

1. 由滿月看月球簡史

用肉眼觀察滿月，最容易留意的是深色的月海和淺色的高地。這些地貌是如何形成的？



圖 1：深色的月海和淺色的高地

約在 45 億年前（地球約在 50 億年前形成），一個和火星差不多大的星球和地球相撞，撞擊把大量物質由地球拋到太空，這些東西便慢慢因萬有引力而形成一個球體，繞地球旋轉。

這時，月球是一團熔岩，密度較高的熔岩沉下，密度較低、含鈣量較多的淺色熔岩浮起。由於浮起的熔岩容易冷卻，所以一些淺色高地首先凝固形成。漸漸地，其他部份的月球表面相繼凝固，整個地表便形成了

隨後一些巨型的隕石撞擊產生大型的隕石坑（直徑大過 200-300km 左右），它們的形狀一點兒也不似我們一般人所期望的。它們的深度極淺，面積非常巨大。最特別的是撞擊會在周圍隆起數個呈環

形的山脈系統，圍繞撞擊中心。由於這種地形一點兒也不似隕石坑，不少科學家稱它們為隕擊盆地 (Impact Basin)。

要觀察最典型的隕擊盆地結構便要到月球的背面，那裡有一個龐大的東方隕擊盆地 (Orientale Basin)，是月球是最年輕的隕擊盆地，清楚展示它的多環結構。

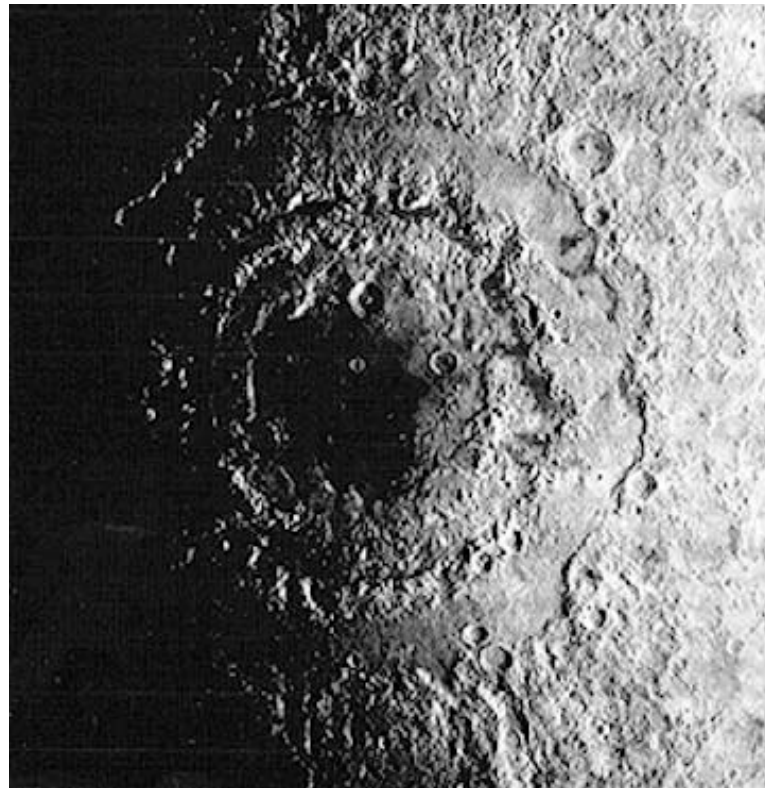


圖 2：東方隕擊盆地 (圖片來源：NASA)

隕擊盆地形成後，一些放射性物質的衰變產生大量熱能，使月球內部距表面數萬公里的岩石重新熔化，並沿隕擊盆地底部的裂紋向上湧流出表面，漸漸注滿了整個隕石坑，淹沒了多環結構，形成平坦的月海。由於月球內部向上湧出的熔岩是火成岩，鐵和鎂的成份較多，於是較深色，使月海的顏色較深。

2. 第谷坑的壯觀輻射紋

滿月時，可清楚看到月球南部有一個隕石坑，而且有大量白色條紋由這裡發散出來。這個稱為第谷(Tycho) 的坑，是月球最年輕的大型隕擊，在恐龍雄霸地球時形成。那些白色條紋稱為「輻射紋」，由隕石撞擊時彈出的次隕石產生。由於撞擊時部份彈出物為粉狀，而粉狀的碎石容易反射陽光，如同玻璃粉呈白色的原理一樣，因此輻射紋較周圍淺色。

