

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第二名

最佳(鄉土)教材獎

040501

石破地驚-隕石撞關西

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高二 陳泓維	指導老師： 楊良平
---------------	--------------

關鍵詞：隕石 隕石坑 關西

摘要

在一次到關西湖肚參觀四寮溪生態保育護溪工程時，發現河床上散布奇異的角礫岩，蒐集相關資料，經討論過後，決定對此地進行調查。實地考察記錄當地地形特徵，並採集岩石等標本，於實驗室中切割磨製成薄片，在偏光顯微鏡下觀察礦物，發現 Suevite 中含有 Planar Deformation Feature、Planar Fracture、Diaplectic glass、Melt Rock 及疑似 Coesite、Stishovite 等巨大能量撞擊所產生的構造。將所得結果與參考資料進行比對，配合當地實地考察所發現的地形及地質特徵，幾經討論後發現，種種現象均顯示當地某座山山頂曾經遭到巨大能量撞擊，極有可能為隕石。

石破地驚—隕石撞關西

壹、研究動機

那天，到關西湖肚參觀四寮溪生態保育護溪工程，看到河床上散布許多角礫岩，大的 1~2 公尺，小的僅數公分，隨手撿了幾塊帶回學校問地科老師。老師發現這些角礫岩有些奇異的地方：

- 一、角礫為砂岩質岩的碎屑，與底岩接觸的地方有些似乎直接由底岩受到強大的壓力而碎裂，且未被搬運就被基質膠結，能與底岩嵌合。
- 二、膠結物的基質為黑色熔岩質，非常堅硬。
- 三、有些膠結物中具有與火山熔岩相似的氣孔。

