

世界き裂発見の旅

中佐啓治郎（広島大学名誉教授）

1. はじめに

ものが壊れるときには、まず小さなき裂ができ、それが伝ばして、全体または一部が分離します。機械や構造物の破壊を取り扱う学問は、材料力学、材料強度学、破壊力学などと呼ばれて、機械・土木・建築学を学ぶ学生の重要な授業科目の1つになっています。通常は、機械部品や構造物が壊れないように設計をしますが、逆に、リサイクル・解体・分解を考えて、適度にもものが壊れたり、はく離（界面でき裂が伝ば）したりするように設計することもあります。

私は、長い間、機械材料の破壊について研究を行ってきましたが、その間に、さまざまな割れパターンを観察しました。き裂がどのような経路で伝ばしたかを調べれば破壊の原因が分かることがあり、このような作業は、破壊面の観察とともに、事故調査では必ず行われます。機械材料の破壊の過程を研究しているうちに、機械だけでなく、身の回りの物体や自然界にも、さまざまな割れのパターンあるいは類似の模様や現象があることに気がつき、何か面白いき裂や模様はないかと探す習慣がついてしまいました。今回はそれらの“成果”の一端を紹介しましょう。



2012年6月19日、TSS文化大学で講演する筆者

図1は、広島市の古い地図です。まだ太田川放水路ができていない時代のもので、川の分岐によりデルタが自然な形でできていることが分かります。左下の図は、焼入れした強い鋼に溝（切欠：きりかき）をつけ、水の中で力を加えて保持したときに現れるき裂の伝ばパターンで、最初できた1本のき裂がつきつぎと分岐しながら伝ばしていることが分かります。この割れは、鋼の表面の腐食反応によって発生した水素が切欠先端に侵入して鋼の強さを小さくするために起こるもので、「水素ぜい化割れ」、あるいは「遅れ破壊」と呼ばれています。川の分岐とき裂の分岐の形はよく似ており、蓄えられた大きなエネルギーを解放するために、このようなパターンが形成される、という共通の原理が存在することがわかります。