第谷坑是其中一個最年輕的隕石坑，現時它的溫度仍較周圍高。科學家發現，第谷隕擊距今「只是」約一億年，由於它較年輕，使它的輻射紋較明顯。輻射紋通常隨時間變暗淡，例如被其它隕擊產生的新輻射紋覆蓋在上面，所以明顯的輻射紋顯示第谷坑很年輕。

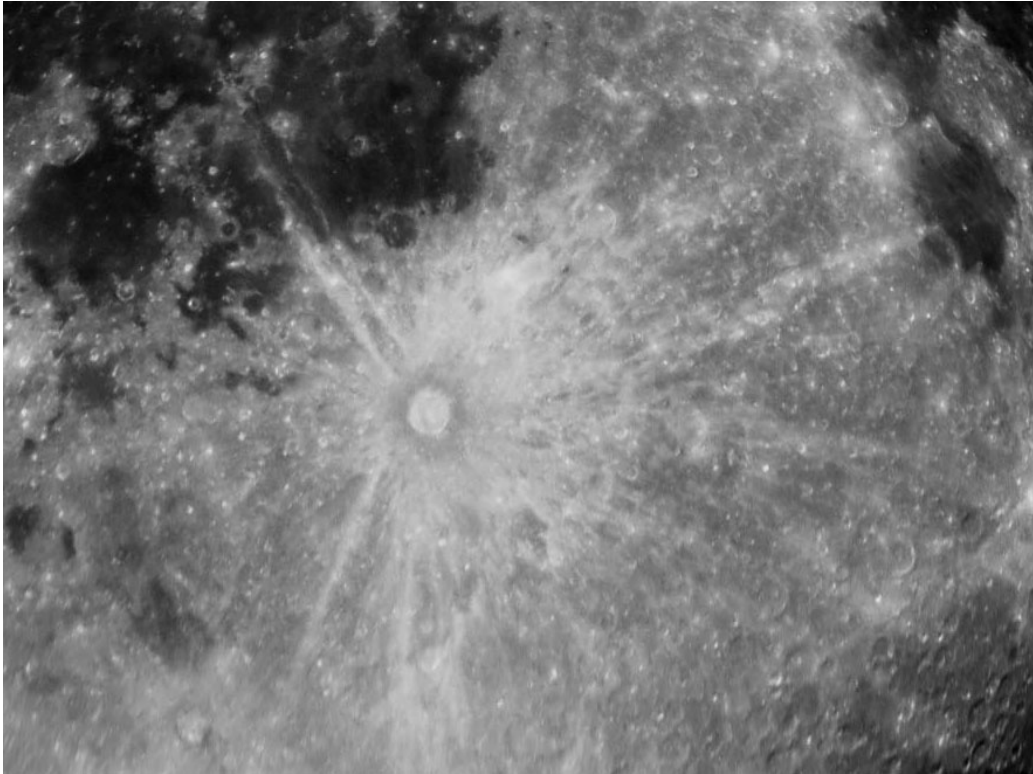


圖 3：第谷坑和它的輻射紋

進一步觀察圖 1，你會發現輻射紋能到達很遠的地方，這是因為月球的地心吸力較小，而且沒有空氣阻力，於是彈出物能到達很遠的地方。

此外，你能否看到第谷中央的周圍有一個暗環？這個暗環是如何形成的？科學家發現這地區有大量類似小水洼般的地形，科學家推測隕石撞擊時，高溫融化了不少物質，如雨水般濺到空中，然後如雨水般落下，形成小水洼，最後凝固成現在的樣貌。