假如這些角礫為火山角礫，應被拋出，或被火山熔岩搬運，與底岩不應有嵌合現象。膠結物也和關西地方出露的玄武岩熔岩不同。

有如此巨大力量的自然現象，除火山爆發外，只有隕石撞擊，到底成因為何，我們想一探究竟。

貳、資料蒐集

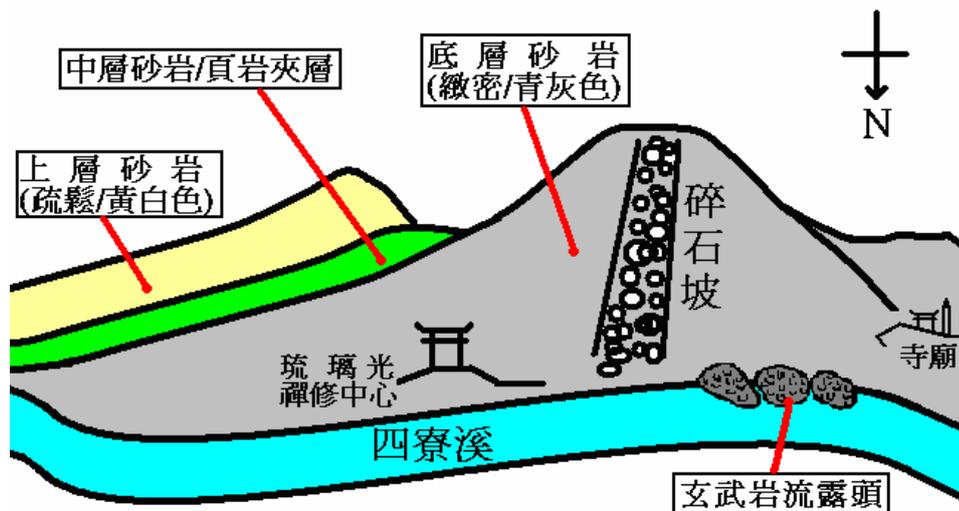
一、地質

根據地質所的關西地區地質報告，湖肚區的地層屬於中新世南庄層地層。

- (一)底層青灰色砂岩，少數有玄武岩流出露。
- (二)中層為砂岩、頁岩夾層。
- (三)上層為白至黃色純度較高的石英砂岩。

火山爆發時圍岩可能受壓破碎噴出火山口，或隨岩漿流動至別處。

當地簡圖



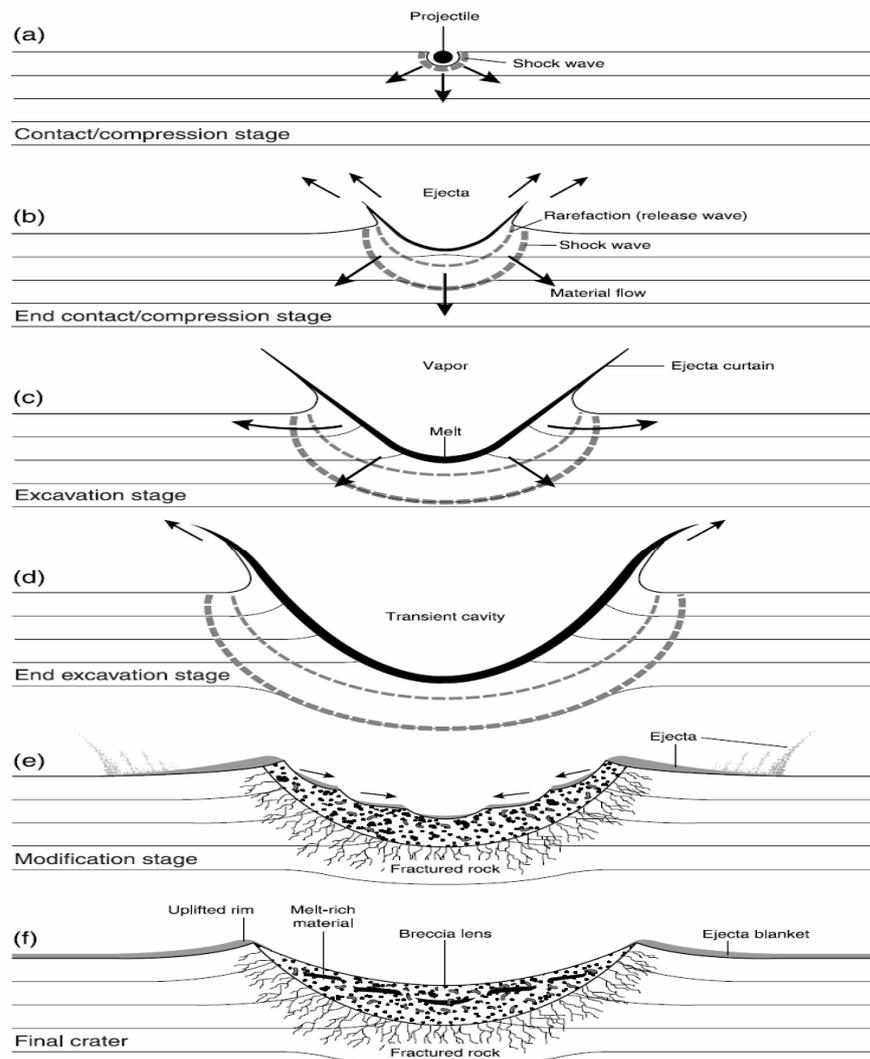
二、隕石坑

隕石以 15km/sec 速度撞擊至地面時，其動能以衝擊波形式向下傳至地岩 (Ground Rock)，向上傳至隕石本身。衝擊波能量以接觸點為中心，

與距離平方成反比，發生下列狀況：

- (一)汽化：在接觸點，巨大的能量把地岩與隕石汽化，產生蕈狀雲向上升後向外膨脹，雲內含地岩及隕石的碎片與熔岩。
- (二)溶化：距離稍大處，地岩與隕石溶化成熔岩，成分為二者的混合。外圍熔岩與岩石碎屑向外濺射至遠處。
- (三)破碎位移：地岩碎裂成角礫，隨熔岩漿流動移位。
- (四)破裂：地岩被震波震裂，造成上層較細下層較粗的角礫，但仍留於原處，且部分角礫仍可互相嵌合成原來的狀況。
- (五)破裂錐 (Shatter Cone)：衝擊波 (Shock wave) 與反彈波 (Relax wave) 共同作用，地岩中較硬母岩表面形成錐狀條痕，錐頂指向撞擊中心。
- (六)隕石坑形成：由於汽化及濺射，質量耗損，地岩形成一半球形之隕石坑，坑內有熔岩及角礫，及由蕈狀雲中落回的較細碎屑，岩漿冷卻後，膠結為衝擊凝灰角礫岩 (Suevite) 構成隕石坑的底部；坑緣則因震波而稍向上突起，上覆碎屑及濺出的岩漿。

形成過程圖



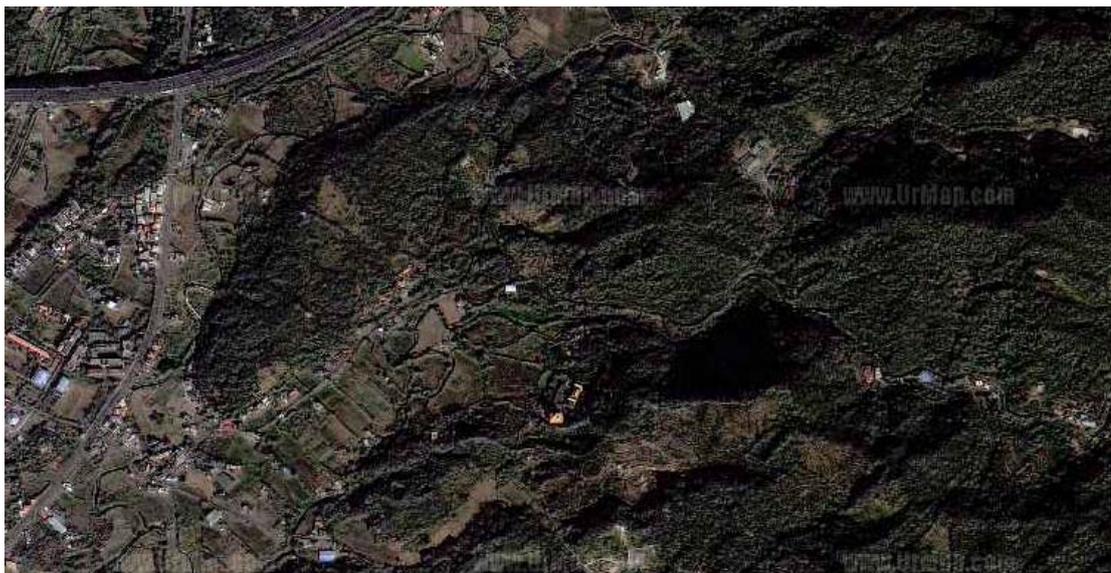
參、地理位置與交通

可由北二高下關西交流道，進入關西鎮內，至關西高中正前方十字路向東，往湖肚進入四寮溪，約兩分鐘於當地寺廟泊車，步行至四寮溪河床即可見遍佈的角礫岩。

肆、調查過程

一、「湖肚」客家話之意為「堀裡」，因其地形為一盆地。上網下載 UR-Map 之衛星地形圖，發現此處確有一圓坑，四寮溪由東北向西南貫穿盆地。

衛星地形圖（上方為北）



圓坑位置圖



二、實地調查：

(一)第一次調查：沿溪谷溯溪而上，溪岸出露的地層為南庄層底部青灰色塊狀砂岩，以及玄武岩，但兩者皆多破碎痕跡，故知河床上的角礫不是由河床底岩被搬運而來。

溪岸上的岩石



爬上廟後方陡峭的小山，沿途皆為茂密的植被覆蓋，並無岩層露出；對岸的緩坡亦同，故知角礫岩並非由疑似隕石坑坑緣岩層崩落。

民家花園廟旁中，豎有一根長約 1m，粗約 40cm 的巨大炭化木，整根與備長炭相似，無燃燒痕跡，據主人云，採自附近山腰。

此炭與老師實驗室中，一截採自四公里外沙坑溪上的標本相似。
炭化木



實驗室內之標本



(二)第二次調查：二次溯溪，溪床上的礫岩愈來愈粗大，溪岸兩側露出岩層仍為南庄層底層砂岩。至琉璃光禪修中心(原大人國遊樂區)，

再往上游即不見礫岩蹤影，故推測礫岩可能來自兩側之山壁。

在溪岸的岸壁上，半埋一塊直徑約 50cm 的熔鐵，表面已部分生鏽，很像鐵隕石，但表面無飛行產生之流痕，旁邊有一塊較小的，採回當標本研究。

熔鐵照片



禪修中心旁的民宅「邵博士梅圃」，圍牆邊放置數塊切成版狀的角礫岩，主人邵博士為一雅石玩家，據云此種岩石雅石界稱為「四寮石」，全台只產於此處，被人拿來當雅石玩賞，其成因為火成岩，來自禪修中心後方山頂，每次颱風過後即有巨岩滑落。

切成板狀的四寮石



(三)第三次調查：沿禪修中心旁山坡上爬，沿途出現礫岩，卡於樹木根處。坡度很大攀爬辛苦，但證明溪床上的四寮石確由此坡滾落。

距山頂約 50m 處，數塊巨大的礫岩卡在樹根處，長 2 到 4 公尺，岩石緻密堅硬，比重大似玄武岩，帶磁性，礫石間的基質為熔岩質，表面已氧化，新鮮處呈黑色。

巨石照片（表面已氧化且為植物所覆蓋）



黑色的新鮮面（左上方黃色圓形物為磁鐵）



敲下幾塊新鮮標本，並撿拾周圍崩裂岩塊帶回研究。

山頂並無岩層出露，只見陡處散布大小約數十公分的岩塊，間有裂隙，裂隙間有熔岩膠結的角礫。



(四)第四次調查：由禪修中心大門進入，在停車場上有四塊由溪床拉上的巨大 Suevite 岩石，長 2 公尺左右，角礫下的母岩有波浪狀突起，波峰間相隔十多公分，似由衝擊波所造成。

停車場上之巨大 Suevite



沿登山步道上行，路邊露出南庄層中層的砂岩頁岩夾層，向東

北傾斜約 30 度直至山頂。



此層易碎，在山頂處形成鞍部，其東北山頂由南庄層疏鬆的黃白沙岩組成。砂岩上有濺出的岩漿覆蓋，岩漿中雜有南庄層下層青灰色砂岩碎屑，推測是由 300 多公尺外西南方山頂飛濺過來。

