

テクタイト -クレーターと河と街-(2)

Tektite -Meteorite Craters, Rivers and Towns-

岸井 貫
Toru KISHII

問合せ/キシイ 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

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「月の兎」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

解説

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)。

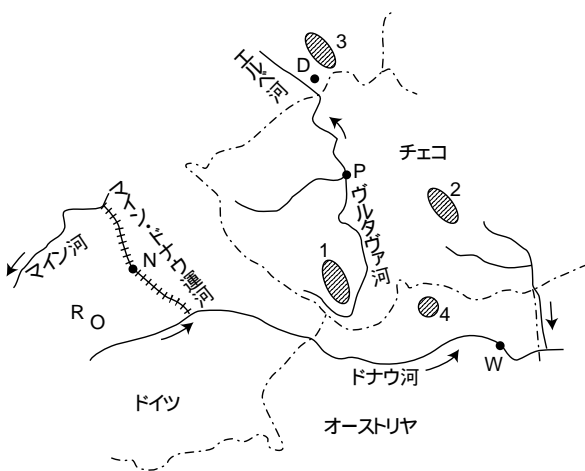


図 4 モルダヴァイトの撒布域と河・運河。

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：ルサチヤ（ドレスデン周辺）の撒布域，4：オーストリア領内の撒布域

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「フルタウ」が現れる。この民族はローマ帝国時代に、しばしば帝国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「ヴリタウ」が出る。これらの語源は「Wild water」の意味の「wiltaha または wiltawa」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「モルタウ」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 800 A.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「ウルタヴァ（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「ウルタヴィン」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、此处では 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「ダーウィンガラス」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。「ウレンゴアイト」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

解説

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ブ隕石孔

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ブ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である^{24g)}、逆にハイチ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)}。

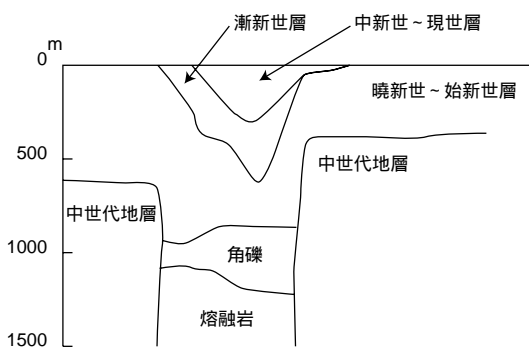


図5 チクフルブ隕石孔の地質構造の概略

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の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散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・モルダヴァイト散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)」の散布地。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年にシベリアのポピガイ隕石孔(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る)とが認められた。年代は3550万年前で、北アメ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、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

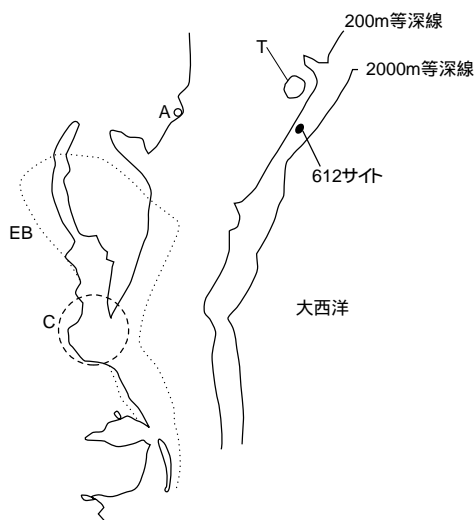


図 6 米国大西洋岸での深海掘削計画 612 地点，トムズ・キャニオン (T)，チェサピーク湾口 (C)，エクスモア礫床 (EB) の関係位置。A はアトランティックシティ市。

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「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アに達する、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

解説

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。マイクロテクト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⁾
三畳紀/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トタイトの放散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)}。

[参考文献]

- 21) 北アメリカテクトタイトの年代
 - 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. Schneitzler, *Geophys. Res. Letters*, **15** [4] p.357 (1988)
 - d) C. C. Schneitzler, *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)