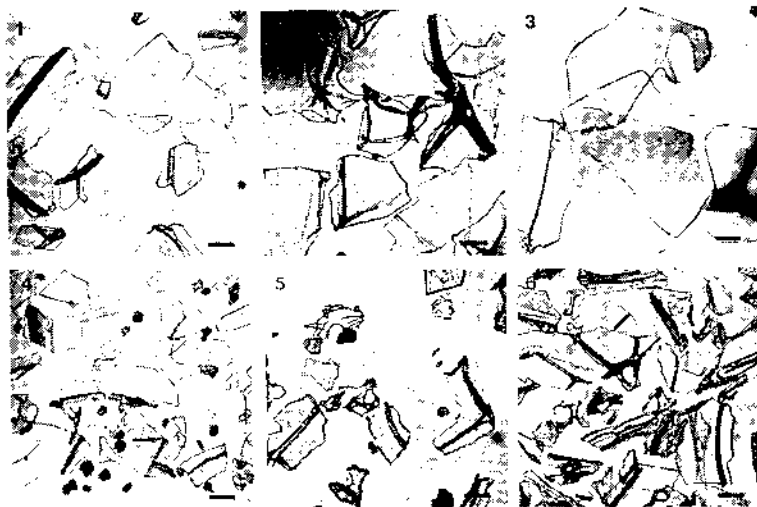


図24 阿蘇第四火山灰中のガラス片（日本の6ヵ所から採取したもの。図24・26・28は町田 洋東京都立大学教授の御厚意により掲載した）

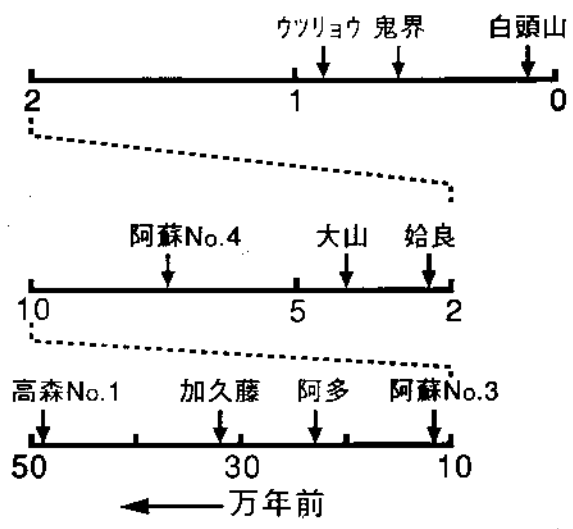
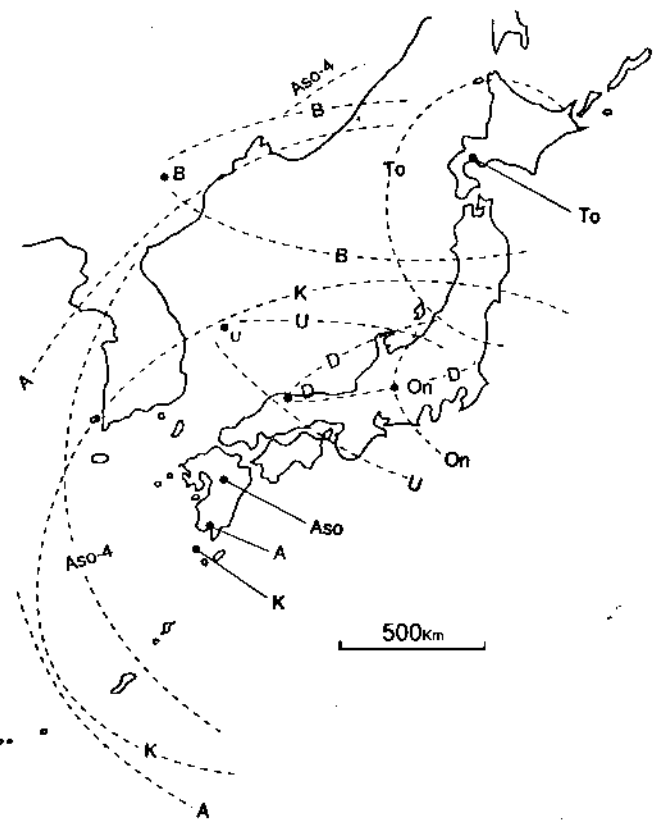


