

解説◆

テクタイト -クレーターと河と街-

Tektite -Meteorite Craters, Rivers and Towns-

岸井 貫
Toru KISHII

月刊「マテリアルインテグレーション」Vol.17 No.12 (2004) ~ Vol.18 No.3 (2005) 別刷
(株) ティー・アイ・シー

テクタイト -クレーターと河と街-

Tektite -Meteorite Craters, Rivers and Towns-

岸井 貫

Toru KISHII

問合せ/キツイ トオル 〒168-0072 東京都杉並区高井戸東3-14-11 TEL 03-3329-3537 FAX 03-3329-3890 E-mail/toruki@js7.so-net.ne.jp

キーワード : Tektites, Glassy Substance, Craters, Meteorites, Natural Glasses

1 隕石・テクタイト・大絶滅 —研究史のあらすじ—

「テクタイト」は地球上の幾つかの限定された地域(撒布域)で小片・礫・塊などの形で発見されるケイ酸塩ガラス質(非晶質)の鉱物である。その成因が永く解明されず「謎の石」とされていた。

これらは溶融した粘液が固まったような形をしているので、ギリシャ語の「融ける」という言葉から「テクタイト」と名付けられた(図1)。テクタイトは広域の地表や地層中に散在して得られるが、鉱脈・鉱床の形のものが見つからないので、地球上に撒布されたものと考えられた。しかし他方で、含水量が極端に小さいので、地球の火山から噴出した溶岩が起源のガラス質の石(黒曜石、普通1桁のパーセントの水を含む)ではない、とも早くから判断されていた。

含水量が少ないことは、融けていたときには真空か、または火山熔岩の温度を大幅に超える超高温の環境にあったことを示す、と考えられた。この段階で想定された成因は、

- ① 月の「火山」から放出されたガラス質の岩石(黒曜石)である。
- ② 月に隕石が衝突して高温状態が現れ、岩石が融液と

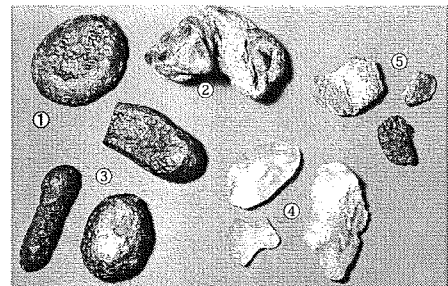


図1 テクタイト・衝撃ガラスの幾つか

1: 種類不明。ロサンゼルス市グリフィス天文台のショップで購入したもの。この他のものは鉱物標本として購入した。2: 「中国南部のもの」、3: 「オーストラリア・アジアテクタイト」、4: 「リビヤ砂漠ガラス」、5: 「モルダヴァイト」

なって放出された。

- ③ 地球上に隕石が衝突して、超高温状態が現れ、岩石が融けて放出された。

の三つであった。

アポロ計画で宇宙飛行士が月に着陸し(アポロ11号、1969年)で岩石や砂を持ち帰ると、月火山説・月隕石説は否定された。

◎解説

月の「火山」は隕石孔であったが、他方で月表面の地質が玄武岩質（酸化鉄・マグネシアの含有量が多い）であることが判明した。そのため月火山起源説も月への隕石落下説もともに否定された。テクタイトと黒曜石とともに流紋岩質（酸化鉄・マグネシアが少なくシリカ・アルミナが多い。）だからである。

その後の研究で、地球上でテクタイトの起源隕石孔が同定される例が現れ、地球上への隕石落下によりテクタイトが作られ、放出・撒布された、と認められた。その年代は理化学的な方法で決定された（図2、表1）。

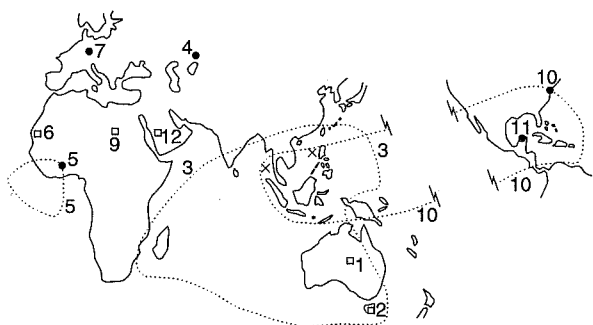


図2 ●：テクタイトの起源隕石孔，□：衝撃ガラスの起源隕石孔，点線：マイクロテクタイトの撒布域，×：北アメリカマイクロテクタイト確認地，数字は第1表と共通する。

テクタイトの幾つかは、その撒布域の海底の地層中に直径が1ミリメートル以下の微小なガラス球を伴っていることが知られた。この微小球の名には、流星塵中の微小ガラス球を指す「マイクロテクタイト」という言葉が流用された。海底で発見されるのは、陸地では見つけにくいからだ、と考えられる。

しかし陸地でもテクタイトに伴うマイクロテクタイトが見つかる例がでてきて、テクタイトとマイクロテクタイトとが同じイベントでできるものだ、と認められた。

北アメリカテクタイトとオーストラリア・アジアテクタイトに伴うマイクロテクタイトの撒布域は特に広い（図2）。

隕石は大気突入時の衝撃で破壊し、複数の塊に分裂して地上に達することが多い。ヘンベリーガラス（表1）の起源隕石孔は五つに分かれている。古代のものでも、同年代で近接した隕石孔があると、双子の隕石ではなかったか、と論じられる（後記。リースクレーター・チェサピーク湾口など）。

本誌（当時は「ニュー・セラミックス」誌）1994年

8～11月号に「地史・考古・天文学へのガラス解析技術の適用」を掲載して頂いた。そのうちの10月号をテクタイトに充てた。永い期間にわたる多くの研究者による多面的な研究と議論を経て、テクタイトが隕石の落下に伴う高温状態のもとでできたガラス質の石である、ということがほぼ結論になったことを述べた。

テクタイトについては、なおまた別の形で「the glass」誌第37号（1995年、現在は廃刊）「やさしいガラス講座26 天然ガラス（2）」に記した。

当時は、中生代白亜紀/新生代第三紀境界（「K/T境界」・「C/T境界」とも、6500万年前。「白亜紀末」/「新生代始め」でもある（図2））。K,C=Kreta;Creta;白亜土、ヨーロッパに分布し、生物遺骸殻を含み白い。T=Tertiary: 新生代第三紀)の、恐竜をはじめとする多くの生物の「大絶滅」の原因が隕石の落下による、という学説がL.W.およびW.Alvarezにより提出されていて、その論拠の一つが絶滅の時期に当る地層のテクタイト（表1の「ハイチ・キューバテクタイト」とマイクロテクタイトの存在である（図3））ことを述べた。

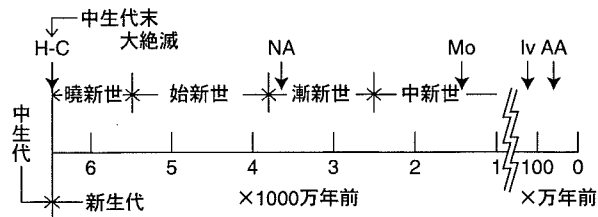


図3 中生代末以降の地質年代区分とテクタイト形成の時期。

H-C：ハイチ・キューバテクタイト，NA：北アメリカテクタイト，Mo：モルダヴァイト，Iv：象牙海岸テクタイト，AA：オーストラリア・アジアテクタイト

それらの起源隕石孔として、重力分布の異常と石油探査のために得ていたボーリングコアとから想定されたところの、メキシコ、ユカタン半島の北岸近くに埋まる地形がそれと想定されていた。

テクタイトは生成時期に超高温・脱ガス過程を経ているため、カリウム-アルゴン法やフィッシュトラック法（前報参照）などにより生成年代を決めることができ、そのために多くの情報を与える、ということが研究上の利点である。中国南部で旧石器と共存していたテクタイトにより石器の年代（80万年前）を決めて、石器の年代・形式がアフリカの「アシュレアン型」と呼ばれ

表1 テクタイト・衝撃ガラスと関連するマイクロテクタイト・隕石孔及び形成の年代

番号 (図2参照)	テクタイト	衝撃ガラス	隕石孔	マイクロ テクタイト	年代 (万年前)
1		ヘンベリーガラス	ヘンベリー 隕石孔 (豪)	伴う	0.4
2		ダーウィンガラス	ダーウィン山 近く (タスマニヤ)		70
3	オーストラリア・ アジアテクタイト		未発見? カンボジア?	伴う	70
4	イルギツァイト	ザマンシナイト	ザマンシン構造 (北カザフスタン)	伴う	約 70
5	象牙海岸テクタイト	スウェヴァイト	ボスムトゥイ 隕石孔 (ガーナ)	伴う	130
6		アウエルールガラス	アウエルール 隕石孔 (西アフリカ)		400
7	モルダヴァイト	スウェヴァイト	リースケッセル (南ドイツ)	伴う	1500
8		リピア砂漠ガラス	エジプト南部か?		2800
9	北アメリカテクタイト		チェサピーク 湾口	伴う	3500
10	ハイチ・キューバ・ メキシコテクタイト		ユカタン半島 北部	伴う	6500
11		ワパールガラス	アラビア半島北部		?
12	南ウラルガラス		?		?

る石器のものに近い、と議論した報告がある¹⁾。

しかしテクタイト自体の生成過程については、まだ論議の余地が残っている。例えばテクタイトが、融液の飛散で生じた、プラズマ化した物質の凝縮でできた、隕石前面の高温・高圧(10000℃, 600GPa)の圧縮空気層で地表の岩石が溶融・蒸発・飛散・固化してテクタイトになった^{2a)}、反対に落下過程の後期に放出される比較的冷たいジェットから作られた³⁾、または蒸気と融液との協同作用がある^{4a)}、落下地点の土壌の含水量と熱伝導率がテクタイトができるかどうかに関連する^{4b)}、など複数の考えがある。

また生物の絶滅については、絶滅が急激に起きたのではなく、長い年代を要したので、隕石落下が直接原因でない、という意見が生物・古生物関係の人々の間で強いように見える⁵⁾。従って各地の博物館の展示では、この見方にも言及している場合が多い。隕石の落下が、中生代から新生代に変わるような超長期的気候・環境変化を起こしうるのか、も気になる。

日本ではテクタイトが賦存しないためか、外国で行われたものを含めての研究の数⁶⁾が少ないが、テクタイトの撒布域であるヨーロッパ・米国では研究が多い。た

だし成因確定後の報告の主題・内容はそれ以前とは異なっていると感ずる。

地質年代のうちの新生代(6500万年前から現在まで)内でテクタイトが作られた年代を図3に記す。地質時代は化石生物種の急変を根拠に細分されるので、年代の境が隕石の落下年代と一致し、隕石の落下が生物の「大絶滅」を引き起こした、と論じられることが多い。図3の範囲でも、キューバ・ハイチテクタイトと白亜期末の大絶滅、北アメリカテクタイトと始新世/漸新世境界、とがそれぞれ年代的に一致する、という議論がある。

2 「衝撃ガラス・スウェヴァイト」

テクタイトとは別に、隕石が落下したときにその運動エネルギーが熱に転化し、自身と周囲の岩石を溶かしてガラス化させたものが「衝撃ガラス(表1. 鉱物名として「スウェヴァイト」と表記される場合がある)」として隕石孔にできており、また周囲に飛散している例がある。幾つかのテクタイトでは、その起源隕石孔とその近傍に存在する衝撃ガラスが同定されている。