砂岩樣本





熔岩及砂岩沿紅線一帶膠結



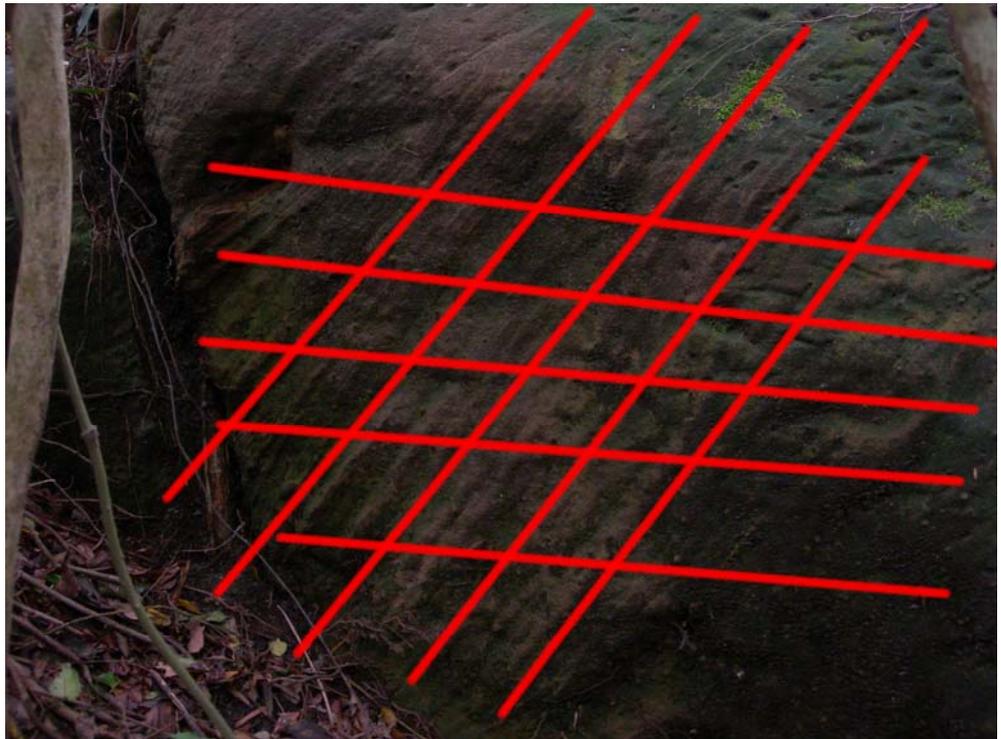
山頂上露出的砂岩岩層表面出現許多平行的波狀條痕，與砂岩層面呈大角度交角，故知這些平行條痕並非漣痕等的沉積構造。

平行的波狀條痕共有兩組，以小角度交叉，似乎由衝擊波及反彈波造成。在波峰處每每出現粉刺狀的再結晶構造，內含晶形完整的石英顆粒。我們暫且將此區稱為「衝擊波痕區」。

衝擊波條痕



兩組波痕交角



粉刺狀再結晶構造



兩組波痕交角



構成鞍部的砂岩頁岩夾層，並無受衝擊而變形的現象，可能岩層結構鬆散不受力或易受侵蝕而消失。由鞍部沿稜線走到西南方的最高峰（第三次的調查地點），想找尋隕石撞擊之中心點，但尋遍山頂及下方 50m 以內範圍，除上次所見幾塊巨大 **Suevite** 外並無新發現。這幾塊巨大 **Suevite** 可能是最後的幾塊，未來不知哪次颱風後，將滾下碎石坡落至四寮溪溪床上。

(五)不死心的第五次調查：由禪修中心的登山步道上山，先至東北山頂的衝擊波區，試圖找幾塊較小型的衝擊波岩帶回，但遍尋不著，只能再拍攝幾張巨型衝擊波岩照片以為證據。

再到西南山頂的撞擊中心區，以棒狀磁鐵測 Suevite 的磁力，發現熔岩膠結礫石之磁力較弱，下方青灰色砂岩次之，最強處在底部青黑色的再結晶部位，更下方未受衝擊作用的原南庄層下層砂岩則不具有磁性。

伍、實驗室內作業

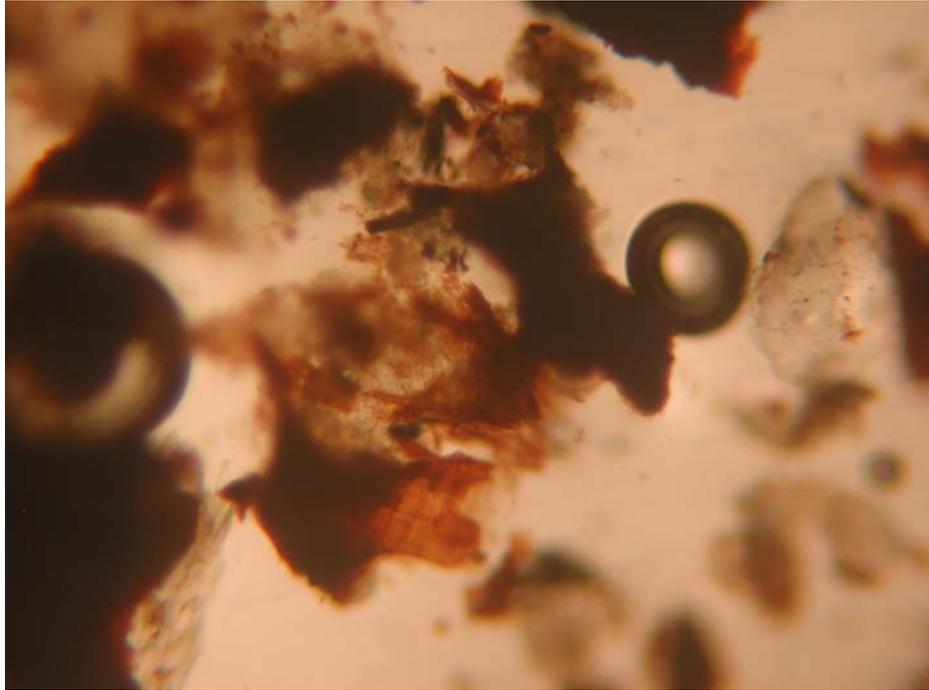
將採集的樣本切成薄片，以金剛砂研磨成透光的顯微標本片，以偏光顯微鏡觀察並拍攝照片：

- 一、隕石標本：發現處在溪床上 Suevite 分布的盡頭，半埋在離溪床約 5m 的岸壁砂土中，採回的標本委託別人以水刀鋸開，拋光後以酒精：硝酸為 9：1 的混合液溶蝕，發現並無鐵錐紋石（Kamacite）或鎳錐紋石（Taenite）特有的錐狀花紋出現，但在黑色的基質中，有兩條極細成棒狀具金屬光澤的礦物結晶出現。測量得隕石標本的磁力極強，比重約為 3.9。
- 二、炭化木：由沙坑採回的標本，表面及裂隙中充滿了很細的粉末，顯微鏡下有黑色不透光以及透明的玻璃質碎屑。不透光者可被磁鐵吸附，磁力極強。玻璃質中可見有少數石英晶體具「板狀變形特徵」PDF 構造（Planar Deformation Feature），故可推斷此炭化木為隕石撞擊時產生的蕈狀雲乾餾而成。