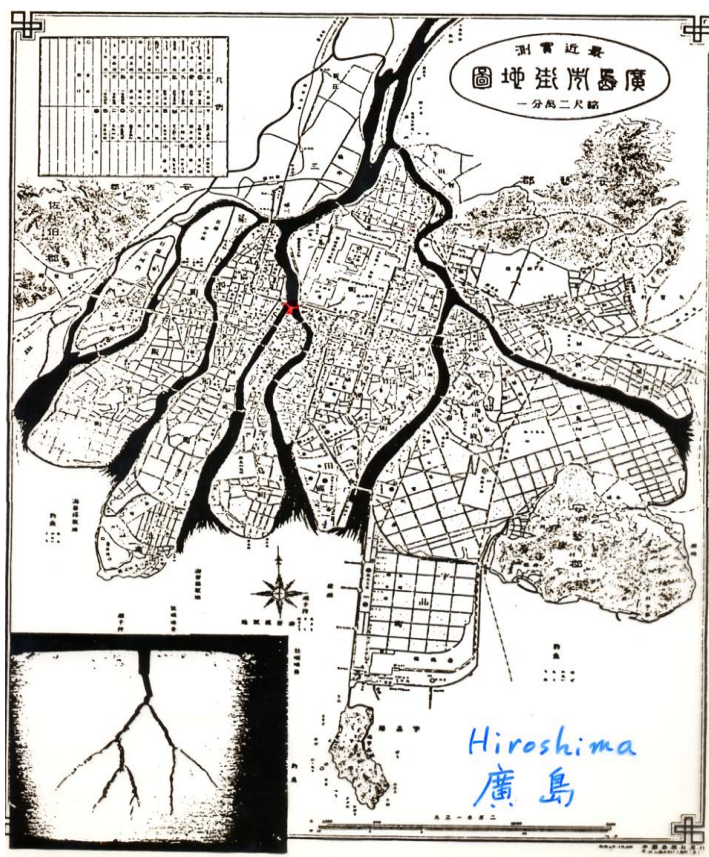


図1 太田川の分岐と「水素ぜい化割れ」き裂の分岐パターン

さて、皆さんの身の回りにも、注意すればさまざまな割れやき裂が見つかるはずです。割れは、人工物だけでなく自然界にもたくさんあり、それぞれ役割を果たしています。各国で起こる地震という地球表面の割れ（ずれ）は無いほうがよいけれども、地球全体が突然大きく割れるよりはましです。卵が割れないと雛が出ることができませんし、鳳仙花の実が割れてはじけないと種が遠くへ飛ぶことができません。人間は、割れない、壊れないものを造る努力をしてきましたが、一方で、切れ目を入れた板チョコレートや菓子袋、接着剤の強さを弱くして適度にはがれやすくした付箋「ポスト・イット」など、都合よく割れたり、はがれたりするものもたくさん造ってきました。つまり、割れのコントロールです。割れ・き裂は、崩壊、破滅、人の争いを連想させる言葉で、美しくないと思える反面、陶磁器表面の釉薬の割れは「貫入」と呼ばれており、そのパターンの偶然性（人間がコントロールできない）が面白い、美しいと思う人もおられるでしょう。割れを工学的な側面からだけでなく、色々な角度から眺めると何か新しい発見があるかもしれません。

2. 旅の身支度

旅行をするときの楽しみは人によっていろいろ違います。私も人並みの楽しみをもって旅行をしていますが、き裂を探す楽しみもそれに加えています。旅でき裂を見つけたときに、それがどのような原因で起こったかを知ることができれば（そのときには分からなくても、帰ったのちでもよい）楽しみは倍加します。旅には準備が必要です。その準備として、2つだけ図を紹介しします。割れパターンの解析には、まずは簡単な物理や化学の知識があればよいと思います。

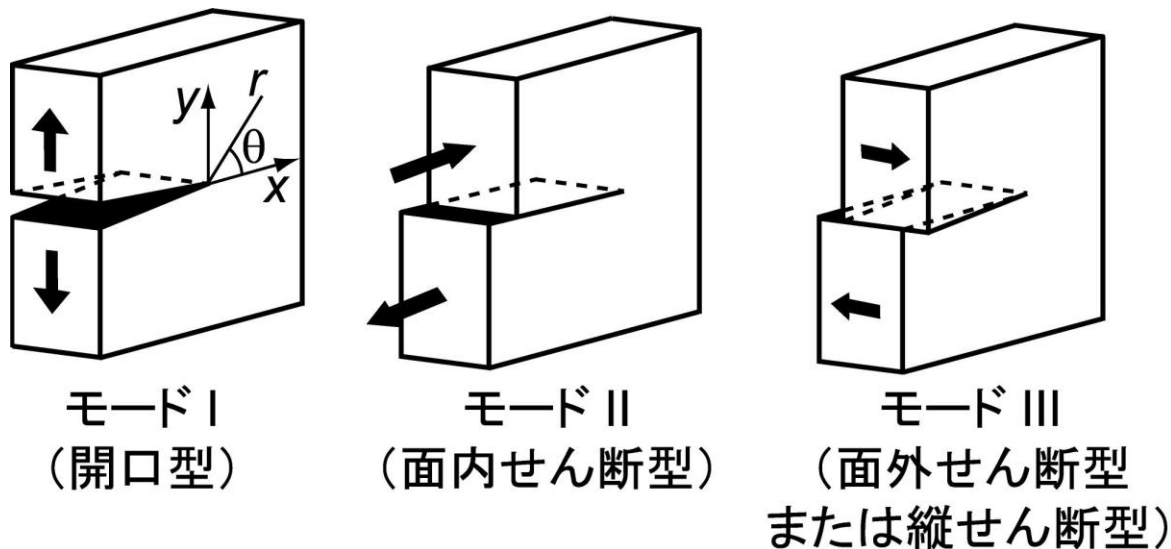


図 2 き裂が伝ばするときの力の加わり方。モード I : 割り箸を割るときのように、上下に引張り力を加える。モード II : トランプを重ねて横にずらすときのように、せん断力を加える。モード III : 「するめ」の入った袋を開けたり、「するめ」そのものを裂いたりするときのように、前後にせん断力を加える。実際には、2つ以上のモードが混じっている場合も多い。