一般來說，暗環形成後會有其他過程慢慢地把它的顏色轉淡，例如被其他隕石撞擊出的彈出物鋪在上面。但是由於第谷非常年輕，未有足夠時間使暗環的顏色轉淡。

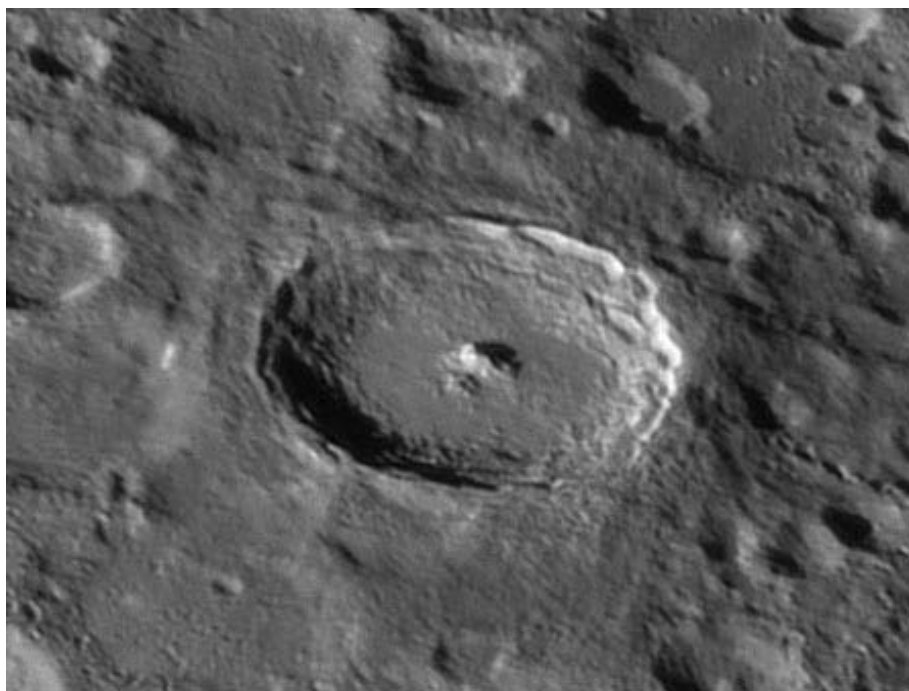


圖 4：第谷坑周圍的凹陷區域便是滿月時看到的暗環區域

3. 危難海和 Proclus 隕石坑

月球最東部有一個很完整、四面完全環山的月海，這便是圓形的危難海。

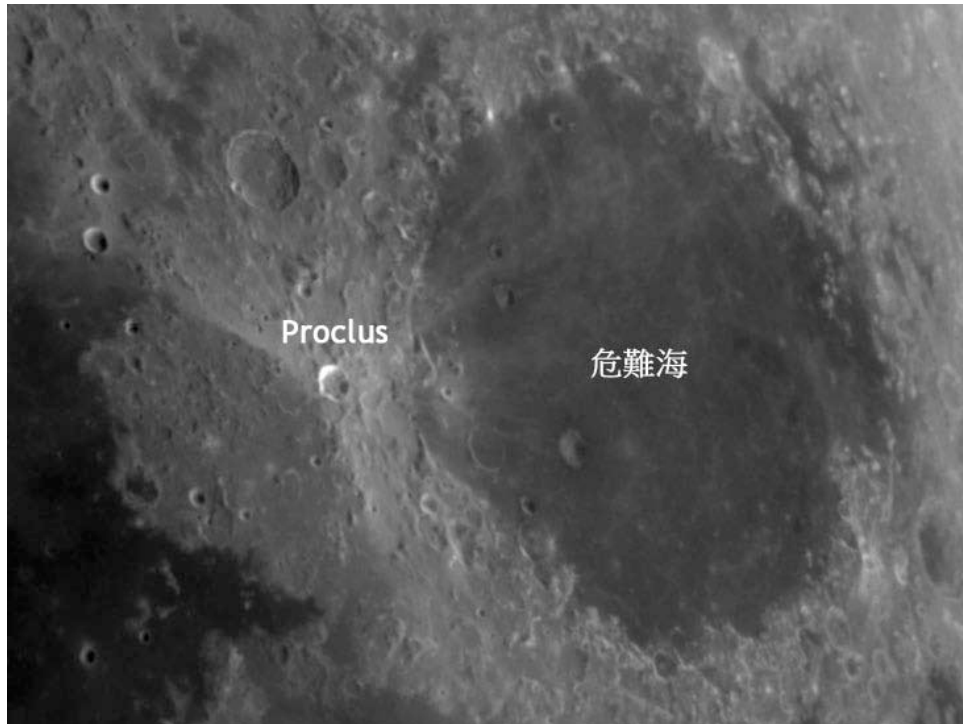


圖 5：危難海和 Proclus 隕石坑

但是，其實危難海是否真的是圓形？由於它位於月球的邊緣，由我們的角度觀看很難看到它的真正形狀。讓我們再試用電腦軟件模擬我們乘坐太空船，飛到危難海上空向下望的景像。其實它是一個橢圓形。