他方で「衝撃ガラス」に分類されたものでも、ゾル-

◎解説

ゲル過程によりできた、との異論がある例（リピヤ砂漠ガラス）がある。これは成分に SiO_2 が 100% 近く含まれ透明度が高い（図 1）。

3 次段階の研究

このような研究の進展とともに、国際情勢の緩和に助けられたのか、隕石孔や撒布域の地形・地質の実地調査と探査・資料採集が実行され、また既採集のボーリングコア（深海底掘削計画によるものと石油探査の目的で掘ったもの）や地質資料の再検討もあって、起源隕石孔が同定され、あるいは新しいテクタイト、新しい撒布地域が付け加えられた。

また逆に、隕石孔を数え上げ、それぞれに同期する生物絶滅現象の有無が調べられた。

比較的新しい年代に関しては、海底からのコアで、微化石により年代と「大絶滅」・「小絶滅」の同期の有無とを判断できる。

それらの隕石孔としてアイオワのマンソン隕石孔（K/T 絶滅と年代が近い）、カナダ・デボン島のホートン隕石孔（古生代、3.6 億年前、デボン紀末に相当する）、ケベックのマクニーガン隕石孔（中生代、2.15 億年前、三疊紀/ジュラ紀境界に相当する）が挙げられた（7a), 7b), 8)。

次に、ハイチ・キューバ・カリブ海域での地質とテクタイト・マイクロテクタイトが、大絶滅との関連で多く研究された。特に L. W. 及び W. Alvarez^{9a)} はメキシコの研究者たちとも協力して活動した。此の地域は北アメリカテクタイトの撒布域とも見られており、また白亜期末の隕石衝撃によるテクタイト・マイクロテクタイトの生成域でもあるので、研究の初期には混同された例があり、対象のテクタイト・マイクロテクタイトがどちらに起源を持つかの確認が研究の前提になった。

他方でカリブ海よりも南方にあるバルバドス諸島は北アメリカテクタイトの撒布域に含まれると認められた（後記）。

このような研究の経過は彼自身の著書（和訳書^{9b)}がある）に詳しい。

マイクロテクタイトの撒布域は、既採集のボーリングコアの調査・判断の精粗によるので流動的であるが、特に広く見積もった例を図 2^{10a)} に掲げる。これによれば、オーストラリア・アジアマイクロテクタイトの撒布域が沖縄県南部を含み、西はアフリカ東岸に達してい

る。これは地球表面の 1/10 に相当する。また北アメリカマイクロテクタイトの撒布域がインド洋に達し、地球を半周している、と述べられた。

図 2 中でインドシナ半島付近の二つの × 印は北アメリカマイクロテクタイトが認められた所であるが、原報では太平洋中にも三ヶ所にこの印がある。これらの場合、マイクロテクタイトがどちらに属するかは年代から決めたが、一つのコアに二種類（北アメリカとオーストラリア・アジアの二つ）のマイクロテクタイトが共存する例はなかった

McHue^{10b)} も赤道太平洋で北アメリカマイクロテクタイトの存在を認めた。

これらを含むマイクロテクタイトの総量を評価した結果を表 2 に掲げる^{10a), c), d)}。微小なマイクロテクタイトも広域内の分布量は莫大であり（表 2）、研究者による評価量にも大差がある。

表 2 マイクロテクタイトの総量の評価（単位：Mt）

文献	文献 9a)	文献 9b)	文献 9c)
報告年	1994 年	1979 年	1990 年
オーストラリア・アジア テクタイト関連	2000?	100	100
ヨーロッパ中央部 (モルダヴァイト関連)	57		
象牙海岸テクタイト関連	20	20	20
北アメリカテクタイト 関連	300~ 42000	1000~ 10000	1000

4 関連する研究

このような研究状況の一部として、下記のような米国地質学協会の特別論文集が纏められた：

- ・論文集第 247 号 地球史の中の世界的かつ破滅的な災害—衝撃・火山・大量絶滅 (1990)¹¹⁾
- ・論文集第 249 号 コロラド・ニューメキシコなどの白亜紀/第三紀境界層 (1990)¹²⁾
- ・論文集第 293 号 巨大隕石の衝突と惑星の進化 (1994)⁸⁾
- ・論文集第 302 号 アイオワのマンソン隕石孔の解析 (1996)¹³⁾
- ・論文集第 307 号 地球史の中の白亜紀/第三紀境界のイベントとその他の破滅的な災害 (1996)¹⁴⁾

これらは本稿を纏めるのに特に役立った。本稿では主として前稿以後の研究について記す。

5 シューメーカー・レヴィ第九彗星以後

前稿の知見はおおよそ 1992 年以前の文献に基づいているが、1991 年には「大絶滅」の起源隕石孔をメキシコ・ユカタン半島のチクフルブ（「チュクシュループ」・「チチュルブ」など多くの表記もある）に埋もれている隕石孔と判断した報告が出ている。

また連載の直前（1994 年 7 月）には、20 個ほどに分裂したシューメーカー・レヴィ第 9 彗星の核が木星に次々と衝突することが観察された。これらはその後のテクタイト研究にも影響を与えたように見える。

たとえばテクタイトの成因に彗星核の衝突も考える^{15a)-f)}、一つのテクタイトの起源を隕石の多重衝突または複数の隕石孔を作る衝突だと考える^{16a)-d)}、白亜紀末の「大絶滅」とは違う超古代に起きた大絶滅（図 2）の原因も隕石の落下によるものとして、その隕石孔を探し、推測・同定し、その地層からガラス球またはその風化生成物である粘土の球粒をみつめる^{14),17a)-e)}、などの内容の報告が出てきた。

この彗星の発見者の一人シューメーカーが米国アリゾナの「バリンジャー隕石孔」や南ドイツの「リースケッセル（後記）」で石英の高圧相結晶コーザイトを検出し（バリンジャー隕石孔では 1960 年、天然コーザイトの初発見である）、これらの地形を隕石孔と同定して、テクタイトの成因論争に一つの劃期を与えた研究者であったことは、不思議な因縁と感じられる。同博士は 1997 年にオーストラリアの隕石孔の調査中に交通事故で死去された。

起源隕石孔がまだ決まらないテクタイトの起源隕石孔の探索・議論は引き続いている。発見数の少ないテクタイト様試料（ウレンゴアイト・南ウラルガラス）に関する報告がある¹⁸⁾、天体（隕石・小惑星・彗星）衝突と「大絶滅」に関する図書の出版が非常に多くなり、その中には隕石による大絶滅と「起源隕石孔 = チクフルブ」説とを提唱した W. Alvarez 自身のもの（前記）も含まれる。映画としても隕石衝突を扱ったもの（「ディープ・インパクト」、「アルマゲドン」）が発表された。

また前稿で挙げたもの以外の幾つかのテクタイトや、既知のテクタイトの新しく知られた撒布域^{19a)-i)}、起源隕石孔（チクフルブ^{20a)}・ボスルトウイ^{20b)-d)}、ザ

マンシン構造^{20d),e)}、リース・スケッセル^{20f)}）の地質構造の詳細などが報告された。これには国際情勢の変化に伴って、各地での探索・研究・試料入手と、研究情報の公開が進んだことが関係しているように思われる。

これと関係するのかどうか、数年前から「リビヤ砂漠ガラス（リビヤでなくエジプトの奥地産とも言われる）」が国際ミネラルフェアに出品されるようになった。モルダヴァイトの小破片が大量に出品・販売され始めた。また南中国産のテクタイトも同じ頃から出品されている。

比較的透明度の良いモルダヴァイトとリビヤ砂漠ガラスはファセットを作るように磨かれて貴石扱いで販売されるものもある。

「ミネラルフェア」出品物の品名・原産地記載は 100% 正確とは言えないと思うが、筆者の所見として記しておく。

地球への隕石・彗星の衝突が現実味を帯びて意識されたのか、地球に衝突する恐れのある彗星・小惑星・隕石を早期に見つけようとするプロジェクトが発足し、衝突の確率を計算し、衝突の恐れがある天体を発見し、その軌道を精密に測定・予測し、地球への衝突を避ける方法が議論されている。

また、地球での大絶滅には数千万年の周期があるとして、その原因となる彗星のシャワー的衝突には、太陽と連星を作る恒星「ネメシス（未確認である。名はギリシャ神話の災厄の女神から来ている）」の重力が影響しているとして、太陽系の近くにある筈の、年周視差が大きいくて、暗いため未知・未発見の恒星の中から候補を捜そう、という提案があった^{15e)}。

6 年代測定

隕石の落下に伴い高熱が発生し、テクタイトができて飛散する。マイクロテクタイトが伴うこともある。隕石孔内やその周辺には「衝撃ガラス」ができる。この時に、テクタイト・衝撃ガラス・マイクロテクタイトとも超高温での溶融・脱ガス過程を経たから、その年代を知ることができる。

しかし実際には生成時に希ガス含有量が零でないこと、カリウム 40 以外に起源を持つアルゴン 40 があること、などが誤差の原因になる。サンプルをあらかじめ原子炉中で中性子照射しておいたり、アルゴン 40 を抽出する時にサンプルを段階的加熱スケジュールに従ってレーザー加熱したり、アルゴンの他の同位元素も同時に

◎解説

計量したりして、誤差を補償する方法が開発された。またこれらの方法では同時に岩石中の結晶粒ごと、ガラス粒ごとの年代を決められる。この方法は、2万年前までの比較的新しい資料の年代を測ることと、他方で中生代末(6500万年前)の「大絶滅」に伴うマイクロテクタイトの形成年代を統計誤差10万年の精度で決めることができる。チクフルプの隕石落下時に生成したと考えられるテクタイト・マイクロテクタイト・衝撃ガラスの年代がこのバラツキの範囲内で一致して、チクフルプでの大隕石の衝突が確かな事実らしいと認められた^{20a)}。

同じように、ハイチ・キューバ地域で見いだされるテクタイト・マイクロテクタイトは、研究上の曲折を経た(後記)が、北アメリカテクタイト(年代は3500万年前^{21a),b)}ではなく、チクフルプでの大衝突に際してできたものと結論された(前記)。

7 月の火山とテクタイト

前記のように、月はテクタイトの生成とは無関係であるが、テクタイトの研究と平行して、月の地質、月への隕石落下の過程の研究が進められた。

少数意見というべきであろうが、テクタイトの形成に月の火山^{19a)}または月の火山ガラス(黒曜石)^{19b)}が関係しているという説が述べられている。

月の「火山」はほとんどが隕石孔であると考えて差し支えなく、「火山(実は隕石孔)」の内部(Basin=「盆地」)で玄武岩質熔岩が噴出して拡がり、平たくて黒く丸い地形が作られる過程があった。これらが連なって「月の兔」と言われる地形ができた。

アポロ計画の初期に得られた岩石・地質資料は、宇宙飛行士の安全も考慮して選択された着陸地点によるものであろうが、月ができて熔融体であった時期に分別されてできた岩石(斜長岩と玄武岩)と、月の固化以後に隕石の落下によって生じたガラス質小球の多い砂とであった。

しかしアポロ17号では火山活動でできた資料を得る目的で着陸点を選び、資料を採取した。それらの中にも、赤・緑・黒などの色の微小なガラス球があった。月ができてから約9億年後、地下に半減期が長い放射性元素の熱が貯まり、融液が生じて地圧で噴水のように噴出し、滴が球粒として固化したものである。

これらはテクタイトと違ってSiO₂が40%以下で、チタン・鉄の酸化物が多い組成であり、テクタイトとは

無関係であることは一応明らかである。このようなガラス球はアポロ11, 14, 15号によって既に得られていたことも後に判明した。

また「イムプリウム」という名の「盆地」では、隕石の落下と溶岩の噴出の年代とが近くて、表面下に既に蓄積されていた熔岩が隕石落下に触発されて噴出した、と議論された^{22c)}。

月のガラス球の年代分布を調べ、隕石落下の頻度が4億年前以後にはそれ以前に比べて3.7倍に急増しているとして、これが地球上で生物種の放散(多数化・分化)があった時期と整合する、という議論があった^{22d)}。