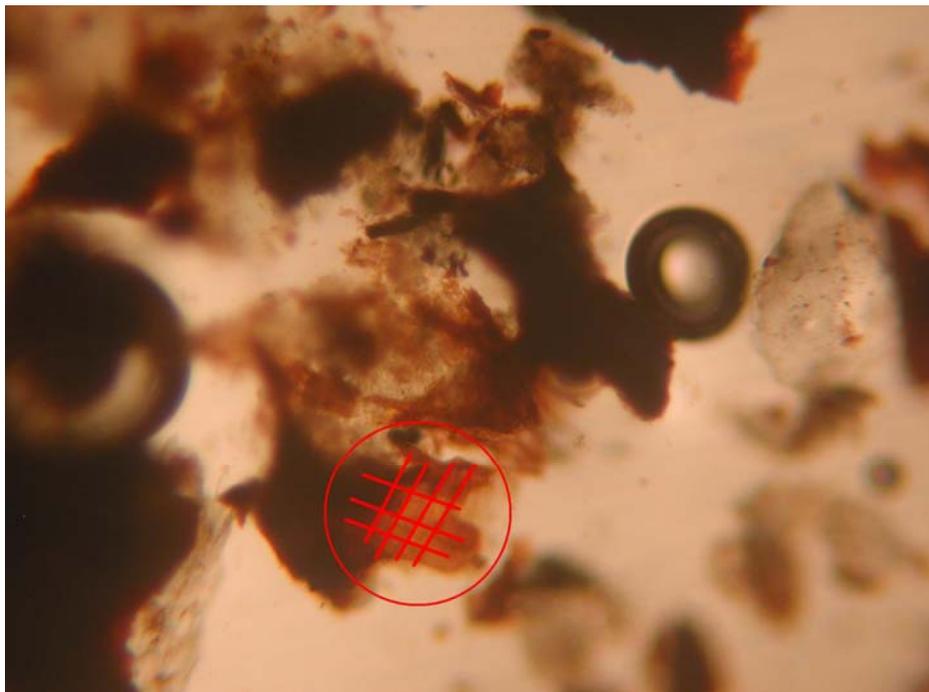
炭化木照片



炭化木中碎屑顯微照片



玻璃質中石英晶體之 PDF



三、Suevite：由熔岩基質與角礫組成，基質不透光且帶磁性，故可能為隕石的鐵與地岩二者因衝擊力強大熔化而成；角礫皆為地岩的碎屑。Suevite 由上而下：上層角礫較小較圓，基質較多且含氣孔，故膠結較鬆，不易鋸成薄片。中層角礫漸大，有因熔岩流動而移動的現象，溶岩基質中少有氣孔。下層礫石較大，且能相嵌，熔岩較少，故知下層地岩被撞後碎裂並被熔岩膠結。