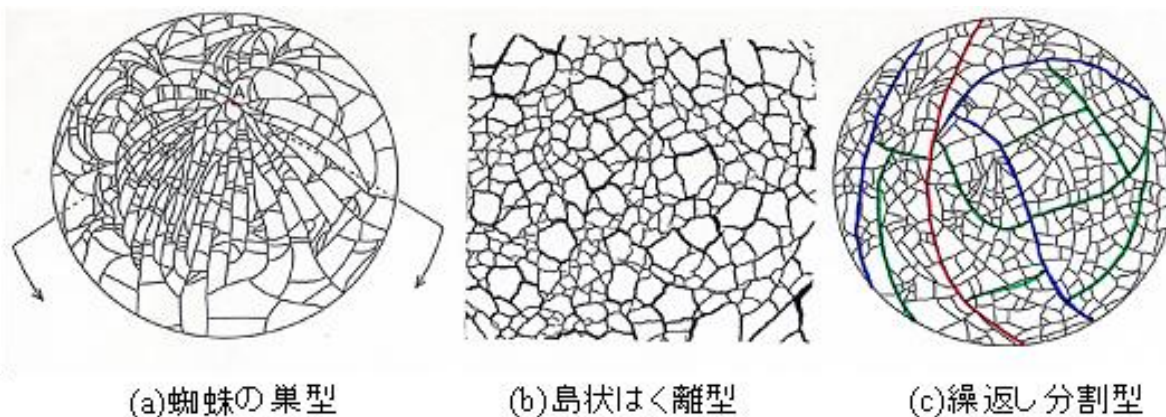


図 3 物体表面の皮膜が割れるときに観察されるパターンの例

3. 世界き裂発見の旅

以下に、旅でみかけた割れの例をいくつか紹介します。

図4は、フィラデルフィアで見た「自由の鐘」です。この鐘(3代目)は、1753年にペンシルベニア州の議事堂の尖塔に掛けられました。1776年にアメリカの独立が宣言された際には、この鐘が打ち鳴らされ、独立を記念するシンボルとなりました。しかし、その後、いろいろな記念日ごとに鳴らされているうちに割れてしまったため、き裂が広がらないように、1846年2月に、き裂先端部にドリルで穴を開けました(応力集中を緩和するためです)。その直後の2月22日、ジョージ・ワシントンの誕生日を祝って、数時間にわたって鐘が鳴らされた際、穴の先端からまた割れができました。(「ウィキペディア」の記事を参考)

鐘を叩くと、き裂壁が接触して音が悪くなるので、き裂壁に沿ってドリルですき間を開けたのでしょうか? 上と下のピンは、細いき裂を少し開いたままで固定するためにあるのでしょうか? これだけ割れると、もとの音色とはかなり異なるでしょう。このドリル溝やピンから、大切な記念の鐘と音色を守るための工夫の跡がうかがい知れます。割れの修理跡は、見る人に自由の鐘とその意味を印象づける効果をもっている、といえなくもありません。