月表面・火星表面の岩石が隕石落下により跳ね飛ばされ、隕石となって地球に落下したものがそれぞれ知られている。月からの隕石は斜長岩が礫となったものであり、火星からのものは玄武岩であった。

8 「モルダヴァイト」の歴史・研究史²⁾

8.1 「モルダウ」と「神聖ローマ帝国」

一番早くに科学的研究の対象となったテクタイトは「モルダヴァイト」である。「モルダヴァイト」の名前はスメタナの交響曲で知られるチェコのモルダウ河に由来する。

「モルダウ」はドイツ名であって、現地での名は「Vltava」と綴る。この河の中の堆積物やこの河の流域であるボヘミア地方からテクタイトが採集された。これは撒布地から水で洗い出され、河の下流に堆積したからである。「モルダヴァイト」の名が河に由来したのは偶然でない。

現地の研究者V. Bouska教授(プラハ、Charles Univ.)の著書²⁾を入手できたので、チェコを中心として見たモルダヴァイト・テクタイトの詳しい研究史^{2b)}を知ることができた(図4)。

この河の名前として、古代のマルコマンニ族(ゲルマン民族の一派)に関する9世紀の記録に「フルタワ」が現れる。この民族はローマ帝国時代に、しばしば帝國領内への侵入を企ててローマ軍と交戦したことが記録されている。

また12世紀のボヘミアの年代記に「ヴリタワ」が出る。これらの語源は「Wild water」の意味の「wilthaha または wilth awa」だと信じられる。

此の地域がかって「神聖ローマ帝国」に属し、ドイ

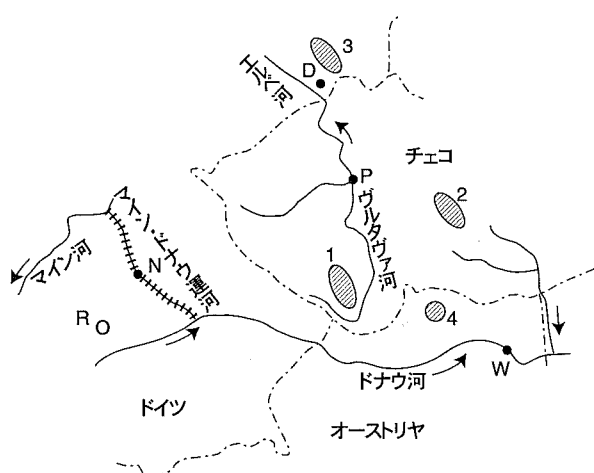


図4 モルダヴァイトの撒布域と河・運河。

一点鎖線：国境，R:リースケッセル，N:ニュルンベルク，W:ウィーン，P:プラハ，D:ドレスデン，1:ボヘミアの撒布域，2:モラヴィアの撒布域，3:ルザチヤ（ドレスデン周辺）の撒布域，4:オーストリア領内の撒布域

ツ語圏との関係が密接であったことにより，この河のドイツ語名として13世紀に「モルタワ」と記した例がある。これが現在のドイツ名「モルダウ」に変わった。

「神聖ローマ帝国」はカール大帝（「チャールズ大帝」・「シャルルマーニュ」とも）により800A.D.頃に建てられたが，「帝国」の実態が無くなった後も中世から1806年まで中欧地域に名目的に存在する，と考えられていた国であり，その王権は主としてドイツ・オーストリア，一時的にはチェコも，の諸王・諸侯により担われていた。オーストリア皇帝がプラハを首都としていた時代があった。またスペインの「神聖ローマ帝国」と並立していた時期もあった。

この河は，チェコ国内では「ヴルタヴァ（またはブルタヴォ）河」と名付けられ，ボヘミア地方（プラハの南に当たる）を北に流れてプラハを通過する。その下流では「ラベ河」となり，次にドイツ領内に入り「エルベ河」に変わり，ハンブルグを経てヘルゴランド湾から北海に注ぐ。

8.2 貴石として

モルダヴァイトの現在のチェコ名「ヴルタヴィン」は河の名を語幹にしたもので，1891年のボヘミア宝石展が初出である^{2c)}。

17世紀に「エメラルド」に相当する貴石類が報告されているが，モルダヴァイトを含んでいたと想像できる。

これに対して1836年に，プラハの博物館で河のドイツ名から「モルダヴァイト」という名を作り使っていた。

また同じ年にモルダヴァイトが起源火山不明の黒曜石であるとする説が提唱された。

18世紀には，テクタイトはクリソライト（トパーズ・橄欖石など）・エメラルド・瑪瑙・黒曜石などと混同され，またはそれらの「偽物」ないしボヘミア産変種とも考えられていた。「瓶ガラス様の石」と表現された例があった。手に持つと温かい（非晶質であるため熱伝導率が小さく，手の熱を奪う速度が小さい）として，特別な力を持つとも信じられた。ある地方では，男性が求婚する時にモルダヴァイトを女性に贈らねばならない，という習慣があった。

8.3 地質史

モルダヴァイトは1500万年前（地質学的年代では新生代第三紀中新世中期）に，南ドイツの「リース」地域に隕石が落下した時にできて，ボヘミア地方へ飛散したものであるから，この時代の地層に含まれる筈である。しかしこれに加えて，後に撒布地で南が高まるような地殻変動が起き，モルダヴァイトが氷に洗い出されて運ばれ，ヴルタヴァ河の下流に堆積する過程があったので，中新世中期（1300万年前）の地層と第三紀鮮新世および第四紀（約200万年前から現在まで）の新しい堆積層の中とに見いだされる。

1878～1902年にモルダヴァイトのもう一つの撒布域モラヴィア地方（プラハの東南方に当たる）が見つかった^{2d)}（図4）。ここはヴルタヴァ河の流域ではなくて，東へ流れるドナウ河の流域である^{2d)}。

最近にもドイツのドレスデン地域（Lusatia，ザクセン地方，エルベ河流域^{2e),17a),b)}と，モラヴィアの南方にあたるオーストリア領内とに撒布が認められた^{2f)}（図4）。これらの撒布域が互いに独立しているか，または連続しているか，の結論は出ていない。

9 テクタイトの発見史・研究史

モルダヴァイトを含むテクタイトの近年の研究史は前稿に詳記したが、此処では Bouska^{2c)} に従って古代からの歴史を略記する。

テクタイトの最古の記録は中国唐時代 (950A.D.) の Liu Sun の報告、すなわち雷州半島の「黒い石 (Leigong-mo)」について記したものである。

この記録は皇宮の書庫にあったものを Lee Da-Ming が 1963 年に報告し、C.S.Cheng が訳して米国の研究者 V. E. Barns が 1969 年に Journal of Earth Science で公表した。雷州半島や広東省・チベットは、最近ではオーストラリア・アジアテクタイトの撒布域に含まれる、と認められている。

18 世紀からの研究史はつぎのようである：

- ・1787 年 プラハ大学博物学教授 J. マイヤーが学会でモルダヴァイトを「テイン (都市名) のクリソライト」として講義をした。それがガラス質の石であることは知らなかった。
- ・1792 年 モルダヴァイトを火山起源または人工のものとする説が提唱された。
- ・1834 年 オーストラリア・タスマニアでガラス質の石を発見。1844 年に C. ダーウィンが記載した。1900 年に Suess により「オーストラライト」と命名される。このガラスは現在は「ダーウィングラス」として「衝撃ガラス」に分類される。「オーストラライト」の名は現在ではオーストラリア産テクタイトに与えられる。
- ・1836 年 ボルネオで「インド-マレーシアナイト」発見。1844 年に「マレーシアナイト」とされた。ただし学問的に注意されたのは 1915 年である。
- ・1879 年 東南アジアでテクタイトを発見。
- ・1893 年 「ピリトナイト」・「フィリッピナイト」発見。
- ・1897 年 「ジャヴァイト」発見。考古学的発掘に際して「リザライト」発見。
- ・1898 年 モルダヴァイトが礫層の上にある状況で広域に分布し、それらの礫層の堆積時期が最近ではないと思えるので、人工ガラスではないと唱えられた。
- ・1900 年 F. E. Suess がモルダヴァイト・オーストラライト・東南アジアテクタイトを集め、ギリシャ語の「融ける」を語源にして「テクタイト」

と総称した。

- ・1934 年 象牙海岸（「アイヴォリーコースト」/「コートジボアール」）テクタイトを採金場跡で発見。
- ・1936 年 米国テキサス州で「ペディアサイト」発見。名前は地名と原住民の民族名から決められた。後に「北アメリカテクタイト」に含まれると分類された。
- ・1938 年 「ジョージアイト」発見。1959 年にテクタイトと認められる。北アメリカテクタイトに含まれる。
- ・1959 年 マサチューセッツ州「マーサズヴィニヤード (保養地・観光地である)」で発見。深海底掘削計画 (DSDP) により、大洋底の地層から「マイクロテクタイト」を発見。
- ・1971 年 キューバで発見。
- ・1975 年 西シベリアで「イルギツァイト」発見。アラル海の北方で、名は都市及び河から来ている。河は下流で砂漠や鹹湖に消える。
- ・1983 年 「マイクロイルギツァイト」発見。陸地での初めてのマイクロテクタイトの発見であり、またテクタイトとマイクロテクタイトの共存が初めて認められた例である。
- ・1988 年 西シベリアのノヴィ・ウレンゴイで氷河堆積物中から 3 個だけ発見。「ウレンゴイト」とする。年代は 240 万年前。起源はカナダのホートン隕石孔、とする考えがある。

このような研究の成果がモルダヴァイトに反映され、モルダヴァイトの起源隕石孔が南ドイツのリース地域にある、と判明した。

10 ハイチ/キューバテクタイトとチクフル 隕石孔

1970 年代からカリブ海地域でのテクタイト・マイクロテクタイトの発見が多くなった^{24a)}。初めは火山起源説があった^{24b),c)}が、L.W. アルヴァレスは隕石衝撃説を唱え^{24d)}、隕石孔の議論があり^{24e)}、ユカタン半島北岸のチクフルが候補に挙げられた^{24f)}。

また米国アイオワ州のマンソン隕石孔が同時期の隕石落下でできた、として注目された時期があった¹³⁾。

初めにはキューバテクタイトが北アメリカテクタイト

トである^{24g}), 逆にハイテクタイトはチクフルブ隕石孔起源でない^{24h,i}), とする議論が交わされたが, 石油探査のためのボーリング資料の検討で地質が明確になり^{24j,k} (図5), 隕石落下に伴う地層の攪乱が報告され^{24l,m}), 年代的にも隕石孔やテクタイトの年代が K/T 境界と一致すると認められた^{24m,n}).

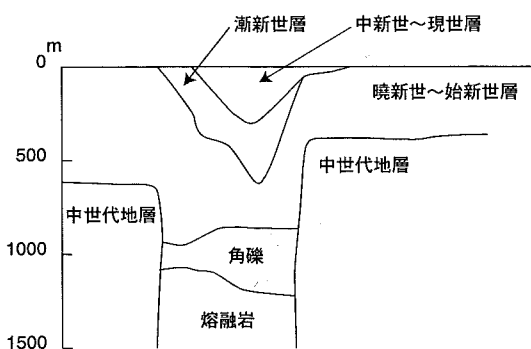


図5 チクフルブ隕石孔の地質構造の概略

他方でハイチ・キューバ地域よりも南にあるバルバドス島地域のもが北アメリカテクタイトとして認められている (前記)。

11 その他のテクタイト

新しいテクタイト, またはマイクロテクタイトの新撒布地の報告があった。

雷州半島と海南島: テクタイトはオーストラリア・アジアテクタイトの一種とされる^{19c}).

