《少年Pi的奇幻漂流》中的魔幻海洋，

就是藍眼淚！

馬祖藍眼淚

李振元

藍眼淚

是甚麼?

- 馬祖海上同時存在夜光藻（主要）、發光介形蟲（主要）和發光水母（次要）。
- 星沙：海裡的介形蟲非常的小，有報導指出介形蟲是吃了夜光藻才會發亮，那是錯誤的。不是每一種介形蟲都會發光，但是有部分種類會發光，我們稱之為發光介形蟲，馬祖的星沙就是會發光的介形蟲。

夢幻城堡-游奕坤

馬祖地區「藍眼淚」簡介

一、現況

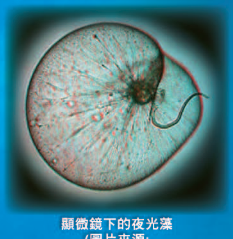
每年4-8月時馬祖島嶼海域，海面上會產生冷光面板一樣的藍光，目前研判應為藻類所造成此現象產生。此現象在中國大陸渤海（主要是渤海灣、黃河口和大連灣等地）、長江口（主要包括浙江舟山外海域和象山港等地）、福建沿海、珠江口海域（大亞灣、大鵬灣及香港部分海區等地）、日本與澳洲等地，都有該現象發生。

夜光藻的生物發光現象又被稱為「藍眼淚」，在世界各地皆有類似現象，在台灣的墾丁、花東海岸和外島即時有所見，2012年4月在台灣馬祖地區即出現大量「藍眼淚」現象。

二、 夜光藻介紹

1.分類

域：真核域 Eukaryota
界：囊胞藻界Chromalveolata
門：渦鞭毛藻門Dinoflagellata
綱：夜光藻綱Noctiluciphyceae
目：夜光藻目Noctilucales
科：夜光藻科Noctilucaceae
屬：夜光藻屬Noctiluca
種：夜光藻Noctiluca scintillans


顯微鏡下的夜光藻
(圖片來源:
http://www.twwiki.com/wiki/夜光蟲)

2.基本特徵

學名：Noctiluca scintillans，屬於大型的甲藻門單細胞生物(Dinoflagellates)呈球形，俗稱海耀，也稱夜光蟲，直徑150-2000μm，外皮殼之透明膠質有兩層，皮殼上有許多小孔，腹面前後有一凹下縱溝，口前一突起，一小鞭毛，鞭毛前有一大觸手緩慢移動。會有生物性發光，會調節浮力，在水表面會捕食其他浮游生物，攫取細菌及較小細胞。

是一種在海中生存的非寄生甲藻，能作生物發光(Bioluminent)。這種藻類之所以能發光，是因為其體內數以千計的球狀胞器中，具有螢光素-螢光素酶，這些胞器就像微型的電源供應器，讓夜光藻在感受到周遭環境的變化時發出螢光。

夜光藻為異養有機體，它能夠吞噬，會以浮游生物、矽藻、甲藻、細菌，甚至魚卵為食。

3.生長條件

(1)鹽度

夜光藻的最適鹽度應在千分之29至33之間，但鹽度的變化一般與夜光藻的種群變動沒有明顯的相對關係，不過暴雨或梅雨季節造成的表層水體鹽度急降，顯然對主要分佈於表層的夜光藻種群具有巨大的破壞力。

(2)溫度

夜光藻的生存水溫最高可達28.6℃左右，但其最適水溫為22℃，而適溫範圍可擴至l6-25℃。所以，每年夏季高溫季節，香港深圳大鵬灣的夜光藻因無法忍受高溫(30℃)而自然死亡，秋後再由外洋海流將其營養細胞帶回。

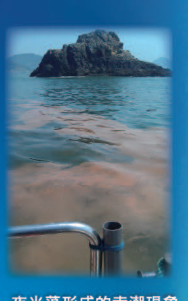
4.分佈地點

廣泛分佈在熱帶及亞熱帶內灣及沿海地區，世界各地常在沿海岸、河口和大陸棚淺水區，因為這些地區通常有豐富的浮游生物，讓夜光藻有充足的食物來源。

三、對環境影響

1. 造成無毒赤潮

夜光藻本身不含毒素，不會引起人類腸胃消化系統或神經系統的中毒現象。但當數量過多形成赤潮時，其吞食浮游生物之後，體內會留下大量的氨，這些氨會被藻類排泄出來至附近水域，大量的夜光藻粘附於魚鰓上，阻礙了魚類呼吸並導致魚類及無脊椎動物等窒息死亡，據統計，它們造成魚類死亡危害的比例為1/10以下，多為5%左右(呂頌輝)。有些特殊甲藻類則能將之轉化為神經毒素（例如亞歷山大藻），造成該水域中的生物死亡。甲藻類所形成的不只是赤潮，形成的顏色取決於的藻類液胞，例如一旦綠藻類大量聚集，即會形成「綠潮」。


夜光藻形成的赤潮現象
(吳洪官攝影)