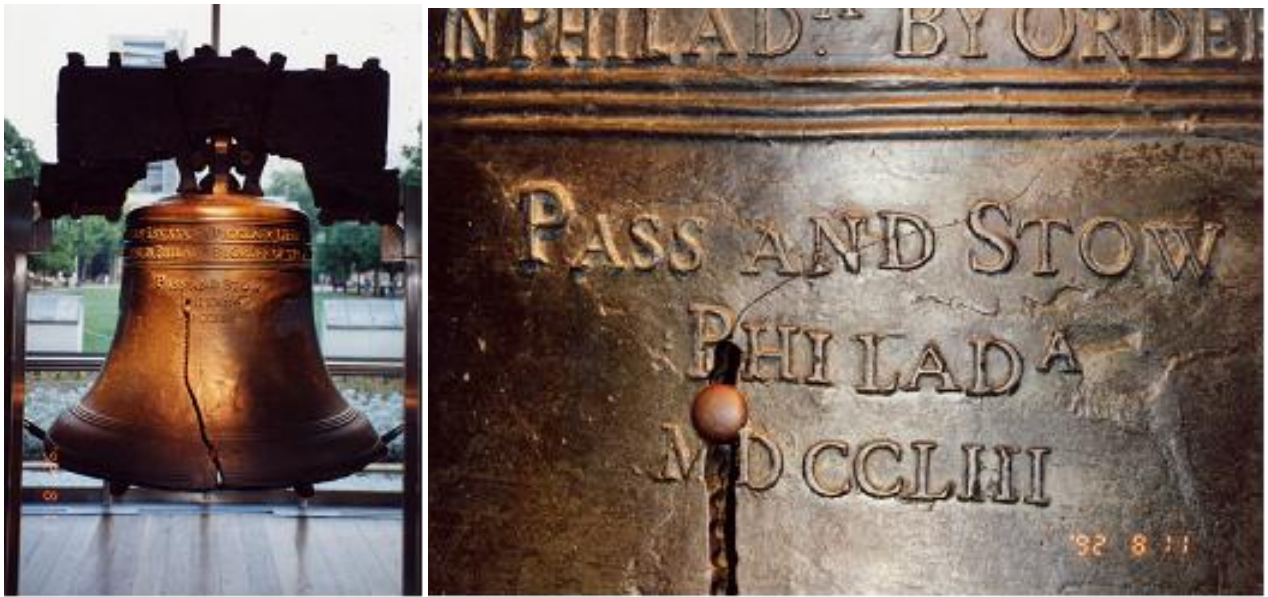


図4 「自由の鐘」のき裂(フィラデルフィア)

図5は、ワシントンのスミソニアン博物館で見かけた恐竜(1.5億年前のジュラ紀に棲息したステゴザウルス)の化石で、背中についている板の表面に多くの割れがあったので写真を撮りました。上部の平坦に削ったような(調査のためか?)部分には割れはありませんので、割れは表面のみで起こっているようです。石の表面に割れがあっても不思議はありませんが、筆者には、骨の成分がどのような過程をへて化石になるかが分かりませんので、割れの原因も説明できません。骨の表面の成分が風化により溶出して表面が収縮した、骨が石になるという気の遠くなるような時間の化学的変化の過程で何らかの力が発生して弱い表面が割れた、あるいは地中に埋もれていた化石が地殻変動により地表に現れる過程で力を受けて表面が割れた、等と想像することもできますが、本当のことは分かりません。



図5 恐竜の化石の割れ (ワシントン：スミソニアン博物館)

図6に示す「モナリザ」は、ルーブル美術館の誇る名画の一つです。少し離れて絵を見ると割れは分かりませんが(a)，近くから撮影された写真(b)からは、「繰返し分割型」(図3(c)参照)の割れが起こっていることがはっきり分かります。き裂はあってほしくありませんが、古い絵画には、画材・年代・保存状態によって、割れが目立つものがたくさんあります。幸い人間の脳には、邪魔なものを排除し必要なもののみを選択してイメージする能力がありますので、き裂はさほど気になりません。



(a)



(b)

図6 ルーブル美術館にあるモナリザ(a)，顔の一部の拡大写真 (b)

図7は、アジャンタの石窟で、堆積岩の層の間に割れができています。このような割れは、いろいろな場所の岩壁でよく見かけますが、成分の異なる層と層の界面では、温度や地殻変動によって発生するせん断応力が集中します。一度界面に割れができると、表面からの雨風の浸食もあって、主としてモードⅡ（図2参照）の様式で割れが内部に拡大すると考えられます。横に長く掘られた石窟（僧院）内は、温度・湿度変動が少なかったため、貴重な壁画が守られたものと思われます。ここに示す菩薩像その他の壁画は、敦煌の莫高窟の壁画や法隆寺金堂の壁画（1949年に焼損）にも受け継がれているようです。

残念ながら、この壁画も一部が、はく離しています。現在、いかにして貴重な文化遺産を守るかが、世界中で大きな課題になっています。壁画・建造物の保存・修復技術、現地保存できない壁画の剥ぎ取り技術、絵画のクリーニング技術など、芸術、考古学、地質学、歴史学、理学・工学などの、さまざまな分野の知識・技術の協力が必要です。



図7 アジャンタの石窟（インド）の割れと壁画（第一窟）のはく離

図8は、1936年、西安で張学良らが蒋介石を拉致監禁して、共産党軍との共同抗日を迫ったときにできた窓ガラスの割れです。中国にとって重要な意味をもつ事件であった（逆に日本にとってもですが）ことは、現場保存がされていることから分かります。何の変哲もないガラスの割れでも、歴史を語る貴重な証拠になっています。

なお、ガラスに固い物体が衝突するとき、衝突速度が速いと、物体の運動エネルギーの一部しかガラスに与えられないため、貫通穴と穴のまわりの短い放射状割れが残るだけですが、逆に衝突の速度が遅いとガラス全体が放射状あるいは蜘蛛の巣状（図3(a)参照）に割れます。このガラス窓の割れ方や他の窓の割れ方を見ると、弾丸は至近距離から発射されたものではないと思われます。