- ・チベット: 同上^{19d}
- ・中国の北京付近^{19e} と太湖付近^{19f}
- ・ルサティア: ドレスデンの東北方, モルダヴァイト撒布地域に加えられた (前記, ^{19a,b}).
- ・南ウラル: ノヴィ・ウレンゴイ付近

「ウレンゴアイト (前記)」の撒布地, ウレンゴアイトの別称を「南ウラルガラス」とするが, 組成などからウレンゴアイトと南ウラルガラスとは別のものだとする説もある¹⁸).

- ・インド中央部^{19g} とインド洋中央部^{19h}
- ・オーストラリア北部¹⁹ⁱ

このほかに K/T 境界よりも古いデボン紀末^{19f,25}の地層のガラス微小球やその風化物である粘土球についての報告が幾つかある (後記)。

12 隕石孔の研究と起源隕石孔の探索

テクタイトと隕石との関係が明瞭になったため, 隕石孔があらためて探求・調査された。年代が測定される例も多い。新しいものは隕石落下に伴って加熱されてできた木炭のカーボン 14 を使っている (例: 西ヤクーツクの隕石孔, 7315±80 年前)。

12.1 北アメリカテクタイトの起源隕石孔

始新世はじめは小規模ながら生物の絶滅があり, また地球外物質の流入が多かった。として注意されていた。

後に北アメリカテクタイトの起源隕石孔と確認されるチェサピーク湾口 (90kmφ) は, 1988 年にシベリヤのポピガイ隕石孔 (100kmφ) とともに注意された。ただしその成因は彗星の衝突である, と論じられた^{26a}).

地質・海底探査に基づく探求は米国東部の大陸棚でなされた。深海掘削プロジェクト No.612 地点 (ニュージャージー州沖, 図6) で採集されたコアに数センチメートルの厚さのテクタイト・マイクロテクタイト含有層と攪乱された堆積層 (隕石落下に伴う津波のためと考え) とが認められた。年代は 3550 万年前で, 北アメ

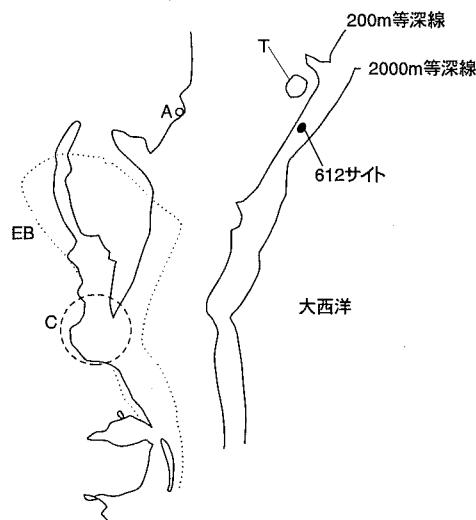


図6 米国大西洋岸での深海掘削計画 612 地点, トムズ・キャニオン (T), チェサピーク湾口 (C), エクスモア礫床 (EB) の関係位置。A はアトランティックシティ市。

リカテクタイトと整合的であった^{26b-d}。また隕石孔からの放出物がバージニア州沿海に及んでいることと,

◎解説

隕石孔として No.612 地点の北方の「トムズキャニオン」とが注意された^{26e)}。

ニュージャージーからバージニアにかけて海沿いに「Exmore boulder bed (boulder= 大型の丸石)」と呼ばれる地形が広がるが、その礫は隕石落下に伴い岩盤が粉碎されてできたものである、またその領域内のチェサピーク湾口でも何らかの天体現象があった^{26c)-e)}、とも考えられた。礫層は厚い部分では 100m 近く積もっている。

トムズキャニオンは大きさが起源隕石孔として十分でないとの議論があった。初めのうちは年代が不正確で、ハイチ・キューバテクタイトと同年代とされていた時期があった^{24h)}。

しかし他方で重力分布の測定からチェサピーク湾口自体に埋まった隕石孔があるらしいと判断された^{26a)} (図 6)。その地域から石油探査のために得られていたボーリング試料の再検討と、米国地質調査所の地震波(弾性波)反射による地下構造の探査で、ここに外径 90km の隕石孔が埋まっていると認められ、こちらの方が、規模から見て北アメリカテクタイトの起源隕石孔にふさわしいとされるようになった^{26e)-f)}。ここは礫が 25m の厚さで覆っていた^{27a)-c)}。

この過程で、チェサピーク湾口に埋まる地形が内輪・外輪をもつ二重構造であるなど、地質と地形がガリース隕石孔(「リース・ケッセル」後記)のそれに酷似している、と論じられた^{26f),27c)}。

チェサピーク湾とトムズキャニオンとの間の距離は 330km である。どちらの地形の年代も北アメリカテクタイトと一致する^{27c)}。トムズキャニオンが DSDP612 号サイトのテクタイトの起源隕石孔である、との考えは残っている^{27c)}し、両クレーターは双子の隕石によって作られた、との議論がある。

12.2 オーストラリア・アジアテクタイトの起源隕石孔

オーストラリア・アジアテクタイトに伴うマイクロテクタイトの撒布域が沖縄諸島の南半分を含み、その西の限界はソマリヤに達する、という議論がある(前記)。起源隕石孔の場所としてインドシナ半島内・トンレサップ湖(カンボジア)・インドシナ東南方の大陸棚、などの説がある。しかし隕石孔は未発見である。

その位置として、マイクロテクタイトの分布密度から

カンボジア中部^{28a),b)}、重力分布から隕石孔が推測されるとして近海中^{28c)}、ランドサット衛星の画像からラオス^{28d)}に、微量成分元素から堆積物起源として、また地形からもトンレサップ湖^{28e),f)}、堆積物に海水の成分も加わっているとして近海の大陸棚^{28g)}、原岩の堆積年代を微量希元素成分から判断してインドシナ中央部^{28h)}、など多様な主張がある。

1992 年の国際隕石学会がトンレサップ湖をトピックの一つにした。また同湖の見学会を催した時期もある。

ランドサットの観察に基づきラオスに隕石孔らしいもの四カ所を選び、実地踏査した例がある。しかし現地は中生代の乱されない地層であり、隕石の衝撃痕を発見できなかった²⁸ⁱ⁾。

巨大隕石の衝突に関する日本の成書がテクタイトについても比較的詳しく記している^{28j)}。世界のテクタイト撒布域・マイクロテクタイト撒布域・起源隕石孔を図示しており、オーストラリア・アジアテクタイトの起源隕石孔として「カンボジアクレーター」を提示している(文献^{28k)}を引用源としている)。しかし「(テクタイト・撒布域・起源隕石孔などの)こういう形での紹介は、日本ではこれまでなかったと思う。」と付記しているのは頂けない。

12.3 超古代のマイクロテクタイトの分布

ガラス微球またはその風化生成物である粘土微球が撒布されていると報告され、時にはその起源隕石孔が推測された例を挙げる：

南中国・湖南省・太湖などの地域から飛滴状或いはマイクロテクタイト状で得られる。衝撃石英やシリカの溶融物も含まれる。年代は 3.6 億年前、古生代デボン紀末の大絶滅に対応する。太湖がその起源隕石孔の跡か?とも論じている。

ベルギーでも同じ時期のマイクロテクタイト含有層があった。スウェーデンやカナダにある隕石孔をその起源の候補に挙げている。

13 大絶滅と大衝突

大絶滅の年代が論じられた例を挙げる。マイクロテクタイトまたはそれが変質してできた粘土微球が伴うと言われる場合がある：

デボン紀末 (古生代)	3.65 億年前 ²⁵⁾
三疊紀/ジュラ紀境界 (中生代)	2.15 億年前 ²⁹⁾
始新世/漸新世境界	3600 万年前 ³⁰⁾
鮮新世/更新世 (洪積世) 境界	230 万年前 ³¹⁾

始新世/漸新世境界は北アメリカテクタイトの放撒の時期とほぼ一致する。

文献^{32a)}は小規模の絶滅を含めた非常に多数(30回以上)のものを挙げ、それらが天体衝突による(5回)か、その可能性がある(7回)か、も示している。

このような判断には研究者による違いが大きいと思われる。火山噴火を含めての同様な評価が示された例があり^{32b)}、隕石による絶滅は3回だけ(K/T境界・デボン期末・ペルム紀末)と考えている。

またこのような検討のために、米国内の隕石孔数十個が列挙・表示された^{15a)}。

14 「ムオン・ノン型テクタイト」・「ボタン型テクタイト」の問題：多重衝撃

14.1 オーストラリア・アジアテクタイトの場合

オーストラリア・アジアテクタイトには土壌と層状に組み合わさった構造を持つものがあり、採取された土地の名から「ムオン・ノン型」と分類されている(図7)。そのような形になった理由の推測された例では、大気が

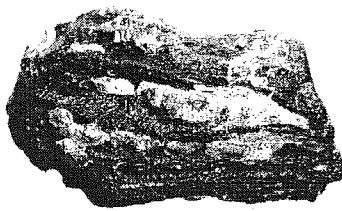


図7 「ムオン・ノン」型テクタイトの一例。長さは約60mm.

強熱されていて融液が着地時に十分低粘度であり、液滴が回転しつつ着地したこと^{33a)}、複数の隕石が同時に落下(多重衝突)したこと^{33b)}、地下深くに発生した融液がこの型のテクタイトになった、などがある。

逆にムオン・ノン型の方が低温度条件であった^{33c),d)}、多重衝突を考える必要がない^{33e)-g)}、とも議論された。

ムオン・ノン型は現地の米作農民の貯水池掘りや森の探索で得られたが、液滴型のは混じっていなかった

^{33a)}。液滴型よりも隕石落下地点に近く分布するはずだとして、タイ/ラオス国境の南部を隕石の落下地点と推測している^{33e),g),h)}。

この型のテクタイトの存在量として2~20g/m²というかなり大きい数字が挙げられた³³ⁱ⁾。

海南島で10kgを超える個体も見つっている^{33j)}。

14.2 北アメリカテクタイトとモルダヴァイトの「ムオン・ノン型」

北アメリカテクタイトとモルダヴァイトにもムオン・ノン型があることも知られるようになった^{34a)-f)}。ただし理化学的に詳細に見るとオーストラリア・アジアテクタイトのそれとは同一といえないと論じられた^{34a)}。北アメリカテクタイトのムオン・ノン型のもがニュージャージーで見いだされ^{34b)}、この型は起源地に近い場所にあるはずだ、と論じられた(起源地がチエサピーク湾口と確定する以前である)。この型の方が液滴型よりも強く加熱されているという報告^{34c)}とその逆の報告^{34d)}とがある。

モルダヴァイトの場合、ムオン・ノン型の方が起源地に近く低温で生成した、と論じられた^{34e)}。

14.3 「ボタン型テクタイト」

オーストラリア・アジアテクタイトにはフランジを持つ円盤型(ボタン型)がある(図8)。一旦地上から遙か高く放出されたものが大気圏へ再突入して空力加熱されたものであろう、と論じられた^{34f)}。

この場合、地表下の深部から放出された大型のもの

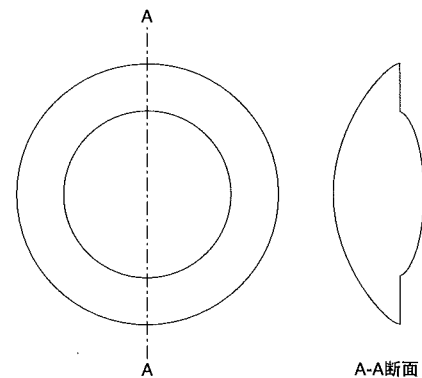


図8 ボタン型テクタイトの形の概念図

◎解説

ムオン・ノン型テクタイトになる、とされた。

インド洋の広域でボタン型のものが得られる。その再突入時の速度は7km/secであったと見積もられる^{34g)}。

15 衝撃鉱物の分布

隕石落下に際して、地殻の石英が衝撃の印象を残すシリカの高圧相結晶(コーザイト・スティショバイト)になったもの、溶融・ガラス化したもの(ルシャテリエライト)および高圧のために溶融せずにそのまま無定形になったもの(Thetomorphic glass)ができ、マイクロテクタイトと同じく広域に撒布される。