上層角礫



中層角礫

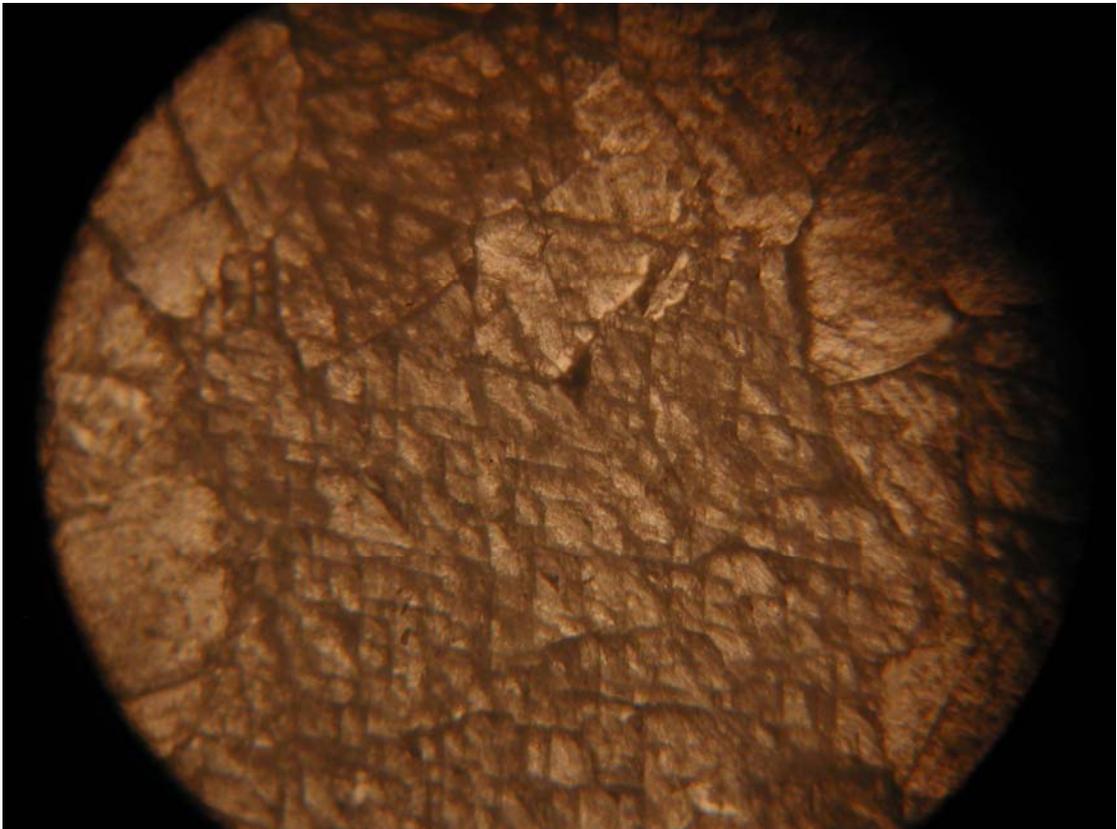


下層角礫

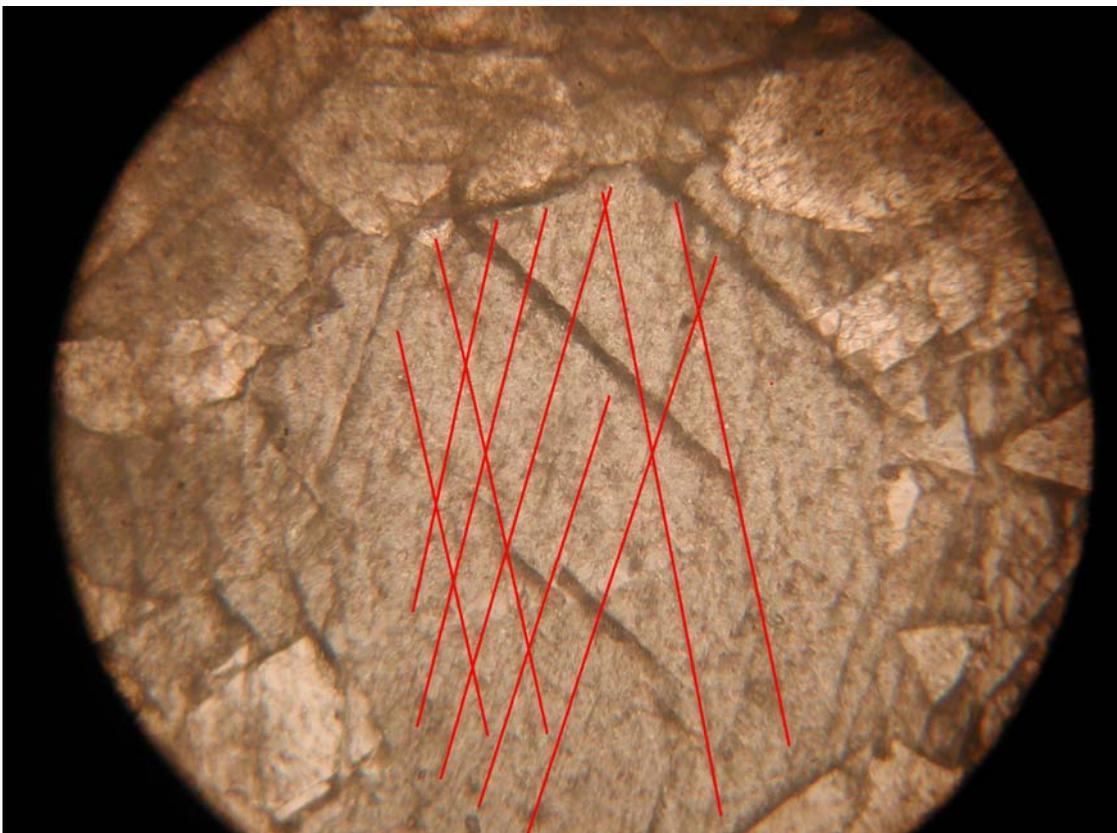
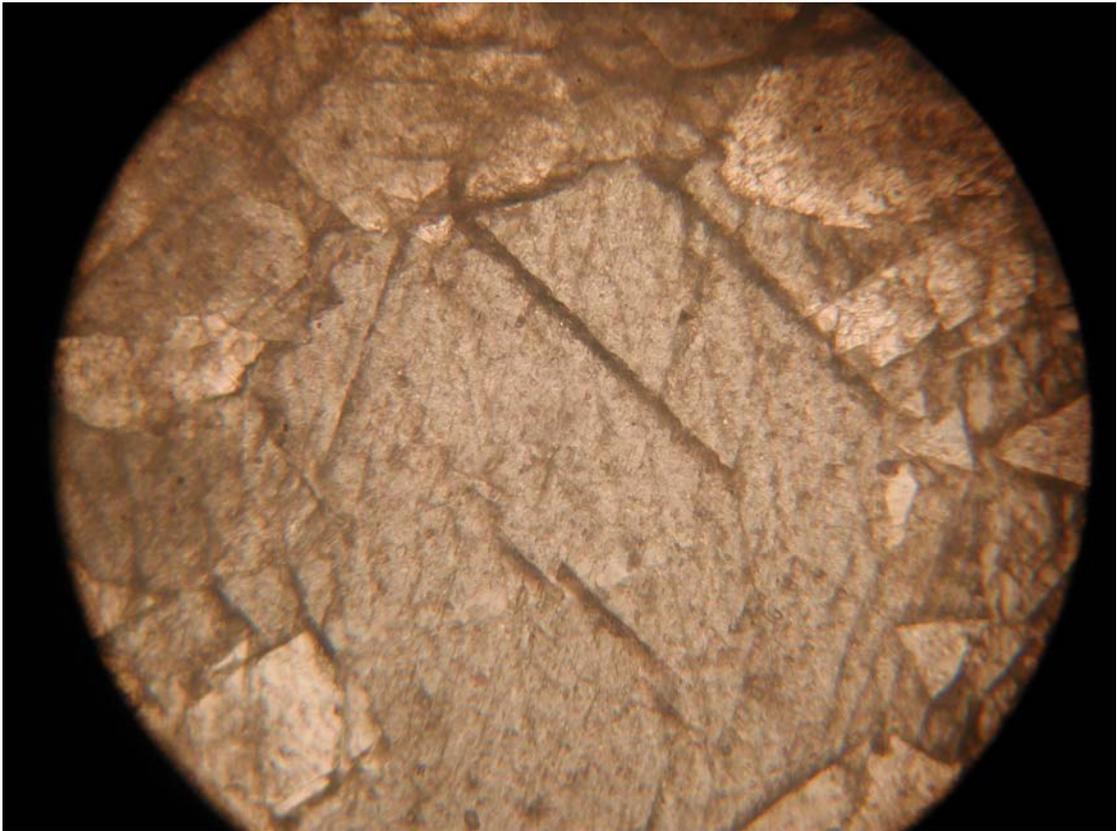


Suevite 的顯微薄片，石英顆粒六角結晶內，呈現兩組相隔極短的 PDF，及成梯狀的板狀破裂 PF 構造（Planar Fracture），此為隕石撞擊的重要證據之一。