図8 西安事件の弾痕

図9は、松本城の案内板の「繰返し分割型」の割れで、一般の看板や案内板の塗装膜でもよく見られる割れ方です。割れが「島状はく離型」(図3(b)参照)であれば、塗膜と基材の界面強度が小さく、塗膜が剥落してしまう場合があるため、案内板の役割が果たせません。一方、「繰返し分割型」の割れは、塗膜と基材の界面強度が大きい場合に起こりますので、き裂による塗膜の分割が繰返されている限り、塗膜の剥落は起こりません。したがって、案内板の役割は果たせます。この案内板の写真为例に出した理由は、たまたま旅で見かけたというだけで、特別な意味はありません。割れは「もの」や「時間」を選びません。名画の絵具でも、看板の塗膜でも、一定の条件が整えば割れます。戸外では、塗膜が強い紫外線を浴びて劣化しもろくなります。塗膜と基材の熱膨張係数の違いから昼夜の温度差で塗膜に引張り応力が作用しますし、案内板に強風などが吹き付けると曲げ応力も加わります。塗膜にできた割れの先端から雨がしみこんで鉄基材の腐食も起こるでしょう。洞窟や美術館の中とは違って、これらは、塗膜にとってきわめて厳しい条件であり、いずれも塗膜に割れを生じさせ、基材からはく離させるように働きます。その意味では、塗膜は、色あせてはいるが、はく離することなく、必死に案内板の役割を果たそうとしているようにも見えます。



図9 松本城の案内板の割れ(繰返し分割型)

4. 身の回りの割れウォッチング

身の回りにも、さまざまな割れが見つかります。(a)は、陶器表面の割れで、ろくろを回したときの粘土の変形が残って、釉薬が斜めに割れています。(b)は、水たまりが乾燥してできた割れで、大きな「島状はく離型」の割れの中に小さな割れができており、乾燥と割れがどのように進んだかが分かります。(c)は、「むくげ」の実が5つに割れて開き、種を落としたあとの様子です。植物によって実の割れ方(子孫の残し方)もさまざまで、その多様性と独自性には感心させられます。

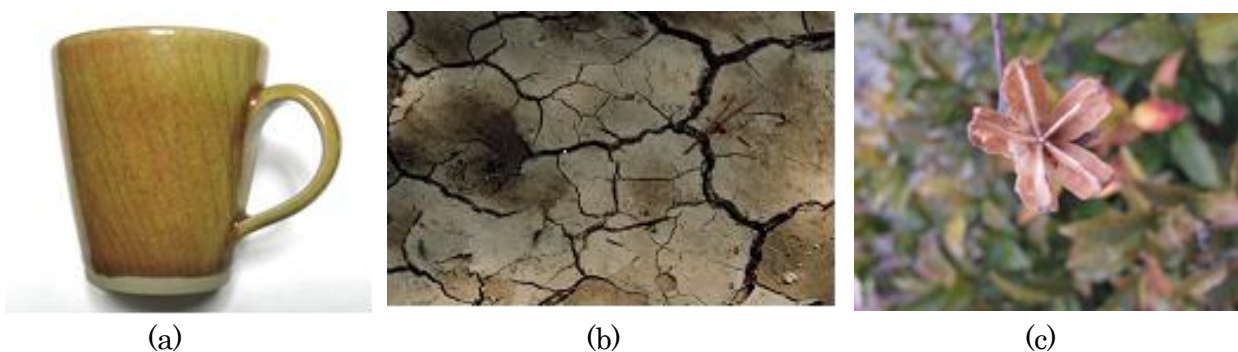


図10 身の回りで見られる割れパターンの例

皆さんも何か面白い割れが見つかったら、それがなぜできたかを考えてみませんか。写真が未整理で説明も未完成ですが、今回ご紹介できなかった内容は、「中佐啓治郎のホームページ」：<http://www006.upp.so-net.ne.jp/nakasa/> の「半趣半究」（半分趣味，半分研究）にありますので、暇なときに見ていただければ幸いです。

（本稿は，2012年6月19日に筆者が行った「TSS文化大学」の講演概要に一部追加して作成しました。）