これらの存在を確認する試みがあった。

大西洋では衝撃石英が頻繁に見つかっており^{35a)-f)}、最初は北アメリカテクタイト関連とチクフルブ関連との区別に注意されなかった^{35a)}が、その後には後者関連のものが特に豊富に存在することが知られた^{35b)-g)}。

オーストラリア・アジアテクタイトの撒布域では、インドシナ半島から2000km以内の部分に衝撃石英とコーザイトが共存しており(33サンプル中7サンプル)、このうち3サンプルがスティショバイトも含んでいた。残りの26サンプルは衝撃鉱物を含まなかった。衝撃石英だけ、コーザイトだけを含むものもなかった^{35a)}(図9)。

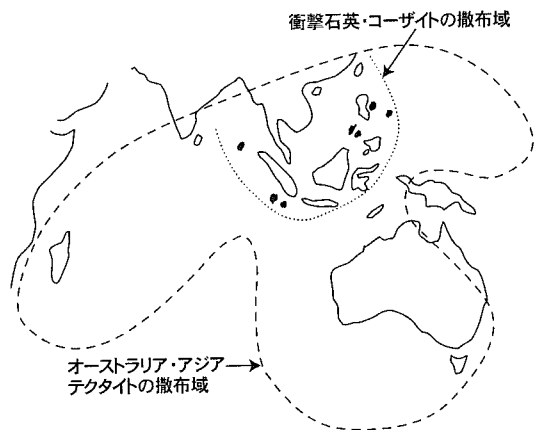


図9 東南アジア海域の衝撃鉱物が認められた位置(黒丸)

象牙海岸テクタイトの場合は衝撃鉱物は見つからなかった^{35h)}。隕石が小さかった、衝撃鉱物を採集できる海が隕石孔から遠くにある、などの理由が考察された。ルシャテリエライトは多い^{35a)}ので、石英粒は十

分にあったのだ、と論じられた。

16 「ヒーリング(癒し)パワー」

鉱物・石に人の心を癒す力があるという考え方が広められている。鉱物科学的には意味がないと思うが、それらの存在・形・色を見て人の精神が影響されることはあり得る。ヒーリングパワーを唱える人達が黒曜石/テクタイトをどう理解しているか、目にした例を記す。

- ① オブシディアン(黒曜石)/テクタイト
石器時代に矢尻に使われたのが黒曜石(オブシディアン)、隕石が地表にぶつかってできたのがテクタイト。ともに古い時代の記憶に繋がる。
- ② 同上
シリカガラスの一種。両者はいずれもガラス質である。
- ③ テクタイトは一時期月から来たという隕石説があったが今では隕石が地表とぶつかったショックで、地上岩石が溶けてできたものと考えられている。インドネシアには大量にあり、バケツ一杯いくらで売っている。
- ④ チェコに出る緑色透明のモルダヴァイトははるかに貴重である。石器時代から飾りものに利用され、今では小粒のものしか拾うことができない。モルダウ地方にのみ分布するので、モルダヴァイトの名前が付いた。ドイツに巨大隕石が落下した時にできたものであろうとされている。
- ⑤ ティクタイト(隕石): 幸運の石、宇宙のパワーを秘めた石
- ⑥ モルダヴァイト(隕石): 宇宙のパワー・覚醒・輪廻転生の問題解決・過去のトラウマ
- ⑦ 黒曜石はヒーリングに使われている。石器時代と現代とを結びつける石の代表格である。この石を手にして太古に思いを馳せるのも面白い。
- ⑧ オブシディアン: 攻撃・才能開花・積極性を発揮・痔に効果あり。

テクタイトは隕石である、と認識されている例が依然多い。

東京工業大学の地球史資料館では

- ・「テクタイト」: 中国・広東省茂名。ガラス質飛来物。
- ・「モルダバイト」: 隕石衝突によって溶けた岩石が再び

固化してできるガラス質の塊（テクタイトの一種）．透明な緑色が特徴．

と表現されていて，説明を簡単にするために不十分になったうらみがある．

鉱物結晶の規則正しい原子配列が触媒作用で炭素化合物を合成し，生物発生のための化学的準備をした，という考え方がある³⁶⁾．テクタイトは生物発生には比較的縁遠い鉱物と言うことになる．

17 リース・ケッセル

モルダヴァイトの起源隕石孔の地形は「リース・ケッセル」と表現されている．「ケッセル・Kessel」はナベ・カマ・ヤカン・ボイラ・ナベアナ・山に囲まれた谷底・噴火口，などの意味がある．この地形がモルダヴァイトの起源隕石孔の探索・同定の手がかりになった．ボーリングにより地質が調査された（図10）^{37a)}．

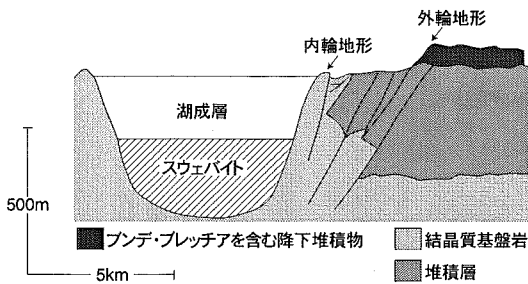


図10 リースケッセルの地質断面概略図

この隕石孔は標高数百メートルの地域にできている．直径約25kmの外輪地形と直径約10kmの内輪地形がある．

隕石落下前の地質は，結晶質の基盤岩（石灰岩か？）の上に500mの厚さに堆積岩が覆ったもので，隕石落下により孔の周囲に基盤岩塊が持ち上げられて内輪地形（直径10km弱）を作った．孔の下部にはスウェヴァイトが，その上には湖成層があつて孔を満たす．放出された角礫とスウェヴァイトとが堆積して直径約25kmの外輪地形を作った．これは比高100ないし200mの周壁となっている．角礫は「Bunte Breccia (bunte=美しい，彩りのある（ドイツ語），breccia=角礫（イタリア語起源の地質学用語，ドイツ語綴りは「Brekzie」）」と表現され，「クレーターを作る一次的な放出物と二次的な降下物」から成ると説明されている．写真からは結晶

質基盤岩がガラス質・セメント様質などで結合されたものようである．これとほぼ同じものがチェサピーク湾にもあると報告されている（前記^{26f)}）．

リースの地形は石灰分に富む原地質の上であり，外輪の一部では石灰岩の採掘とセメント製造が行われている．内輪地形は浸食が進み不明瞭で，散在する起伏になっている部分が多い．

リースでは今は外輪壁の南部が欠けていて，地形も此处で急傾斜で低くなり，水の排出経路になっている．その一部では傾斜した地形が漸ち切られ，断面に結晶質基盤の岩脈らしいものが露出して見える部分があった．鉄道も自動車道路もこの部分を使って南から登ってくる．

外輪壁を横切って四つの川が流れ込み，一つに合流して南の外輪壁をでる．これらの川の源流はマイン河支流域と隣り合う．南へ流れた水は山麓のドナウヴェルトの町でドナウ川に入る．

外輪壁の比高は高くとも200m程度なので，100万分の1の地図では輪状構造は表示されない．

かつては湖水が外輪上部に近い水準まで満ちていた．また北方にボーデン湖に近い面積の堰き止め湖ができており，南のドナウ川は西へ流れていたり，天変地異に掛けることの「桑滄の変」プラス「滄桑の変」，と言うべき経過を辿ってきた^{37b)-c)}．

内部にはネルトリンゲン（Nördlingen）の町がある．「ノルトリンゲン」の方が現地の発音に近い，という意見があるが，「ネルトリンゲン」で十分に通ずる．ケッセル内と外部とは自動車道路と鉄道で通じていて，自動車の交通は頻繁である．

18 厚い「輪」の城

この町は厚い煉瓦の城壁で囲まれている．城壁は三十年戦争（1618-1648 A.D. 新教国/旧教国勢力の争い）を含む三百年にわたる多数回の苛烈な包囲・攻防戦の時期を経て現状に達したもので，直径は1kmくらいかと思われる．現在でも，一部修理中で欠けている部分があるが，街を完全に包んでおり，壁の中の回廊を伝わって街を一周できる（図11）．壁には望楼が幾つも作られ，途中にレストランもある．城門の一つは中世の雰囲気をいくらか漂わせている（図12）．

この街はいわゆる「ロマンチック街道（Romantische Strasse）」に属していて，商業・飲食業・宿泊設備の多い町である．また季節によるのかも知れないが，フラ

◎解説

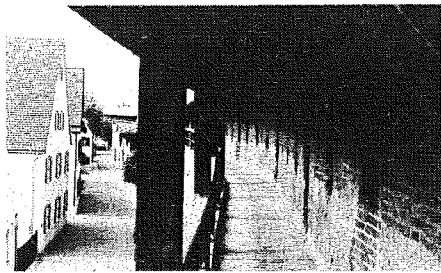


図 11 ネルトリンゲンの城壁内の回廊(城内側)を見る。



図 12 ネルトリンゲンの城門の一つ図

ンクフルトとミュンヘンとを入り口として、ピュルツブルグ・ハイデルベルグ・ハイルブロン・アウグスブルグ・ネルトリンゲンなどの町々を結ぶバス便が運行されている。「街道」は南のオーストリア領(インスブルックなど)へも伸びている。

また城壁の外の新開発地域には、ドイツの新興ファッション・ブランド「ガブリエレ・シュトレーレによる『シュトレネス』」が本拠を置いている。ブランド名はシュトレーレと「ジュネス(若さ:フランス語)」との合成である。

旅行前に調べた地図ではネルトリンゲンに鉄道が通っていないので、アプローチに時間も費用もかかると予想したが、南方に当たるドナウヴェルトの駅へ着くと、鉄道があり、簡単に街に着いた。

街に着いたのは金曜日の午後であったためか、城郭内は歩く人、店が露天に出したテーブルで食事する人、路上駐車する自動車で大変な混雑であり、さすがロマンチック街道! と感心するばかりであった。二、三のホ



図 13 ネルトリンゲンの街並みの一例

テルを訪ねたが、泊まれない。城壁の外にあるホテルを見つけて、宿泊する事ができた。

翌朝城内を訪ねると、閑散として人影も車の影もない。人々はまだホテルで寝ているのか、教会へ行っているのか、とも思うが、それらしくもない。商店も全く閉じられている。客は古城のホテルで一夜を楽しみ、早朝に次の目的地へ一斉に旅立った、としか思えなかった。

しかし昼頃には人通りがあり食堂が開いて、昼食には差し支えがなかった。

城壁の内部の建物は古いにしても、新しく補修したものが多と思うが、普通の住宅は白ないし淡色の壁に赤い瓦屋根を乗せて(図13)、中世風を連想させるものが多く、たとえば地下駐車場への入り口でも、周囲に比べて違和感がないような形になっている。しかし大きい建物では濃色の壁もある。

城壁の塔の一つが「城壁(Mauer)博物館」になっていて、町と城の歴史についての展示をしている。説明が詳しいが、ドイツ語なので急いでは十分には読めない。歴代の城主(女性も複数含まれる)について、武器・防具・軍装について、また攻囲戦の状況の模型展示がある。