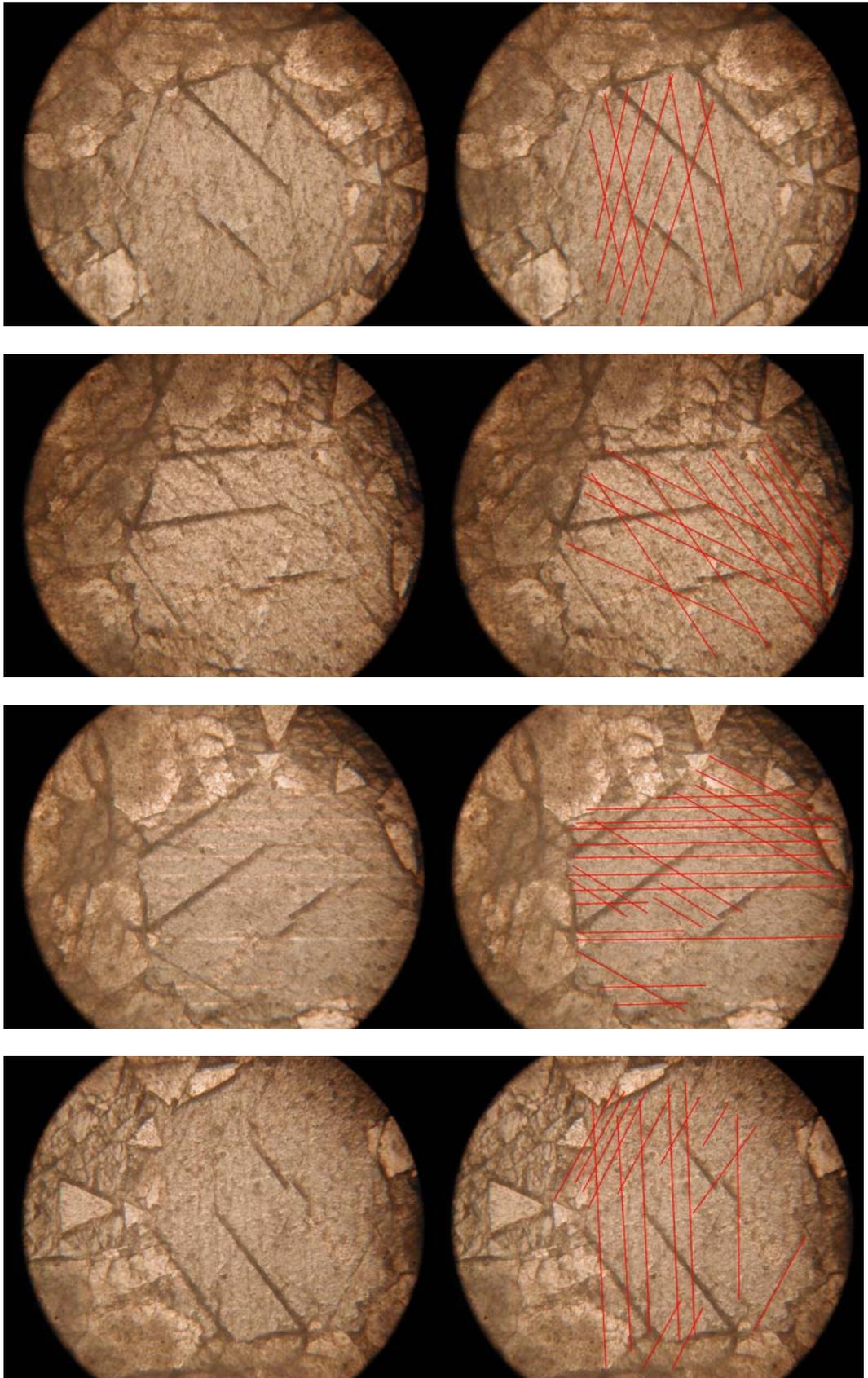
PF 構造



PDF 構造放大圖



於偏光顯微鏡下旋轉標本（左半部原始照片，右半部紅線為 PDF）

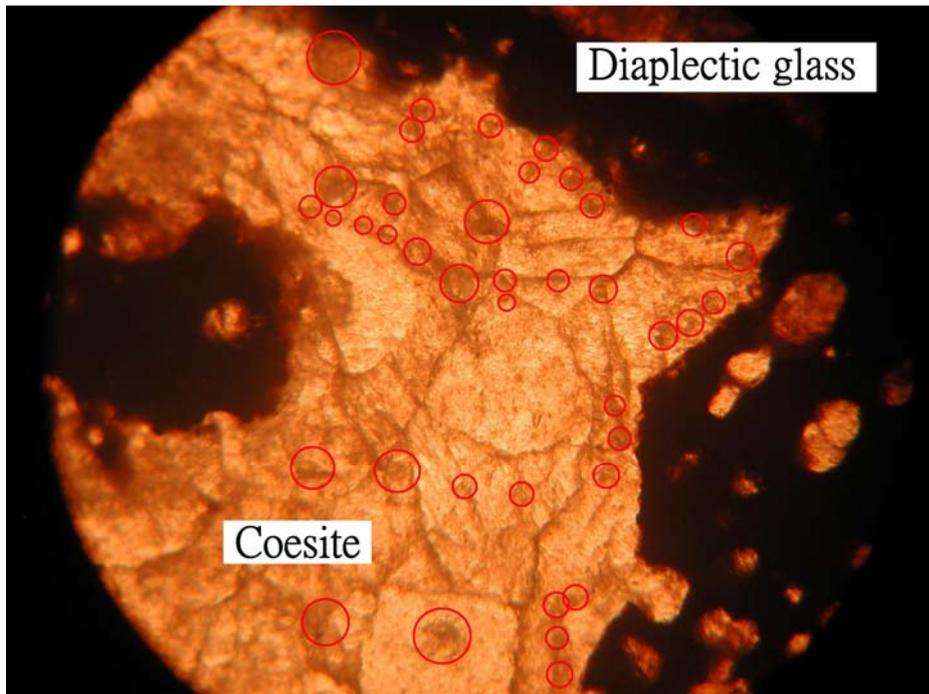
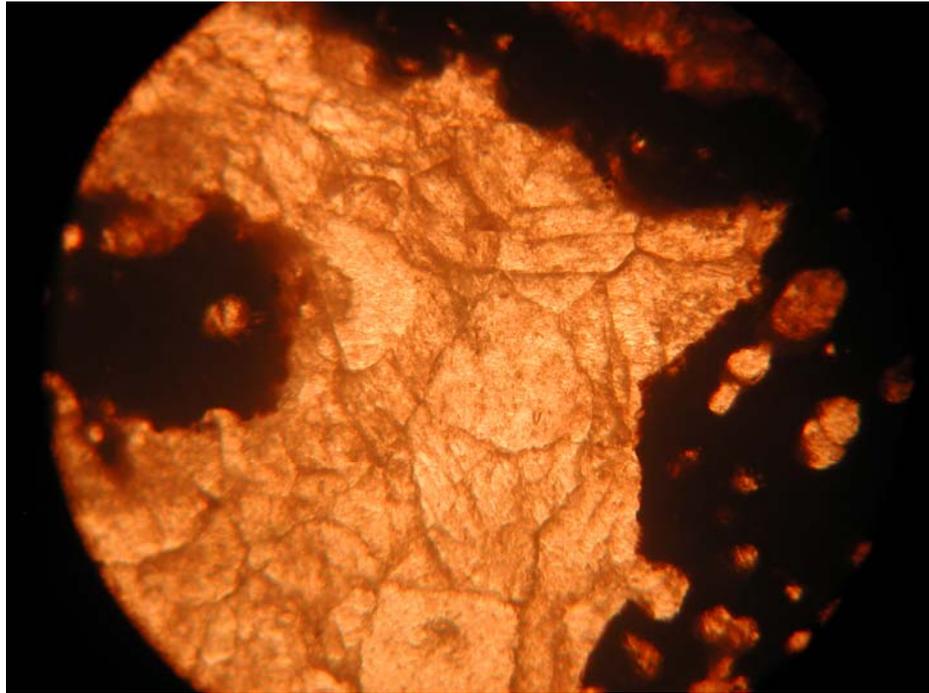


另一 Suevite 切片標本，石英顆粒外形完整，但邊緣發生部份融化，且有三角形小晶體突起，晶體表面也有似為單斜晶系的柯石英 (Coesite) 次形結晶 (Subhedral)，唯晶體太小，須以 X-光檢驗其晶軸及晶角才能確定。

Coesite (下圖紅色圈圈處)