2. 夜光藻死亡分解

夜光藻死亡分解過程中所產生的屍堿和硫化氫，使海水變質，危害水體生態環境。此外，牠還能滲透出高濃度的氨和磷。因此需警惕在箱網養殖區發生夜光藻赤潮的現象(呂頌輝)。

3. 持續時間

夜光藻赤潮有的持續時間不長，一兩天就消失，有的則可持續長達20多天甚至幾個月。中國長江口就有面積約6,000平方公里，且時間長達約1個月之久的夜光藻赤潮，但大多數的夜光藻赤潮不會帶來什麼大問題(呂頌輝)。

參考文獻
1.呂頌輝、齊雨藻，中國赤潮研究與防治，中國的赤潮、危害、成因和防治。
http://www.eastsea.gov.cn/Mod-ule/Show.aspx?id=2263
2.Noctiluca scintillans ,(Macartney) Kofoid et Swezy, 1921.
http://botany.si.edu/referen…/di-noflag/Taxa/Nscintillans.htm
3.A image of the "Sea Sparkle" from 'Britannica Online Encyclopedia'.
4.Saito, Haruna, Ken Furuya & Thaithaworn Lirdwitayarpasit, 2006. Photoautotrophic growth of Noctiluca scintillans with the endosymbiont Pedinomonas noctilucae. Plankton & Benthos Research 1: 97 - 101
5.Lights in Irish Sea are natural. Irish Times. 18 October 2009.

會發光的海中浮游生物

(夜光藻與介形蟲)

在熱帶及溫帶海域溫暖季節的夜晚，海面波浪翻滾的時候常會看見微弱的光線在水面閃耀，大陸漁民慣稱它為“海火”；而在馬祖地區，清明過後天氣開始回暖，一直到立夏前後，是漁民捕撈丁香魚的季節，對於這種海面發光的自然現象，漁民慣稱他為「丁香水」，也有人稱之為「馬尿水」、「東洋水」。

發光的海洋生物種類很多，最大量的發光現象通常是甲藻類形成藻華，世界知名的奇景如波多黎各的燐光灣及日本的不知火灣，便是甲藻形成藻華而產生，大多數的發光景緻在固定的季節及相類似的生態條件下出現，很容易吸引人類的注意。這些發光現象的背後實際上充滿自然的奧秘，生物經歷幾十億年演化而形成的特殊表現。

一、常見的發光生物

海洋裡的發光生物體形大小差異極大，民眾對大型的生物相對比較熟悉，因為肉眼觀察即可發現其發光行為，常見的如屬於軟體動物的魷魚和烏賊，棲居深海的燈籠魚及燈眼魚等。小型的發光生物通常會是只見其光而不知其光源，海洋裡的小型浮游生物發光現象並不稀奇，當大量聚集而且一起發光的時候則成為特殊的自然景觀。

發光浮游生物種類分佈在許多生物類群中，發光的細菌(螢光菌)，發光的藻類如甲藻(旋溝藻、夜光藻等)，發光的水母類(多管水母、遊水母等)，發光的櫛水母類(側腕水母、瓣水母、瓜水母等)，發光的環節動物(燐沙蠶等)，發光的甲殼動物(橈足類、介形類：如海螢、火螢、浮螢等)，發光的脊索動物(被囊類的火體蟲)。

著名的集體發光現象如日本富川縣的螢火魷，這種魷魚在求偶季節齊聚海岸形成的奇景，每年吸引許多的觀光客。馬祖海域呈現的螢光景緻並非魷魚聚集而是一種稱為夜光藻的甲藻，以及被稱為星砂的一種介形類(Ostracoda)小型甲殼動物。

甲藻是有鞭毛的單細胞動物(原生動物甲藻門)，通常具有長短鞭毛各一根，也有「雙鞭毛藻」的稱謂，鞭毛擺動造成的運動使細胞不斷迴旋，又稱其為「渦鞭毛藻」。許多甲藻類具有植物特徵，細胞內有葉綠素a、c可行光合作用。也具有動物特徵，分類上歸類為原生動物，藻類個體有眼點，部分種類不具細胞壁，具有鞭毛可以游動，也可行異養生活。最常見的夜光藻(Noctiluca)就是相當典型的動物細胞，不行光合作用，裸出的細胞柔軟沒有細胞壁。

介形蟲在學術分類上屬於甲殼動物門介形亞綱(Ostracoda)，當介形蟲的附肢收縮在殼瓣內的時候，外部形態近似軟體動物門中的雙殼貝，兩片殼瓣從背脊往腹面包覆大部分的軀體，殼瓣張開程度依靠附著在殼瓣內側的閉殼肌控制，步足等附肢從腹面伸出體外。因其外部形態近似於雙殼貝及某些植物的種子，亦稱之為貝蚤或貝蟲，西方或稱其種子蝦(Seed shrimp)。現已知的介形蟲約6,700種，狀肢目(Myodocopa)及尾肢目(Podocopa)是主要的兩大分類群。大部份的介形蟲體長僅數釐米大小，觀察其形態需要放大鏡或是顯微鏡的輔助，一般民眾並不太會去注意到這類生物的存在，實際上其多樣性相當高，某些種類的族群密度很高是海洋食物網的基礎之一。