塔の高いところへ登ってケッセルの周囲の黒い壁(外輪地形)を見渡すことができる(図14)。ただし教会の塔の方がもっと高い(図15)。

教会にスウェヴァイトが使われていると聞いていたが、筆者の方に経験が無かったのでそうと確信できな



図 14 城壁博物館から眺めた状況。長い屋根は城壁のもの。地平線に当たる場所は針葉樹が密生した外輪地形である。



図 15 ネルトリンゲンの教会の塔。スウェヴァイトを使っているとのこと。

かった。しかし博物館の図録^{37b),c)}でも「使っている」と記しているので、信じてよいだろう(図 15)。

外輪壁が黒く見えるのは針葉樹が密生しているためである。日光を樹冠の中に導入して吸収する率が広葉樹より大きいから、黒味が濃い、と感じた。

城壁外の平地から見ると、周囲の黒い外輪壁(外輪地形)が見えるが、その一部は残った内輪地形の高まりで隠される。

泊まったホテルの勘定書を帰国後に調べていると、名前が「HOTEL AM RING」であることに気付いた。「RING」は城郭/外輪壁の一方、おそらく城郭を指すのであろうか。「Grosse Kreisstadt Nörtlingen(大きな輪の街ネルトリンゲン)」と言う表現がある。

「リースクレーター博物館」^{37b)}があるが、当時はそのことを知らなかったので訪ねなかった。

西南方約 35km の所に直径 3.5km 位の隕石孔とその中の街シュタインハイムがある。年代がリースと同じで、リース隕石が大气突入時に分裂して二個の隕石孔を作ったのかも知れないと言われる。ここにもシュトゥットガルト博物館の分館としての隕石博物館³⁸⁾がある。

19 「ケッセル」を歩く

外輪壁へ行って登りたいと思い、タクシーと交渉したが引き受けてくれない。確かではないが、各所を案内して回るような客でないため、ということらしい。自動車道路に沿って一番近く見える西の壁へ向かった。自動車が速くて怖かったので畑の中を歩いたりした。途中では内輪に当たる地形であろうか、登り降りがあった。

ケッセルの中の地表の地質は前記のように湖成層であり、農業に適しているようにみえて、おおかた麦畑、所々にトウモロコシ畑であり、一部に住宅地・村落がある。工場もあった。空闲地もあって、伸びやかに土地を使っているという印象があった。

大石を並べたものがあった。粗い外観であった(図 16)。スウェヴァイトかも知れない。表面の風化のためか一見したところではガラス質があることは確認できなかった。



図 16 スウェヴァイトと思われる石の列

「GLAS・KERAMIK」工房が一目に付いた(図 17)。外輪壁に近づくると密な林に覆われているのがわかる(図 18)。外輪壁の内側の立ち上がり傾斜が緩い部分まで畑になっている。その部分の畑の土は沢山の水磨していない砕礫を交えている。これが隕石落下の衝撃で砕かれた岩片であり、壁を構成する要素なのであろうか。ただし外見は白っぽい淡黄色で、目に見える大きさの結

◎解説



図 17 「ガラス・セラミック工房」



図 18 外輪壁に近づいた眺め

晶が見えず、「Bunte Breccia」ではないと思った。

外壁に近づくと伐採した木を載せて下る車に逢った。壁の林から必要に応じて伐り出して来たものであろう。壁の傾斜は直登が難しいくらいだが、林の中には斜めに登れる道がある。木が密生しているので、伐採して開かれた場所でないとなんとも見えない。壁の上縁に座ってネルトリンゲンの街を眺める状況を予想していたが、都合のよい場所がないと実現不可能である。伐り開かれた場所では、遠く霞む赤茶色の街が見えた。

上縁を外方へ直径方向に 100m か 200m くらい行くと、下り坂になるのを見て引き返した。

麓にドイツ国鉄の駅があったので、一時間くらいダイヤを待って引き返した。二駅目がネルトリンゲンである。

その駅は城郭外、直線距離で 200m 位の所にある。

西方や北方へ繋がる車・鉄道は外輪地形を切り通して連絡しているような写真があるが、徒歩と限られた時間の条件では現地到達が難しく、確認していない。

20 街と河

ヨーロッパの河は源流域で互いに絡み合っているという印象を受ける。

エルベ河の上流のヴルタヴァ河の源流はドナウ河中流とは（当たり前かも知れないが）分水嶺一つで隔てられているだけである。

またライン河の支流マイン河の源流は、ムジェ河（ブラハでヴルタヴァ河に合流する）の源流と分水嶺一つを隔てるだけである。ライン河はその源泉ポーデン湖へ入る支流および中流域の二ヶ所でそれぞれ分水嶺一つでドナウ河と隔てられているだけである、このような関係は詳細に見ればもっと多いであろう。

このような関係を利用して、河と河をつなぐ運河がいくつか掘られており、内陸間の重量物の運輸に役立っているであろう。もうひとつ、河が他国から流れて来る、他国へ流れて行く、という感覚も日本では経験がない。

20.1 ドナウヴェルトのドナウ河

リースケッセルの水は南方へ下ってドナウヴェルトの町でドナウ河に合流する。駅から歩いて 15 分位で河が見られる。「源流」からはすでに遠いので河幅は広く、流れは緩い（図 19）。岸からは樹々が枝を伸ばし、河岸の傾斜地に住宅が樹の間にのぞく。

河は東へ向かい、ドイツ領を通過してからウィーンを経て黒海に注ぐ。

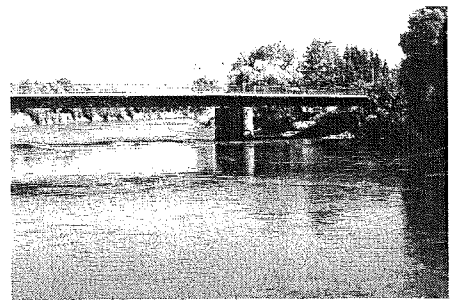


図 19 ドナウ河に架かる橋。ドナウヴェルトの町。

20.2 マイン・ドナウ運河

ドナウヴェルトの東方 100km くらいの所から「マイン・ドナウ運河」が掘られ、これはニュルンベルクを経て、マイン河に接続する。フランクフルトはマイン河畔にあり、フランクフルトからドナウヴェルトへの鉄道はニュルンベルクで運河に近づく。マイン河はライン河に

合流し、オランダを経て大西洋に入る。船は地形の高低を閘門によって通過して行く。従って大西洋と黒海とが舟運で結ばれている。閘門の一つはニュルンベルクにある。

此処では高いセメントのサイロが河畔に立ち、セメント輸送用貨物船と遊覧船が繋がれていた(図20)。

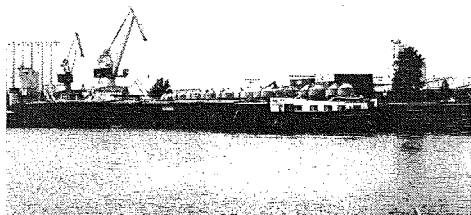


図20 マイン・ドナウ運河(ニュルンベルク付近)。左方1km程のところに閘門がある。

20.3 ウィーン

「美しく青きドナウ」河はウィーンの南側を通過する。一部が細い分流となって旧王宮や中心街・博物館地域に近い所を流れ、それから再び主流に合流する。

旧王宮近くにはマリヤ・テレジア女王と重臣たちの群像が立つ。周辺を回る観光馬車に乗った。「モーツァルトが住んだ家」を教えられた。モーツァルトだけでなくベートーベン・シューベルト・ブラームス達もこの町に住んだはずである。美術館は目くるめく感じて印象が薄いが、年代が古い作品が多いと感じた。

中心街から南へ歩くとドナウ河の主流にでる。ここでは泳いでいる人がいたし、貨物船・遊覧船が繋がれていた(図21)。この河畔では東・南・西方向を見渡せる。距離を置いたところに幾つかの高層の建物が見えた。

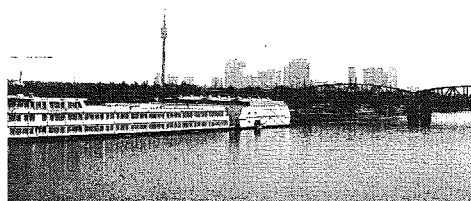


図21 ウィーン市南部、ドナウ河北岸からの眺め。

20.4 プラハ、ヴルタヴァ河

プラハは教会の尖塔の多い街(「百塔の街」)である。「ポヘミヤガラス」であろうか、ガラス器の販売店が多い。

ヴルタヴァ河の河幅は広く、何隻もの遊覧船が浮かび、その乗船場がいくつもある。河をまたぐ橋が多く、袂に高い塔をもつもの、観光客向けの出店で賑わうものがある。画・スケッチ・写真・工芸品など手工芸的なものを売る店が多かった(図22)。教会も種類のグッズを用意している。

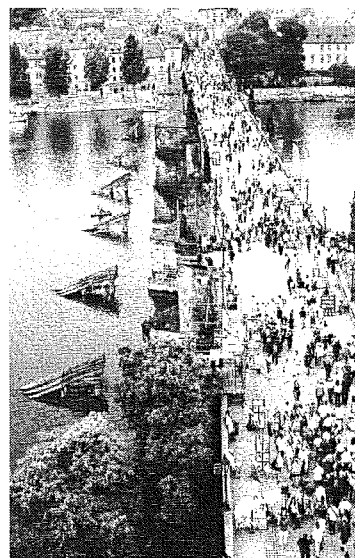


図22 プラハの橋の望楼から橋の上を眺める。橋脚の上流側に流木よけの木組みがある。

橋は古来洪水と戦争により度々破壊されたという。今でも橋脚の上流側に流木(?)避けを設けている(図22)。これは甲斐の国の武田信玄により治水に使われたものと形も働きも似ている筈である。水流を弱めるだけでなく、その部分に土砂を堆積させて橋や堰を守る。

堰が設けられ、河へ流れ込む水、河から取り入れられる水がそれぞれ分けて導かれる。

駅から地下鉄一駅の所に国立博物館があった。理化学・鉱物・動植物・地史・古生物・考古学などをすべて兼ねているが、隕石とモルダヴァイトとが一室に纏まっていた。テクタイトの成因は、地球上への隕石の落下・衝突であるとしている(図23)。多数のモルダヴァイトを採集地別・形状別に並べている。

◎解説

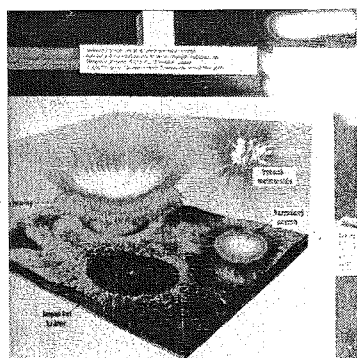


図 23 プラハの博物館の隕石・テクトイト展示室の解説図。テクトイトの隕石起源説を説明しているものと思う。

20.5 ボヘミアのヴルタヴァ川

ヴルタヴァ河上流のテクトイトが採集される地域を歩くため、鉄道の便のある町としてチェスキ・ブデジョヴィツェを選んだ。「チェスキ」は「チェコの」の意味らしく、この接頭辞を持つ地名は多い。モラヴィアにはまた「モラヴスケ・ブデジョヴィツェ」市がある。

タクシーで街から下流（北方）10km ぐらいの所へ行き、川のそばへ降りて貰った。

川（図 24）はのどかな小川という風情だが、プラハと同じく堰や（川への）放水口が多いし、それらはかなり大規模である（図 25）。堰の上流では幅 100m 位



図 24 ボヘミアのヴルタヴァ川

にもなるが、その下流では幅 10m 位の急流になり、プラハの広い河幅からみて、信じられないくらい細い。細い急流ではカヌーの練習をしていた。周囲は畑が広がるが、木立・森林・住宅地・公園・休暇施設・馬事施設も存在する（図 26）。汚水処理場もあり、その建設工事が進んでいた。農業用水の使用が多いのであろうか。それらはかなりの割合で蒸発するのではないだろうか。