図25 広域火山灰の降下時代



A: 始良 K: 鬼界 Aso: 阿蘇
 U: ウツリョウ D: 大山
 On: 御岳 B: 白頭山 To: 洞爺

図26 広域火山灰の供給源と降下範囲

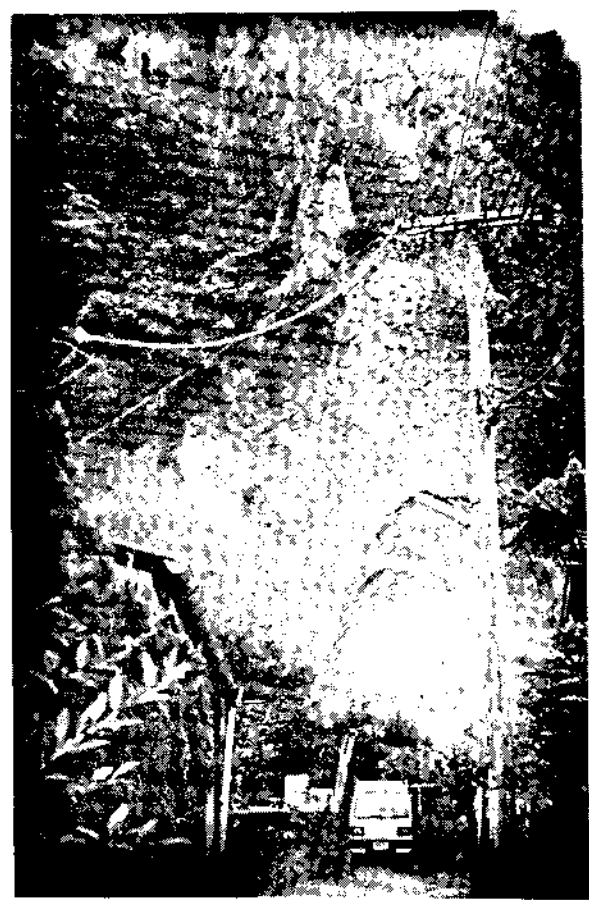


図27 シラス台地の崖下の状況

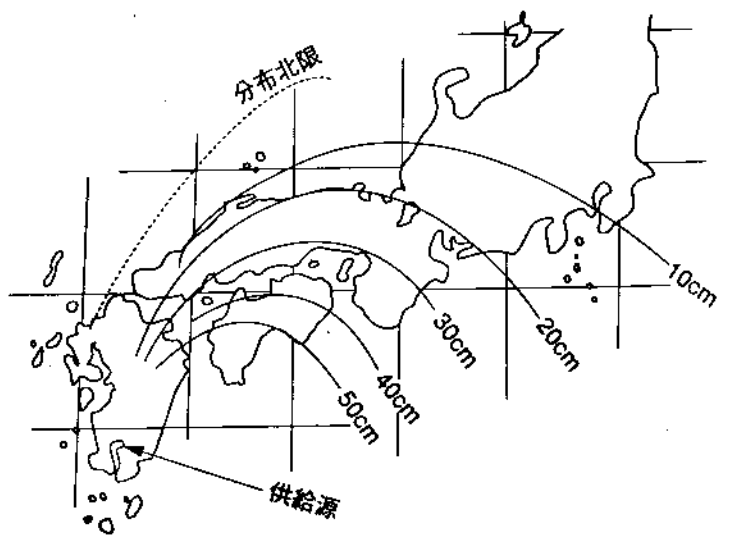


図28 始良丹沢火山灰の層の厚さ分布

す。年代は21000ないし24000年前とされ、旧石器時代後期の指標となる。関東地方でも10センチ以上の厚さがあり、岩宿遺跡で地層断面にこの層を示している(図29)。