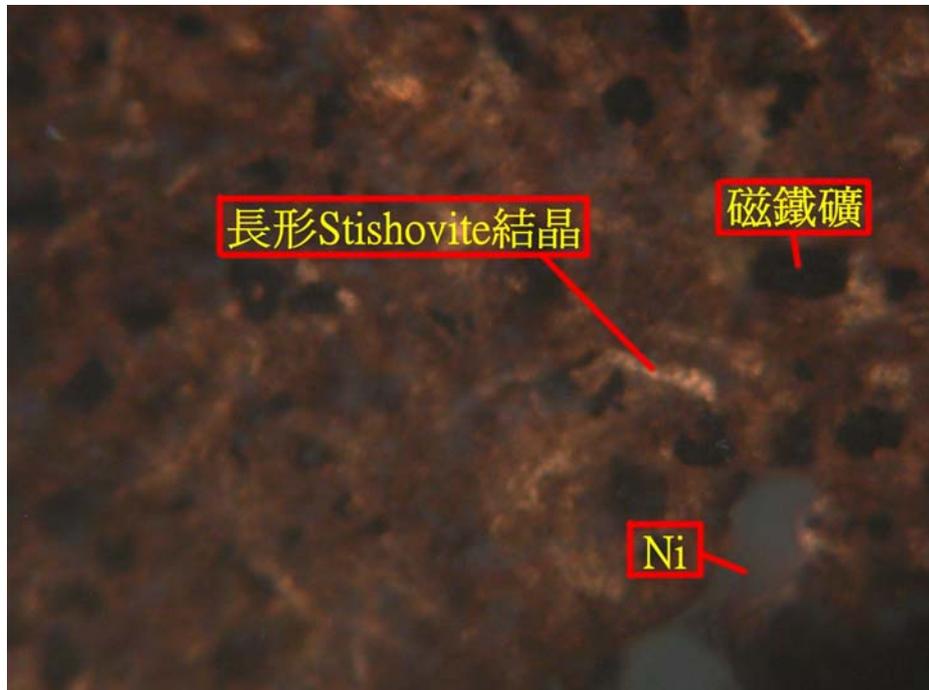
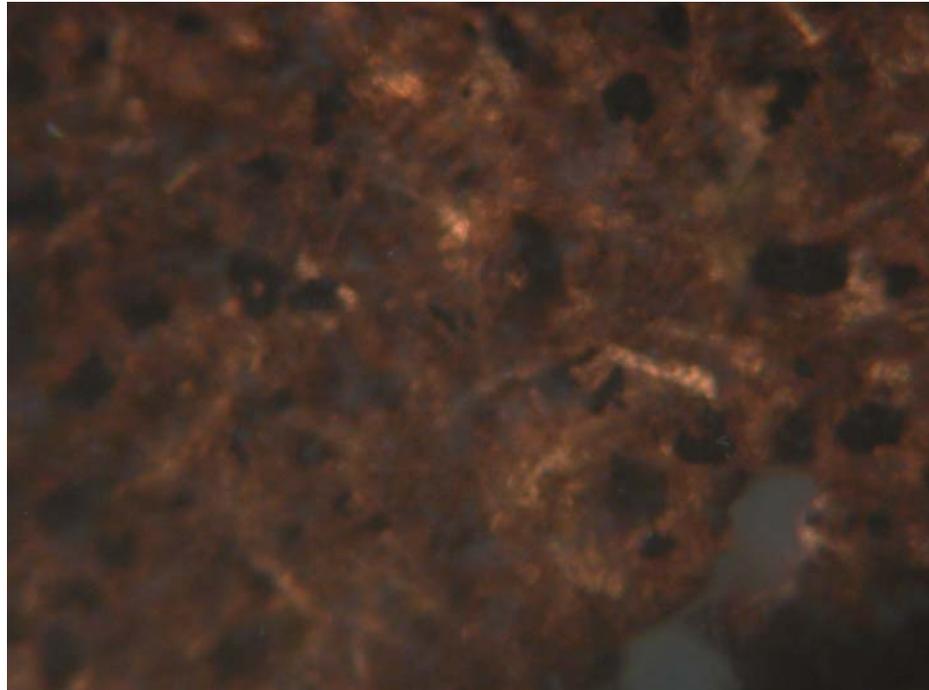
標本片中不透明部份為玻璃質，邊緣部份常與透明之石英相嵌，故此部分可能為受壓玻化之石英顆粒 (Diaplectic glass)，且未發生流動現象。



PDF、Diaplectic glass、高壓高溫石英(如 Coesite、高密石英 Stishovite)
三者為地岩受隕石撞擊的重要證據。

四、撞擊岩 (Impactite)：Suevite 下方的地岩為青灰色的南庄層下層砂岩，含少量的 Fe，受撞擊後，可能與隕石俱熔而相混，並有長形晶體形成，依其外型，極可能為高密石英，有待以 X-光檢驗證實。標本片中黑色不透明者為磁鐵礦，灰藍色者可能為熔化的 Ni。

撞擊岩標本



陸、討論

一、根據參考資料一 P33 表 4.2 所列，衝擊波壓力、溫度對岩石與礦物的影響如下：

壓力(GPa)	溫度(°C)	影響
2~6	<100	岩石破裂；角礫形成破碎錐 (Shatter Cone)
5~7	100	石英破裂 (0001) 及 { 10 $\bar{1}$ 1 }
8~10	100	基線巴西雙晶 (0001)，石英出現 PDF { 10 $\bar{1}$ 3 }
12~15	150	石英變為高密石英
20	170	石英出現 PDF { 10 $\bar{1}$ 2 }
>30	275	石英變為柯石英
35	300	石英變為受壓玻化石英 (Diaplectic Quartz)
45	900	石英融化成玻璃質
60	>1500	岩石熔融
80~100	>2500	岩石汽化

二、根據參考資料二 P294~295 顯示：衝擊波溶化的玻璃質，在撞擊點附近會被反彈波所產生的高溫（約 10000°C）變為黃白色的玻璃塊。

三、依參考資料五所示，隕石撞擊時，因衝擊波產生的高溫將隕石本身，極撞擊點的地岩汽化熔融及撞碎成灰，並因壓縮後的反彈波，將此團物質向上向外射出，形成蕈狀雲及岩漿、碎屑混合的濺射物。雲內高溫產生的電漿形成強力磁場，快速冷卻地岩及隕石內的鐵質因而感應產生磁，其磁性較火山熔岩緩慢冷卻，而被地磁感應的磁性強大許多。

四、依據上述參考資料，及野外觀察、岩石切片等證據，推測隕石撞擊關西湖肚山頂的過程如下：

(一)鐵隕石以 15km/sec 速度撞擊至山頂南庄層下層緻密砂岩時，衝擊波把部分隕石及地岩汽化、熔融、震碎。受壓的物質反彈時，受壓的物質反彈時，產生的高溫高壓將混雜物向上向外彈出。

(二)受力最大者成蕈狀雲向上膨脹，因高溫而將附近地區的樹木炭化，雲中之物質冷卻後留在炭化木的表面及破裂面內，有些具 PDF。若能由炭中測定其年代，當可知其隕石撞擊之時間。