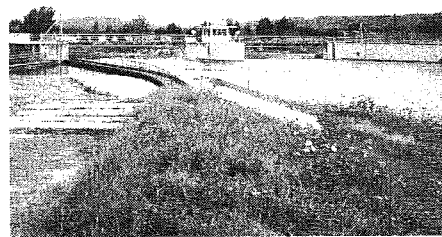


図 25 ヴルタヴァ川の水利施設



図 26 畑・木立・森のあるボヘミアの原

地面には天候のせいか水溜まりが多いし、地図でも水面を示す部分が広い。

一部では草むらをかき分けるようにして川沿いに上流へ歩き続けた。やがて大規模な新しい住宅ビル・ビジネスビルと思われる建物群が現れ、市街地に入り、流れは細めの川になる。旧市の中心部にある市博物館では、オーストリアによる支配の時代からの文物を展示しており、玄関に「マリア・テレジアの侍医」と言う人の大きな像がある。此処でも採集地別のモルダヴァイトの展示があった。

20.6 エルベ河

ヴルタヴァ河は北に流れて「ラベ河」となりドイツ領に達する。「エルベ河」と名を変えエルツ山地を横切り、ドレスデンで平野に出て、ザクセン・チューリンゲン・ブランデンブルグ各地方の広い流域を抱えてハンブルクを流れる。

ハンブルクでは大きな掘割りをいくつも掘り、広い水路に多くの船が停泊し、一見すると海港のような印象を受けた。このような情景を高めから見下ろせる市内高速鉄道の駅がある（図 27）。

河はいくつもの流れに分かれて街を通過する。図 28 は分流の一つであるが、大きい船は通れそうにない。工

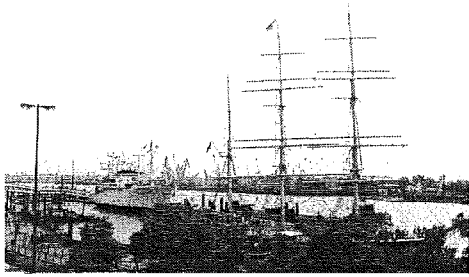


図 27 ハンブルクのエルベ川。多数の船が碇泊する。

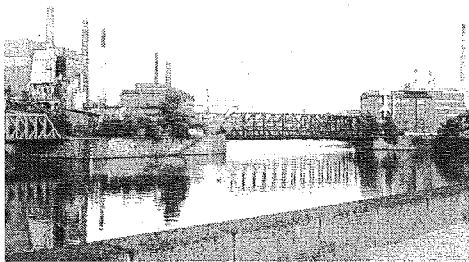


図 28 ハンブルク市内のエルベ川の分流の一つ

業地帯らしい。

数本の分流は下流で一本に合流する。地図によると河の下流では河幅が1ないし2kmにも拡大するので、深さによっては内陸であっても大きい船が来易いのであろう。

博物館では船と港と第二次大戦の戦災に関するものの比重が大きい。

街には小さなブラームス博物館があり、何の因縁か乗馬姿のビスマルクの大きな銅像が立っていた。

ブラームスはハンブルクで生まれ(1833年5月7日)、前半生をここで過ごした。後半生はウィーンで活動し、また此处で没した(1897年4月3日)。「ウィーンを愛した音楽家」と評される。1853年に既に鉄道で両市間を往来したが、鉄道で32時間を要した。現在の国際直通特急列車では、ニュルンベルクやリンツを経由して9時間である。両市間の直線距離は1000km弱ある。

「博物館」の展示品は写真やコピーが多い。本格的な博物館は別にあるということらしい。開設は1971年と新しい。

ハンブルクが海岸の港であると思っていたが、実際はエルベ川の河口(北海/ヘルゴランド湾)まではまだ数

十キロある。

20.7 ブレーメン

ハンブルクと同じくハンザ同盟に属する都市であったブレーメンも海からは遠いが、広い流域と幅広い下流を持つベーザー河(図29)で海に通ずる街であり、ハンブルクと共通点がある。

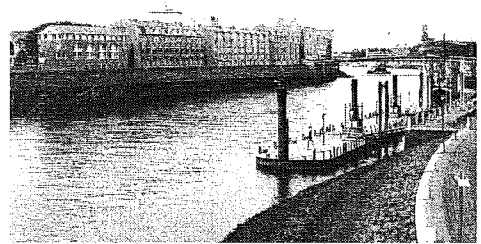


図 29 ブレーメン市南部のベーザー河。船着き場付近。

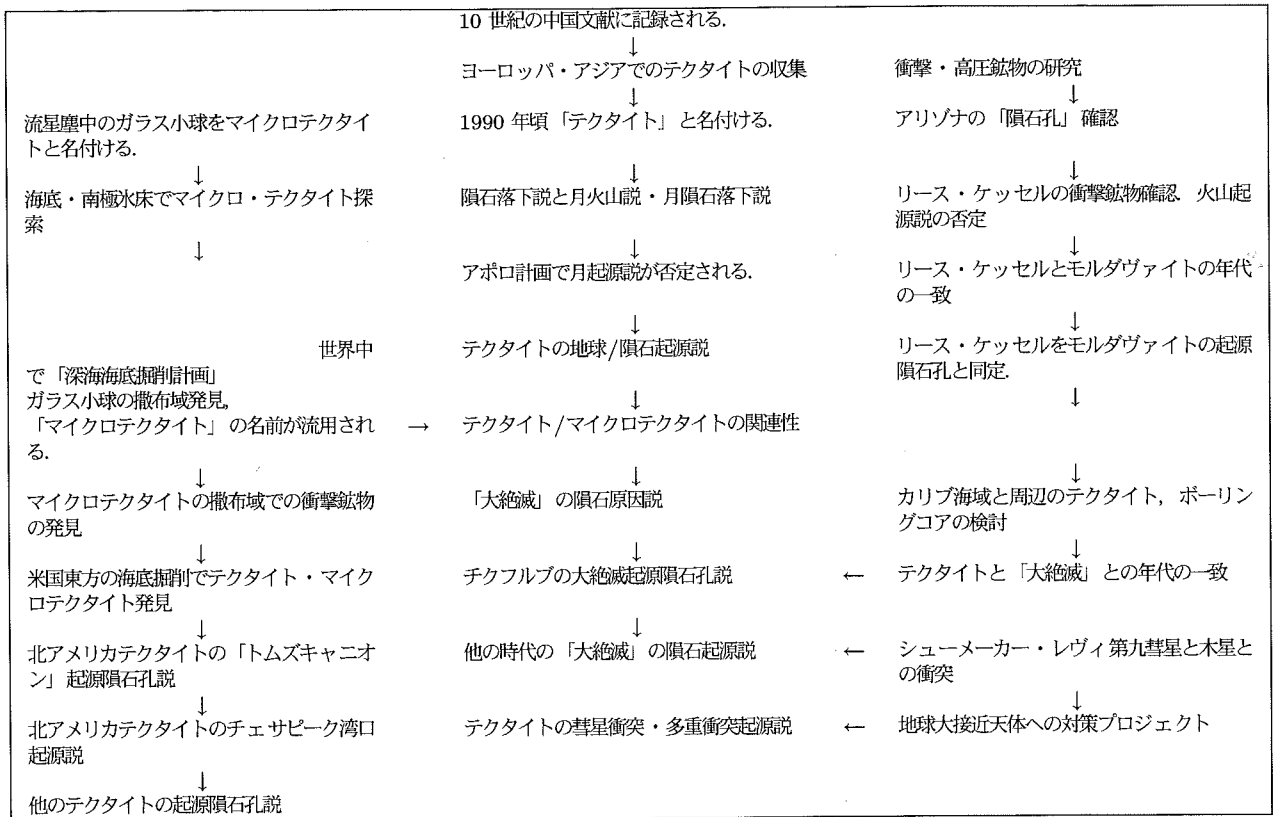
街の中心の広場に「ブレーメンの辻音楽隊」の銅像があり(図30)、これに因んだ各種の観光土産を売っている。看板(図31a)やホテルの便箋や書類にもその図案が刷り込まれていた(図31b)。



図 30 「ブレーメンの辻音楽隊」(実高3ないし4m)

そのためかどうか、童話にでてくるような子供・魔法使い・擬人化された動物などの銅像が広場で多く目に付く。また、これもどういう因縁か「シェイクスピア」を

表 3 テクタイト・マイクロテクタイト・大絶滅の学史



標榜する劇団・劇場があった。

ハンブルクとブレーメンへ来てみて、ハンザ同盟の街々は海港を中心に行っている、と感じていたのは間違いであると知った。

21 結び

最後にテクタイトの学史を表 3 に纏める。テクタイトの学史に惹かれ、テクタイト → モルダヴァイト → ボヘミア → モルダウ河 → リースケッセル → エルベ川 → ドナウ川、と連想を繋げて尋ね歩いた印象深い旅が終わった。河に関心を持ったのは、ヴルタヴァ河がエルベ河になり北海に注ぐのが意外なことと感じたからである。

テクタイトは天体・超古代に関連するので再現実験ができず、議論が対立・錯綜したまま終わる状況になり易い。議論はまだまだ続いて行くのかもしれない。

本稿を纏めるために千葉工業大学・東京工業大学の各



a)



b)

図 31 a) 辻音楽隊を漫画化して利用した看板, b) ホテルの便箋のロゴ。左端に辻音楽隊の形がある。

図書館を利用したことを記して謝意を表します。

[参考文献]