関東地方南部は広域火山灰と箱根・富士の火山灰が厚く積もった標式地域である。

火山灰ガラスは加熱すると水分のために発泡し多孔質粒になる。濾過材・充填材・軽量化材などへの応用がある。

また、シラス製の多孔質ガラスが、がん治療の際の薬のキャリアとして大きく貢献していることが認められた(本誌36号55頁)。

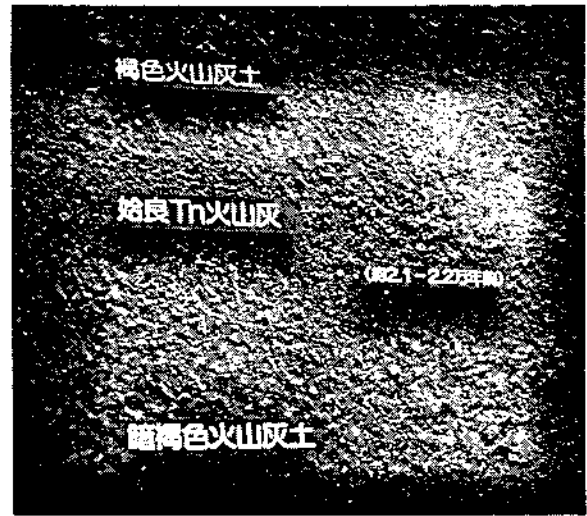


図29 岩宿遺跡での火山灰層の重なり

4. テクタイト

4. 1 「謎のガラス」

「テクタイト」は地球上のいくつかの地域で見いだされるガラスである(図30)。融液が空中を飛びながら固化したような外形をしているので、ギリシャ語の「溶ける」という言葉から名付けられた(図31)。成因について永く議論があり、20年前ごろにやっと議論

が収束した。それ以前は月の火山から放出された岩だという考えが根強く、またそのために熱心に研究されたようである。ロケット・宇宙開発との関連も強く意識されていた。

現在では、隕石の落下に際して落下地点に生ずる高温のため、岩石が溶けてできたのが起源ということではほぼ同意されている。しかし、いまだに隕石孔が見付からない場合があ

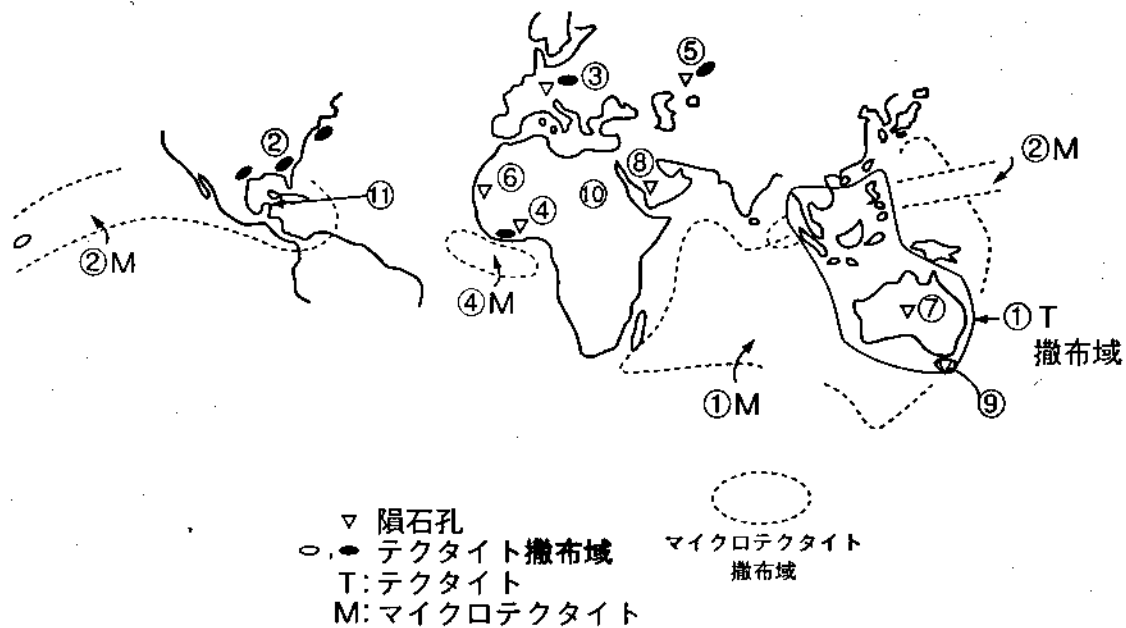
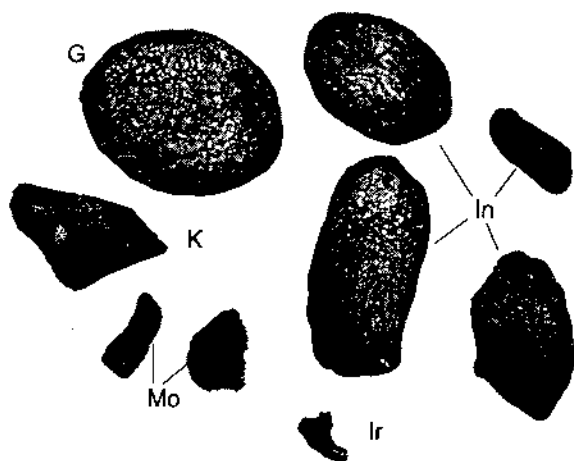