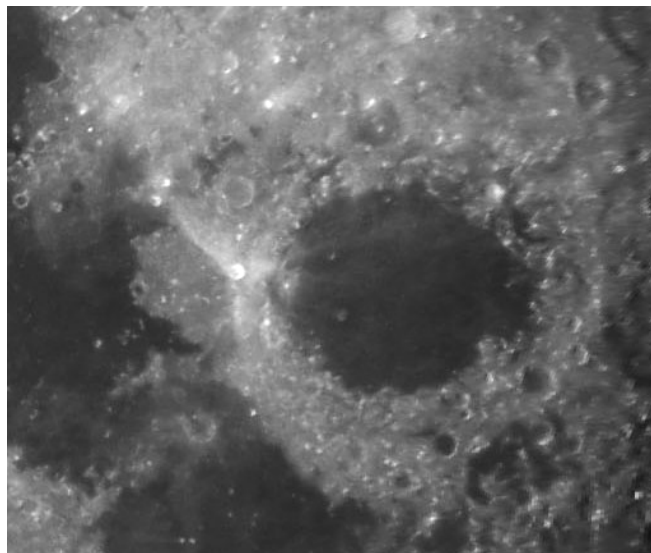
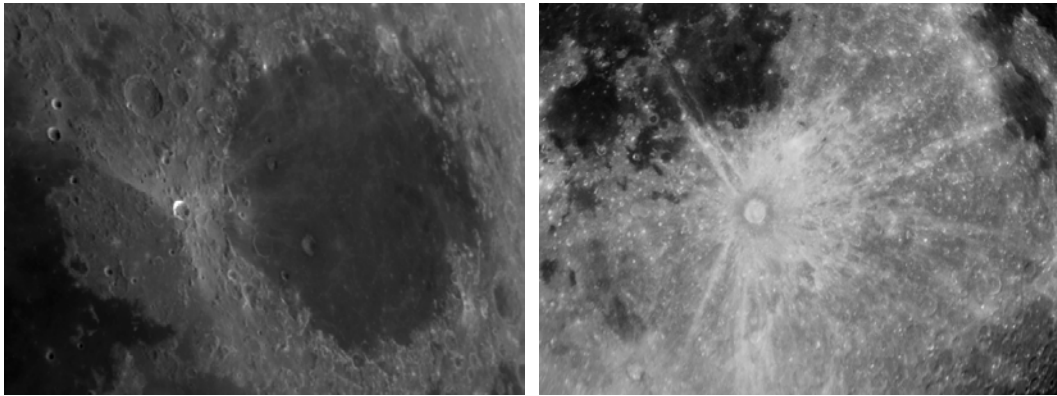


圖 6：橢圓形的危難海

危難海的西部有一個明顯的隕石坑，稱為 **Proclus**，有月球表面其中一些最明顯的輻射紋。仔細觀察這些輻射紋，和第谷一樣並非均勻地向四方八面發散，我們稱這種輻射紋為「非對稱輻射紋」(Asymmetric crater rays)。

這種輻射紋是如何形成的？科學家發現輻射紋的形狀和隕石撞擊月面時的人射角度有關。實驗顯示，如果入射角度大過 45 度，輻射紋是對稱的，均勻地向四方八面發散。如果入射角度越低，隕石坑越成長形，次隕石便會傾向往前方進發，跌落月面時撞出一連串的小坑，碎石形成輻射紋。如果入射角度低於 15 度，彈出物會更加集中於下游地區，而且上游的區域會變得幾乎沒有輻射紋。Proclus 便是由低角度的撞擊所形成，稱為斜撞擊 (Oblique impact)。