(三)部分隕石及地岩衝擊波而熔化相混，並被反彈波彈射至坑外，落於四寮溪河谷。因衝擊力過大，其錐紋構造完全消失。

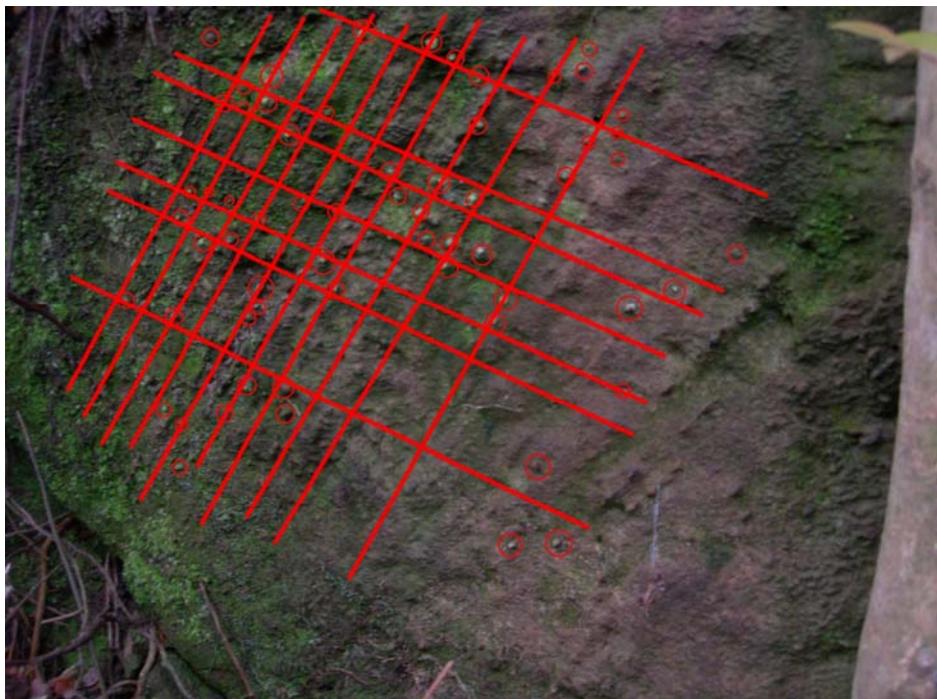
(四)撞擊點周圍的地岩，其受力與距離平方成反比，受力由大至小，依次為汽化、融化，壓玻化，高壓高溫衝擊變質之 Coesite Stishovite 形成 PDF、PF 碎裂，因能量太高，時間太短（僅數秒）故形成的 Suevite 中混有不同程度的變質作用，此為隕石撞擊的一大特徵。

(五)衝擊波向下向外傳播至約 300m 外的衝擊波區，能量衰減，只能使岩石中的粒子發生波動而產生平行波痕，隨後反彈波到達時，產生另一組波痕，兩者以小角度交叉。在波峰處因粒子向上運動，導致粒

子間的空隙增大，雨水較易滲入，又因毛細作用向上滲出，溶解於水中的 SiO_2 、 FeO 等物在波峰處形成粉刺狀的次生構造。由撞擊點飛濺過來的岩漿覆蓋於間改變的砂岩上，兩者交界明顯。



紅圈為粉刺狀結晶，紅線為波峰



(六)Suevite之形成：融化之岩漿（含 Fe 及 SiO_2 熔岩）因向上噴出的碎屑落回混入，造成上層較細，中層稍粗的Suevite。下層最粗的角礫則由原地地岩破裂，岩漿流入而形成。

(七)撞擊岩 Compactite：地岩受高壓撞擊，部分融化為玻璃質形成 Diaplectic glass，未熔者則受壓而成 PDF、PF、及 Coesite、Stishovite 等，在撞擊點處，反彈波的作用使已成玻璃化的熔岩因高溫(約 10000 °C)而成為黃白色的玻璃岩脈。

邵博士梅圃的岩石切面



河床上的黃色 Suevite



停車場豎立的岩柱



柒、結論

由 Suevite 中的 PDF、PF、Diaplectic Glass、Melt Rock（及尚待證實之 Coesite、Stishovite）即可明確的證明四寮石之成因為隕石撞擊，但因撞擊點在山頂得陡峭面，颱風一來又沿坡下滑至四寮溪河床，故山頂撞擊點處已無 Suevite，只殘留邊緣受力較小的破裂岩層及數塊為山頂下方樹根卡住的撞擊岩塊。

四寮溪流出湖肚盆地後，即不見四寮石蹤影，可見 Suevite 極易被侵蝕而散，故在此呼籲有關單位及學術單位，儘早將散落在河床上的四寮石收集保管，以免幾年後消失殆盡。

捌、未來展望

撞擊點的找尋，絕對是目前當務之急。四寮石大致雖集中在四寮溪段，不過田野採集的過程中，關西石岡、竹東大山背所採集疑似撞擊岩，切片樣本中也呈現 PDF melt、Diaplectic glass，及疑似 Shock-metamorphism 之 Coesite stishovite。老師退休在即，退休後將繼續主持這個研究，專心積極找到撞擊點，我也將繼續參與此一研究。這有助於推斷撞擊的年代、角度、力量，以及所釋放的能量和隕石坑的大小，這是整個研究最重要關鍵處。

因為，台灣雖僅是蕞爾小島，但高山、盆地、平原、丘陵、火山、惡地等多樣的地貌，驚豔世界。隕石坑的的確定，勢必更將台灣帶上地球科學的國際舞台。而且，隨之而來，可能的新元素發現與研究，極可能為人類科學文明帶來不可估量的影響，這絕對是此一研究最大的期待。文獻上，關西素有「長壽之鄉」，是否因於此一磁場能量，也是頗令人玩味，值得深入探討研究。

此外，關西開發極早，擁有豐富人文及自然資源，近年已有許休閒觀光景點，是國內休閒觀光大鎮。政府更分六年，斥資近二十億籌設關西生物教育園區，作為台灣生物展示及教育的園地。而自九十二年，社區居民體認四寮溪的豐富生態及歷史價值，開始封溪保育，整頓四周環境，營造四寮生態園區，唯對散布河床的撞擊岩尚不了解，未加重視。因此，要建請政府，整合所有資源，仿倣墾丁「貝殼沙博物館」經營模式，成立「殞石坑博物館」，進一步將關西營造成「國際地質生態教育園區」。

疑似 Shock-metamorphism 之 Coesite stishovite



玖、參考資料

- 一、Bevan M.French, “Traces of Catastrophe” .
- 二、O . Richard Norton, “The Cambridge Encyclopedia of Meteorites” .
- 三、Jeffrey C.Wynn and M.Shoemaker, “The Day the Sands Caught Fire” ,
Scientific American (p37~p43), November 1998.
- 四、Philippe CLAEYS & colleagues, “The suevite of drill hole Yucatan 6 in
the Chixulub impact crater” , Meteoritics & Planetary Science
(p1299~p1317), Volume 38 Number 9 2003 September.
- 五、Graham P.Collins, “Chaoas in the Crater” ,
Scientific American (p13), May 2006.
- 六、Ur Map
<http://www.urmap.com> (關鍵字「關西」)

【評 語】 040501 石破地驚-隕石撞關西

1. 以野外地質的觀察配合室內的分析合乎科學方法；做出的大膽推論，仍需進一步的鑑定，特別是 coesite 與 stishovite 的晶體需要做仔細分析。
2. 部份資料需附比例尺。
3. 長壽村與本研究的關係推論仍待商確。
4. 野外工作十分努力，值得嘉許。