図30 テクタイト・マイクロテクタイト・衝撃ガラスの分布(番号は表1の番号と対応する)



G: グリフィス天文台のショップでの購入品
 In: インドチャイナイト
 Ir: イルギツナイト
 Mo: モルダバイト
 K: 広東産

図31 テクタイト

り、隕石孔と散布地点とが数百キロも離れている例が多くて、合意ができるまでに多くの研究と時間を要した。

成因についての異論はまだ残っている。鉱物・岩石のコレクションで、テクタイトが隕石そのものであるとか、ガラス質隕石からできたとか解説されている場合がある。

成因確定前にテクタイトの異常性と考えられた点を列挙すると、地上や地層中に散在するが鉱床・鉱脈としては発見されない、組成からは地上の酸性堆積岩に近いのに、水分が極端に少なく溶岩起源や地表性の岩石起源とは考えられない、生成年代として数十万ないし数百万年前で、また高融点の組成なので人工のガラスとは考えられない、分布する範囲が地球上のいくつかの地域に限定されているが、それにしても一つの供給源から飛散し散布されたにしては分布が広すぎる、材質的に高粘度組成で、かつかなり均質であるが、そのような生成過程を考えにくい、などである。

4. 2 広域かつ限定された分布

地球上のテクタイトの散布地域を図30と表1中の①～⑤に示す。地球上の数個の領域に限定されていて、一つの領域内では生成年代が一定である。オーストラリアーアジアテクタイト（オーストラレイシヤテクタイト）は産地によりインドチャイナイト・オーストラライトなどに細分される。北アメリカテクタイトも同様である。

テクタイトと隕石孔周辺の岩石に対して、形成年代・微量成分含有量・元素同位体含有比など多方面から高精度測定法を適用して研究・比較されたが、大部分が成因・起源地探求のためであった。

4. 3 「衝撃ガラス」

隕石孔内と付近にもガラスは存在する。これは「衝撃ガラス」である。隕石落下時に隕石と岩石が溶けて衝撃ガラスになった。鉱物は高圧相への変態や非晶質化・溶融をした。衝撃ガラスとテクタイトとでは、後者の方が均質で泡・結晶質が少ないか皆無、水含有量も少ないという差がある。

4. 4 「マイクロテクタイト」

全世界的な海底探査などでテクタイト散布域付近の地上または海底に、直径1mm以下のガラスの小球が見付かる例が知られるようになった(図32)。この小球は「マイクロテクタイト」と呼ばれる。散布された総重量はマイクロテクタイトがテクタイトより2桁多いと計算される。生成年代がテクタイト・衝撃ガラスと同じであり、同時に作られたと考えられる。形成の機構として、次のようなイメージがある——隕石落下時に高温・高圧が発生し、常圧体積の半分までに圧縮された融液ができる。液は細線状・薄シート状の噴流に

	テクタイト	衝撃ガラス	起源隕石孔	マイクロテクタイト	生成年代(万年前)
①	オーストラレシヤ テクタイト		未発見	伴う	70
②	北アメリカ テクタイト		未発見	伴う	3500
③	モルダバイト	スウェバイト	リースケッセル	伴う	1500
④	象牙海岸 テクタイト	スウェバイト	ボスムトイ湖	伴う	130
⑤	イルギツァイト	ザマンシナイト	ザマンシン構造	伴う	約100
⑥		アウエルール ガラス	アウエルール隕石孔		400
⑦		ヘンベリー ガラス	ヘンベリー隕石孔	伴う	0.4
⑧		ワパール ガラス	ワパール隕石孔		
⑨		ダーウィン ガラス	ダーウィン山近く		70
⑩	*	リビヤ砂漠 ガラス	リビヤ領内か?		2800
⑪	**		ユカタン半島北岸	伴う	6500

*:成因に異論がある。 **:大絶滅の起源隕石孔に想定される。

なり、小滴に分散する。また常圧に戻るときの弾性反撥に伴い、融液が小滴に分散・飛散する。

マイクロテクタイトの形成が観察された例がある。1908年6月にバイカル湖の北西方に氷質の彗星(と推定された、「ツングースカ天体」)が落下した事件があり、1950年代になって直径0.1mmのガラス球・金属球が現地で発見された。