- 1) Y. Hou, *Science*, **278** [5485], p.1622 (2000)
- 2) V. Bouska, "Moldavite-The Czech Tektites" Stylizace, Prague (1994)
 - a) 同書 p.49, b) 同書 p.11, c) 同書 p.15, d) 同書 p.39, e) 同書 p.38, f) 同書 p.40
- 3) H. Newson, *Geological Soc. Amer. Special Papers*, **No.247** p.195 (1990)
- 4) テクタイト形成の条件
 - a) A. M. Vickery, *Icarus*, **105** p.441 (1993)
 - b) J. T. Wasson, *J. Geophys. Res.*, **98** [E2] p.3043 (1998)
- 5) 小島 郁生, 「恐竜はなぜ滅んだか?」岩波書店 (1990)
- 6) 日本人の研究者
 - a) K. Matsubara, *Meteoritics*, **26** p.217 (1993)
 - b) T. Matsuda, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** p.273 (1996)
- 7) 隕石の衝突
 - a) 大隕石衝撃と惑星進化の国際会議 (1992)
 - b) J. P. Hodych, *Geology*, **20** p.51 (1992)
- 8) 米国地質学協会特別論文集 第 293 号, 「巨大隕石の衝突と惑星の進化」(1994)
- 9) Alvarez の絶滅説
 - a) L. W. Alvarez, *Science*, **208** p.1095 (1980)
 - b) W. Alvarez 著, 川奈 左知 訳「絶滅のクレーター-T・レックス最後の日」新評論 (1997)
- 10) マイクロテクタイトの分布
 - a) B. P. Glass 他, 第 10 回月・惑星国際会議, p.2535 (1979)
 - b) C. M. G. McHue 他, *Earth Planet. Sci. Letters*, **160** [3-4] 353 (1998)
 - c) C. Koeberl 文献 8) p.133
 - d) B. P. Glass, *Tectonophysics*, **171** [1-4] p.393 (1990)
- 11) 米国地質学協会特別論文集 第 247 号, 「地球史の中の世界的かつ破滅的な災害」(1990)
- 12) 米国地質学協会特別論文集 第 249 号, 「コロラド, ニューメキシコの白亜紀/第三紀境界」(1990)
- 13) 米国地質学協会特別論文集 第 302 号, 「アイオワ州のマンソン隕石孔の構造: 衝撃クレーターの地質解析」(1996)
- 14) 米国地質学協会特別論文集 第 307 号, 「地球史の中の白亜紀/第三紀境界のイベントとその他の破壊的災害」(1996)
- 15) 彗星の衝突説
 - a) L. F. Jansa 他, 文献 11), p.223
 - b) E. M. Shoemaker 他, 文献 11), p.155
 - c) C. Koeberl, 文献 8), p.133
 - d) P. R. Weissman, 文献 11), p.171
 - e) S. Perlmutter 他, 文献 11), p.87
 - f) K.A. Farley 他, *Science*, **280** p.1250 (1988)
- 16) 隕石・彗星核の多重衝突
 - a) J. T. Wasson, *Earth Planet. Sci. Letters*, **102** p.95 (1991)
 - b) J. T. Wasson, *J. Geophys. Res.*, **100** [E7] p.14383 (1995)
 - c) P. S. Fisk, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** p.42(1996)
 - d) A. Montanari, 文献 11), p.607
- 17) 衝突・大絶滅説
 - a) P. Claeys, *Science*, **257** [5073] p.1102(1992); *Earth Planet. Sci.*, **122** [3-4] p.303 (1994)
 - b) J. P. Hodych, *Geology*, **20** [1] p.51 (1992)
 - c) P. E. Olsen, 文献 11), p.585
 - d) N. MacLeod, 文献 11), p.595
 - e) K. Wang, 文献 8), p.111
- 18) A. Deutsh, *Meteor. Planet. Sci.*, **32** [5] p.679 (1997)
- 19) 新しく報告された撒布域
 - a) T. Meisel, *Meteor. Planet. Sci.*, **32** [4] p.493(1997)
 - b) M. Storr, *Geochim Cosmochim. Acta*, **56** [7] p.2937 (1992)
 - c) Zheng Hong-Han 他, *Chim. Sci. Bull.*, **35** [17] p.1465 (1990)
 - d) R. A. Dunlap, *Hyperfine Interaction*, **110** [3-4] p.217 (1997)
 - e) Zhang Bao-Min, *Chim. Sci. Bull.*, **37** [9] p.1647 (1992)
 - f) Kun Wang, *Science*, **256** p.1547 (1992)
 - g) M. S. Prasad, *Meteoritics*, **29** [1] p.66 (1994)
 - h) B. P. Glass, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** [3] p.365 (1996)
 - i) R. F. Fudali, *Meteoritics*, **26** [2] p.153 (1991)
- 20) テクタイトの「起源隕石孔」の調査
 - a) C. C. Swisher 他, *Science*, **257** p.954 (1992)
 - b) C. Koeberl 他, *Geochim. Cosmochim. Acta* **62** [12] p.2179 (1998); *Geology*, **26** [6] p.543 (1998)
 - c) R. Bottomley 他, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61** [8] p.1745 (1997)
 - d) J. B. Garvin, 文献 8), p.249
 - e) E. P. Izokh, *Sov. Geology Geophys.*, **32** [4] p.1 (1991)
 - f) H. Newson 他, 文献 11), p.195
- 21) 北アメリカテクタイトの年代
 - a) C. Koeberl 他, *Science*, **271** [5253] p.1263 (1996); *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59** [19] p.4071 (1995); *Meteor. Planet. Sci.*, **33** [2] p.229 (1998)
 - b) C. W. Poag, *Geology*, **20** p.771 (1992)
- 22) 月の火山
 - a) J. A. O'keefe, *J. Non-crystalline Solids*, **84** [1-3] p.309 (1986)
 - b) J. A. O'keefe, *Meteoritics*, **29** [1] p.73 (1994)
 - c) G. Ryder, 文献 8), p.11
- 23) E. P. Gurov 他, *Planet. Space Sci.*, **46** [2/3] p.23 (1998)
- 24) K/T 境界と大絶滅
 - a) B. P. Glass 他, *Earth Planet. Sci. Letters*, **19**

- p.184 (1973)
 b) C. B. Officer 他, *Nature*, **326** p.143 (1987)
 c) C. Jehanno 他, *Earth Planet. Sci. Letters*, **109** 229 (1992)
 d) L. W. Alvarez, *Science*, **208** p.1095 (1980)
 e) T. Penfield 他, *Soc. Expl. Geophys. Inst. Meeting*, **51** p.37 (1981)
 f) A. R. Hidebrand 他, *Geology*, **18** p.867 (1991)
 g) H. Sigardson 他, *Nature*, **349** p.482 (1991)
 h) C. Koeberl, *Earth Planet. Sci. Letters*, **87** [3] p.286 (1988)
 i) C. Koeberl, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56** [5] p.2113 (1992)
 j) J. Smit, *Geology*, **20** p.79 (1992)
 k) C. C. Swisher 他, *Science*, **257** p.954 (1992)
 l) W. Stinnerbeck 他, *Geology* **21** p.797 (1993)
 m) G. A. Izett, *Science*, **252** [5012] p.1539 (1991); *J. Geophys. Res.*, **96** [E4] p.20879 (1991)
 n) B. P. Glass, *Geology*, **21** p.435 (1993)
- 25) デボン紀末の絶滅
 a) P. Claeys 他, *Science*, **257** [5073] p.1102 (1992); *Earth Planet. Sci.*, **122** [3-4] p.303 (1994)
 b) K. Wang, 文献 8), p.111; *Science*, **256** p.1547 (1992)
- 26) 北アメリカテクトタイトの起源隕石孔とチェサピーク湾
 a) K. A. Farley 他, *Science*, **280** p.1250 (1988)
 b) C. Koeberl 他, *Earth Planet. Sci. Letters*, **87** p.286 (1988)
 c) B. P. Glass, *Meteoritics*, **24** [4] p.209 (1989)
 e) C. W. Poag 他, *Geology*, **20** [9] p.771 (1992); *Geology*, **22** [8] p.691 (1994)
 f) C. Koeberl 他, *Meteor. Planet. Sci.*, **33** [2] p.229 (1998)
- 27) チェサピーク湾の地質構造
 a) C. W. Poag 他, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** [2] p.218 (1996)
 b) C. M. G. McHue 他, *Earth Planet. Sci. Letters*, **160** [3-4] p.353 (1998)
 c) C. Koeberl 他, *Meteor. Planet. Sci.*, **33** [2] p.229 (1998); *Science*, **271** [5253] p.1263 (1996)
- 28) オーストラリア・アジアテクトタイトの起源隕石孔
 a) B. P. Glass 他, *J. Geophys. Res.*, **99** [E9] p.19075 (1994)
 b) D. R. Chapman, *J. Geophys. Res.*, **76** [26] p.6309 (1971)
 c) C. C. Schnetzler, *Geophys. Res. Letters*, **15** [4] p.357 (1988)
 d) C. C. Schnetzler, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** [1] p.73 (1996)
 e) M. Chaussidon, *Geochim. cosmochim. acta*, **59** [3] p.613 (1995)
 f) J. Hartung, *Meteoritics*, **25** p.367 (1990); **29** [3] p.411 (1994)
 g) C. Koeberl, *Geochim. cosmochim. acta*, **59** [3] p.613 (1995)
 h) J. D. Blum, *Geochim. cosmochim. acta*, **56** [1] p.483 (1992)
- i) 大隕石の衝撃と惑星進化の国際会議 (1992) 於サドベリー, オンタリオ, カナダ
 j) 金子 史朗, 「巨大隕石が降る」中央公論社, p.157 (2003)
 k) R. J. Ford, *Australian J. Science*, v.35 (1988)
- 29) 三畳紀末の絶滅
 a) J. P. Hodych, *Geology*, **20** [1] p.51 (1992)
 b) P. E. Olsen 他, 文献 11), p.585
- 30) 始新世末の絶滅
 a) N. McLeod, 文献 11), p.595
 b) A. Montanari, 文献 11), p.607
 c) G. Keller 他, *Meteoritics*, **22** [1] p.25 (1987); **22** [1] p.61 (1987)
 d) B. P. Glass, *Meteoritics*, **22** [3] p.265 (1987)
 e) K. A. Farley 他, *Science*, **280** p.1250 (1988)
- 31) D. Jablonski, 文献 14), p.1
- 32) 大量絶滅
 a) M.R.Rampino 他, 文献 14), p.11
 b) L. ベッカー, 海保 邦夫 訳 「C60 が語る巨大隕石衝突と大量絶滅」別冊日経サイエンス, 「異説・定説 生命の起源と進化」 p.66 (2003)
 c) L. F. Jansa 他, 文献 11), p.223
- 33) 「ムオン・ノン型」オーストラリア・アジアテクトタイト
 a) J. T. Wasson 他, *J. Geophys. Res.*, **100** [E7] p.14383 (1995)
 b) J. T. Wasson, *Earth Planet. Sci. Letters*, **102** [2] p.95 (1991)
 c) C. Koeberl, *Tectonophysics*, **171**, [1-4] p.405 (1990)
 d) T. M. Clark 他, 「メスバウアー効果に関する国際会議」 **50** p.145 (1996)
 e) P. S. Fisk 他, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** p.42 (1996)
 f) B. P. Glass, *Meteoritics*, **24** [3] p.143 (1989)
 g) C. C. Schnetzler 他, *Meteoritics*, **27** [2] p.154 (1892)
 h) C. Koeberl, 文献 8), p.133
 i) P. S. Fisk, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** [1] p.36 (1996)
 j) D. S. Futrell 他, *Meteoritics*, **28** [1] p.136 (1993)
- 34) その他のムオン・ノン型テクトタイト
 a) C. Koeberl, *J. Geophys. Res.*, **91** [B13] p.E253 (1986)
 b) C. Koeberl, *Earth Planet. Sci. Letters*, **87** [3] p.286 (1988)
 c) C. Koeberl, *Geochim. cosmochim. acta*, **59** [19] p.4071 (1995)
 d) T. M. Clark 他, 「メスバウアー法の適用に関する国際会議報告」 p.745 (1995); 「メスバウアー効果に関する国際会議」 **50** p.145 (1996)
 e) C. Koeberl, *Tectonophysics*, **171** [1-4] p.405 (1990)
 f) C. Koeberl, 文献 8), p.133
 g) B. P. Glass, *Meteor. Planet. Sci.*, **31** [3] p.365 (1990)
- 35) 衝撃鉱物と衝撃ガラス
 a) B. P. Glass, *Geology*, **21** p.435 (1993)
 b) W. Alvarez, *Geology*, **20** [8] p.697 (1992); *Science*, **269** [5226] p.930 (1995)

- c) H. Leroux, *Earth Planet. Sci. Letters*, **131** [3-4] p.255 (1995)
 - d) F. J. -M .R. Maurrasse, *Science*, **252** [5013] p.1690 (1991)
 - e) B. F. Bohor, *Tectonophys.*, **171** [1-4] p.359 (1990)
 - f) H. Sigurdson 他, *Nature*, **349** p.482 (1991)
 - g) G. A. Izett, 文献 12)
 - h) C. Koeberl, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **62** [12] p.2179 (1998)
- 36) R. M. ハーゼン, 矢追 拓郎 訳, 「深海底の鉱物が育んだ生命」, 32b) と同じ. p.28
- 37) リース隕石孔
- a) H. Newson 他, 文献 11), p.195
 - b) C. Poeges 他著, P. Scherer 他訳, *The Ries Crater Museum Nördlingen*, Museum Guide, Dr. Friedlich Pfeil 発行 (1997)
 - c) R.Huetter 他著, *Wanderungen in die Erdgeschichte* (10) *Meteoritenkrater Nördlinger Ries*, Dr. Friedlich Pfeil 発行 (2003)
- 38) R. Huetter 他著, *Der Steinheim Meteorkrater*, Dr.Friedlich Pfeil 発行 (2002)