如果同一時間觀察 Proclus 和第谷的輻射紋，會否覺得它們好像孖生兄弟般相似？第谷其實是 Proclus 的放大版本，都是由斜衝擊形成。



危難海和 Proclus

第谷坑

圖 7: 比較 Proclus 第谷坑的輻射紋

研究發現，斜撞擊是最容易產生離開月球的彈出物，可能形成 Proclus 和第谷時產生的彈出物，之後部份落到地球。

如果斜衝擊的人射角度更低，則會形成更特別的地貌，例如 Messier 和 Messier A 隕石坑。

4. 奇怪的 Messier 和 Messier A 隕石坑

另一個有趣的斜撞擊位於危難海的南部的豐饒海 (Mare Fecunditatis)，在它的西部可以找到月球表面其中一對最奇怪的隕石坑。Messier 是位於東面的坑，呈橢圓形；西面的坑是 Messier A，向西面伸展出一對非常容易看到的平行的輻射紋。

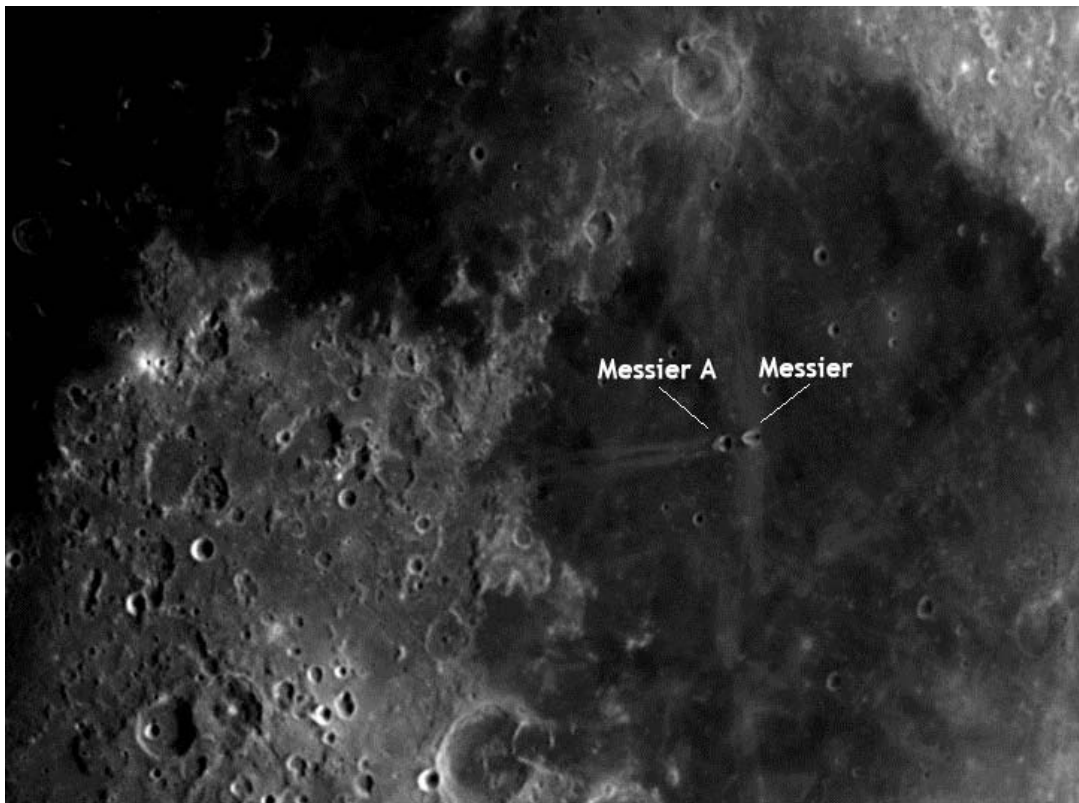


圖 8: Messier 和 Messier A 隕石坑

研究顯示以下的形成過程：一個隕石由極低角度 (1 度至 5 度) 撞擊月面，形成東面長形的 Messier，然後彈起，再落下形成 Messier A，如同在海面玩「片石」一樣。彈出物則繼續向前飛，形成向西伸展的長輻射紋。

參考資料

Wood, Charles A. (2003), 'The Modern Moon: A Personal View', Sky Publishing Corporation.

Rukl, Antonin (2004), 'Atlas of the Moon', Sky Publishing Corporation.

Lunar Picture of the Day: <http://the-moon.wikispaces.com/LPOD>