世界でのテクタイト・衝撃ガラス・マイクロテクタイトと、これらの起源隕石孔(未発見の場合がある)を図30・表1に示す。

4. 5 テクタイトの観察

インドチャイナイトの薄片を観察した。肉眼的には均一に近くて小泡が見えるくらいであった。虫眼鏡では流線様の筋と流線に囲まれた泡が認められる(図33)。直交ニコルでは弱い熱歪み様の光弾性模様と材質的な、恐

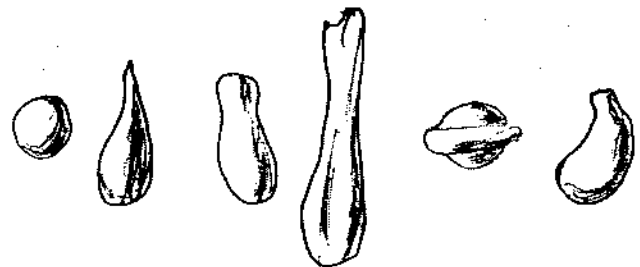


図32 マイクロテクタイトの形の概念図

らく熱膨張の不均一による模様があった(図34)。

4. 6 テクタイト成因の研究史

テクタイトの成因確定の糸口はアリゾナの隕石孔(図35)の研究であった。

1960年ごろにシューメーカーは、アリゾナの隕石孔中で石英の高圧変態相であるコーザイトを見つけて、隕石孔であることの追証を得た。コーザイトは隕石落下時に発生した高

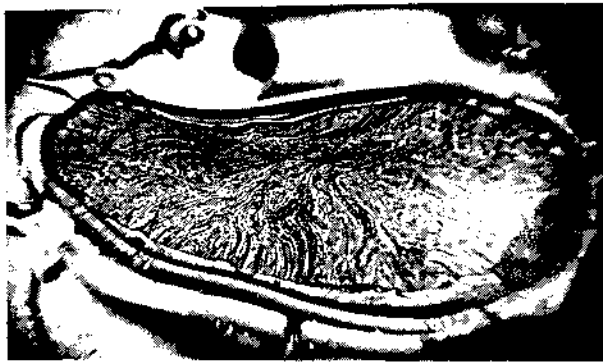


図33 インドチャイナイトの薄片の影写真

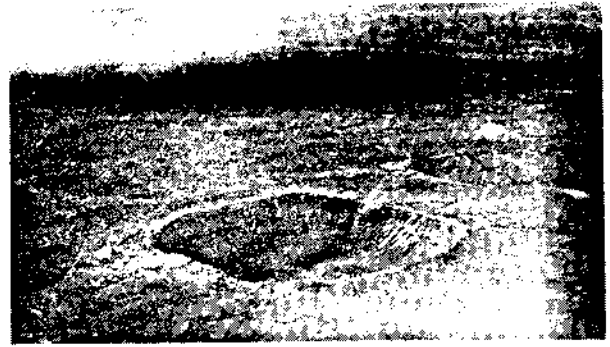


図35 アリゾナの隕石孔（直径約1.2kmである）

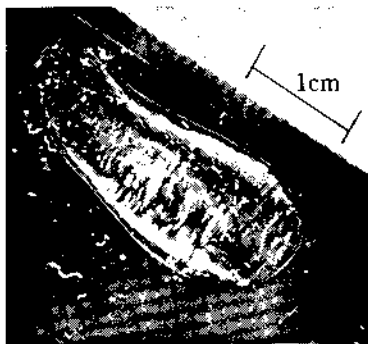


図34 インドチャイナイトの薄片の直交ニコルによる観察

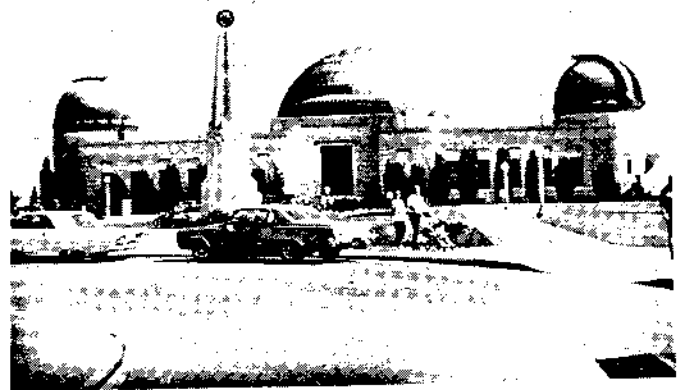


図36 グリフィス天文台

圧衝撃波中でできたもので、隕石孔の証拠であるとされた。コーザイトの他の成因は地下核実験であるが、火山爆発ではできないとされている。

次にドイツの直径約24キロメートルの隕石孔類似の地形を示すリースケッセル地方（後述）を調べ、ここでもコーザイトを認めて隕石起源であることを確認した。次にこの地方のガラス塊を含む岩石（スウェーパイト、衝撃ガラスに当たる）とボヘミア地方に散布されたテクタイト（モルダパイト）との間で形成年代や組成を比較して関連を認めた。これらの結果から、テクタイトは隕石が落下して岩石を溶かし周囲へ散布したものだと言った。

その後にはアリゾナ隕石孔で石英のもっと高圧での変態相であるステイショパイトが見いだされ、これはすぐにリースケッセルでも見

いだされた。1961年の段階では多くの隕石孔からコーザイトが見つかっているが、ステイショパイトの発見はアリゾナ隕石孔とリースケッセルだけである。

1970年ごろにアポロ計画により月の岩石が入手できるようになると、成分や年代の比較から月起源説は疑問が持たれ、隕石落下説がさらに強まった。

さらにテクタイト・衝撃ガラス・マイクロテクタイト間に密接な関係があることも判明してきた（後述）。

4. 7 テクタイト・衝撃ガラスの環境

4. 7. 1 グリフィス天文台

グリフィス天文台（ロサンゼルス市・図36）は、先端的研究は郊外のウィルソン山、さらに南のパロマ山の天文台に譲り、天文知識普

及に力を入れていた。ここのテクタイトのコレクションを図37に掲げる。ショップでもテクタイトを販売していた。成因の議論が盛んなころなので、説明の内容を読み、記憶していればよかったと思う。

4. 7. 2 リースケッセル

南ドイツのリースケッセル（ケッセル＝釜・盆地、（リース隕石孔）、図38）は円孔形の地形をしており、火山の火口であるとの考えが永らく強かった。周囲にはいくつかの火山がある。北のヴェルツブルク、南のミュンヘン、西のシュトゥットガルトの中間にあり、ミュンヘンとの間にドナウ河（ダニユーブ河・モルダウ河とも）が流れている。この地域は基盤の変成岩の上に中生代・第三紀の地層が数百メートル堆積している。

直径約8キロの内輪山様の地形が散在した丘でできている。その内部は昔湖であった時代に湖成層が厚く堆積した。それと同心円的に外輪山様の地形が直径約20キロ、比高100ないし200メートルで巡っていて、内輪・外輪地形の間は起伏が多い。ここにネルトリンゲンの街がある。

これらの地形はかなり開析されていて、いくつかの川が外輪地形を貫通してダニユーブ河に合流している。鉄道・道路についても同じである。

この地域には「スウェバイト」と呼ばれる岩が分布している。これが衝撃ガラスに相当する。モンモリロナイト化した石基中に「ガラス爆弾」と形容される形の数センチないし十数センチの大きさのガラスが11ないし18%の割合で含まれる。昔は凝灰岩のように火山灰起源と考えられて、現地では「フラーデンまたはフレーデ（＝パンケーキ）」と呼んでいる。コーザイト・ステイショバイトはガラスをフッ酸で溶かして濃縮された。

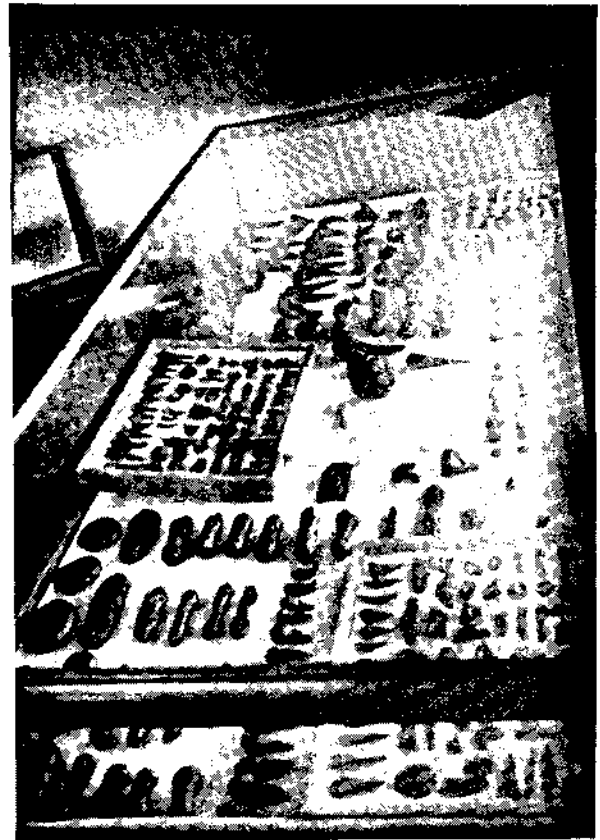


図37 グリフィス天文台のテクタイトの展示

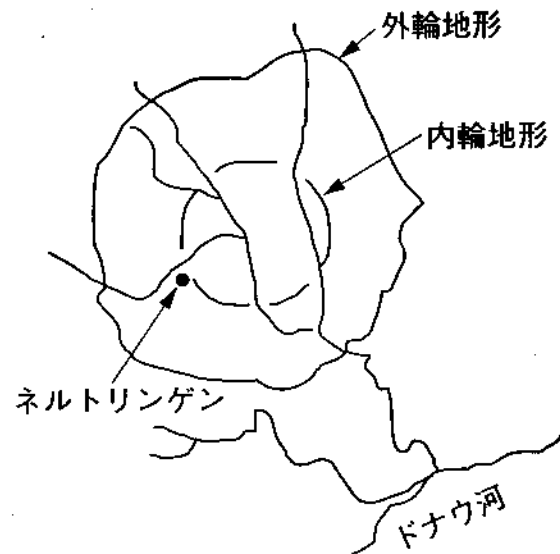


図38 リースケッセルの地形の説明図

スウェバイトは中央部の湖成層の下にもあることがボーリングで確認されている。スウェバイトは5ないし10mの層をなし、層の上部と下部が特に急冷されていてガラス質が多く、堆積したのが1回のイベントであったことを示す。ここにはいろいろの強さで衝撃変形した岩を含み、その環境は600kb・2000℃以上と推算される。生成年代として1500万年前の値が得られた。組成(56%~68%シリカ、8~16%アルミナ、4~6%酸化鉄、4~9%アルカリ酸化物)からは基盤岩が溶けてきたと判断される。スウェバイトはかつては建材としての採掘と出荷が行われた。

テクタイトはここより東方200~300キロのボヘミア・モラビヤ地方(チェコ共和国)で得られ、モルダバイトと呼ばれる。モルダバイトは生成年代がスウェバイト中のガラス弾と一致するが、組成(80%シリカ、10%アルミナ、17%酸化鉄、アルカリ酸化物3.5%、アルカリ土類酸化物3.5%)では揮発性物質が減少している。

ボヘミヤ南部のロセニア村にモルダバイトの

採掘場があり、モルダバイトは地下10mの砂層から得られ(図39)、鉱物標本として出荷される。図40は自然面を人物像の髪に生かした装飾品の例である。ダイヤモンドのようにカットしたものもある。モルダバイトは比較的に光透過率の高い緑色のガラスであって、宝飾品としてそれなりの美しさがあり、中世の利用が多かった。旧石器時代に石器と護符との利用例が知られている(オーストリア・ウィンドルフ遺跡など)。

4. 7. 3 ポスムトウイ湖

アイボリーコースト共和国ではアイボリーコースト(象牙海岸)テクタイトが知られていたが、隣国ガーナのポスムトウイ湖が起源隕石孔であることが判明した。湖は直径約8キロの孔に水がたまっただけのものである。また外輪地形も同心円形に存在し、リースケッセル同様にスウェバイト岩や衝撃変態した鉱物も見付かる。これらは湖が埋まり、内・外輪山が開析される前のリースケッセルとよく似ている。付近海中からマイクロテクタイトが発見されたことと、テクタイト散布域が比較的



図39 モルダバイトの採掘場 矢印の先に小さい人像が写っている

図39、40は Dr. Petr Zajicek (Top GeoCo.,Ltd) による。
東京国際ミネラル協会の御厚意により、第8回東京ミネラルフェア(平7)
のパンフレットから転載した。



図40 モルダバイトの自然面を生かしたペンダントヘッド

近いことから、衝撃ガラス・テクタイト・マイクロテクタイト間の関係を明らかにするきっかけになった。

4. 7. 4 ザマンシン構造 (隕石孔)

ロシアーカザフスタンで、アラル海北方200キロの隕石孔構造と、その内部と周辺にある衝撃ガラス (ザマンシナイト)、北東30キロに散布されたテクタイト (イルギツァイト) が発見された。さらにその後、これらに関連するマイクロテクタイトが見付かった。これら3種のものとは起源隕石孔が特に近接して見いだされた。孔はほとんど風成土に埋もれ、地球探査衛星では認められない。孔の直径には6～13キロの範囲の見積もりがある。テクタイトの名前「イルギツァイト」はこの地方の川に由来し、「イルギツ」の町もある。

4. 7. 5 ダーウィン山

ダーウィンガラスはタスマニヤ島の、距離にして400キロの範囲の散布域で認められる

ガラスである。ここはオーストラリアーアジアテクタイトの散布域に属し、両者の間の区別は古くは意識されていなかった。

クウィンスタウンの南方にダーウィン山 (標高3200m) をはじめ3600mまでの山の群がある。道路工事によりこの地域に産する「ダーウィンガラス」の分布域が以前の想定より広い (13km²) ことが知られ、かつ「隕石孔」が見付かった。標高600～1000mの範囲にわたる直径1キロで比高125mの壁を巡らした地形であった。この地域には若い火山岩がなくて、火口ではあり得ない。付近の岩石を詳しく調べ、ダーウィンガラスがこの隕石孔と関連すること、しかしオーストラリアーアジアテクタイトとは別のものであることが認められた。

4. 7. 6 リビア砂漠ガラス

エジプト西南部の砂漠地帯 (東経23° 30' , 北緯25° 25') に高シリカ (97%以上) のガ

ラスがあることが知られた。産出する密度は他のテクタイトより高い。西150キロのリビア領内に地下探査により深度300mの二つの衝撃構造（直径2.8および11キロ）が見付かった。地質的研究ではこれらとリビア砂漠ガラスとの関連はあり得るが、確実とはいえない。ガラスが砂漠でのゾルーゲル過程によってできたという異論もある。

ガラス石器は旧石器時代前期のものが1例、同後期と新石器時代のものは多数例発見されている。

5 大絶滅

—大隕石とマイクロテクタイト—

中生代末（6500万年前）に恐竜をはじめ多くの生物が絶滅し、次いで新生代型の生物が発展した。この原因は大隕石の落下により地球の環境が激変したことだという説がある。この時代の地層にはマイクロテクタイトが多く含まれるのが論拠の一つになっている。

キューバ・ハバナでマイクロテクタイト含有量が多くて津波の形跡を伴う地層が見付かった。次いで油田探査のデータの再検討により、ユカタン半島北岸に直径200キロの重力異常地域が認められた。地表には円周に沿った小円形の湛水地形が配列しており、保管されていたボーリングコアから地下1500mにマイクロテクタイトを多く含む層が検出された。これが隕石落下の証拠とされている。

絶滅の大隕石起源説には異論があることも記しておく。

6 終わりに

筆者が天然ガラスに関心を持ったのは30年以上前であったが、その理由は単にガラスだからということであった。今、研究史を調べると、当時はこれらを科学的に解析して、地

史・考古学に有用な知見を得る技術が一部は開発を終えた時期であった。それから現在までに黒曜石・火山灰ガラス・テクタイトの背後には地史学・考古学の莫大な学問的業績が積み重なった。

天然ガラスについて本稿とは違う観点から資料「地史・考古・天文学へのガラス解析技術の適用」をまとめ、ニュー・セラミックス誌1994年8, 9, 10, 11月号と1995年1月号に掲載した。

次の方々に写真・図の掲載・転載のご了承を得たことを感謝します。（掲載順）：

安森政雄 明治大学教授

牧島亮男 東京大学教授

相沢千恵子 相沢忠洋記念館館長

町田 洋 東京都立大学教授

Dr.Zajicekと東京国際ミネラル協会

また文献の調査に東京工業大学・明治大学考古学博物館・千葉工業大学の各図書館・図書室を利用したので、謝意を表します。

正 誤

本誌 No.36 P.37 右欄上から7行目

沈状溶岩→枕状溶岩

著者紹介



岸井 貫
(きしい とおる)

昭和25年3月東京大学理学部物理学科卒業、同年4月東芝入社、硝子技術部（現東芝硝子）、昭和38年8月東芝中央研究所。同総合研究所を経て計測器の販売と開発に従事、昭和58年～平成元年東芝硝子（株）。昭和46年～47年カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員、工学博士（東京工業大学）、平成元年度科学技術庁長官賞（光弾性）、現千葉工業大学教授。