二、發光的秘密

不論哪一類群的生物發光大致都有相似的結構，首先必須要有發(螢)光物質，上述的物質加上能量和催化反應的脢之後，產生的化學變化會釋放微弱的螢光，微弱的螢光能量很低也稱為冷光，就如同將一把的螢火蟲放在小玻璃罐裡發光。

生物學界對發光細胞和發光器官的構造已經有許多詳細的研究，例如旋溝藻的細胞質內發現微小發光顆粒，稱為閃爍體，當細胞受到刺激後閃爍體就會發光，這是屬於“細胞內發光型”，同屬於甲藻類的夜光藻也是細胞內發光型，發光的夜光藻細胞像一個移動的小燈泡，成千上萬的小燈泡就能照亮海面。

發光細胞聚集在一起就成了發光器，例如燐蝦類的發光器散布在眼柄、胸肢和腹節，燐蝦的發光器幾乎像是附著在身上的手電筒。許多魚類及前面提過的螢光烏賊雖然具有發光器，但是發光器內的螢光卻是由共生的螢光細菌所產生，發光器通常有另一個機制調控光線的釋放，例如把光線遮蔽的構造。

部份甲殼類動物在體內具有發光腺，發光腺會分泌發光物質及發光反應所需的脢，分泌物統稱為“發光粘液”，發光物質釋入活動的週邊環境，發出的光線散漫分佈，這是屬於“細胞外發光型”。東方異腕蝦(Heterocarpus sibogae)和林氏異腕蝦(Heterocarpus hayashi)受到掠食者攻擊的時候就會釋出螢光物質在水裡製造藍色迷霧，這是一種逃生的策略，同屬甲殼動物橈足類(Copepoda)和介形類的發光也屬於這個型態。海生的介形蟲稱為海螢(Sea firefly)，藍光來自雄性海螢自體內排出的螢光素(Luciferin)，螢光素、螢光素脢和水裡的氧氣產生氧化作用釋出藍色螢光，螢光素及螢光素脢可能在殼瓣內也可能直接排入海水，隨著介形蟲不斷的快速移動，藍光點在水中連成一條線，正好指引雌性的介形蟲發現雄性所在的位置。

一般海洋生物的發光呈現藍色或綠色，但有些種類的顏色可以在不同環境條件下改變，例如被囊類的火體蟲發出的光源是藍色，但如果增高溫度可改變為紅色，細菌的發光顏色也可以隨著培養基成分的改變而改變。大部分發光生物的發光均很微弱，發光的強度會受溫度和光線強弱的影響，通常光照會抑制生物發光，溫度升高加速化學反應可增加光的強度，但是溫度太高或太低又會抑制脢的反應而降低光度，例如夜光藻在高溫下停止發光。影響發光持續的時間的因素更為複雜，牽涉到螢光物質的多寡及反應機構持續的時間，夜光藻僅持續0.1秒，具有發光器的生物持續發光的時間最長，如太平洋磷蝦可達22秒以上。

具有神經系統的後生動物，發光行為也可以從生理的角度探討，發光過程是因為生物體受到刺激，訊息形態包括機械刺激(波浪衝擊等)、物理性刺激(電流等)和化學性刺激(如在海水中加入淡水、氨水等)。如果刺激發光的因素持續存在，生物光持續的時間相對較長，但經過多次連續刺激後，就會發生疲勞現象而停止發光。

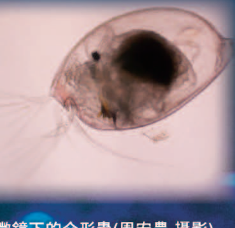
三、發光的生態

發光生物什麼時候發光則與其生態有關，發光生物的種類多樣性以熱帶較高，大量發生的聚集現象則比較常發生在溫帶海域，越往寒帶水域生物發光的環境條件相對較差，可能與水溫太低有密切關聯。大海是一個巨大的三度空間結構，大洋平均深度接近4,000公尺，深海無光區的發光現象不受水面光線的影響，水層裡光量隨著深度遞減，較深的海域發光生物種類愈多，超過1,300米之後又逐漸減少，根據研究顯示發光現象高峰常出現在溫躍層（溫躍層是海水溫度快速下降的深度，溫躍層以下至深海的水溫已經接近於攝氏4度，溫躍層深度隨海區和季節而異）附近，溫躍層的深度又和甲藻類、橈足類和磷蝦類等垂直分佈有重要關聯。

表層海域的生物發光通常具有明顯的週期性，短時間的週期通常與光線強度有關，日間強光抑制生物發光，長時間的週期則與季節或是月亮週期有關。發光甲藻類如旋溝藻僅在夜晚發光，夜光藻發光約在日落後2小時才開始。季節性的發光通常與生物族群或是群體生殖有密切關聯，馬祖地區的夜光藻發光高峰為每年的4-6月之間，這段期間是夜光藻大發生的季節，因為整個冬季累積在海水裡的營養鹽，提供夜光藻最佳的生育環境，水溫上升後族群快速生長形成藻華。

季節性的發光如燐蝦類在秋季發光現象最顯著，這段期間是燐蝦求偶生殖的季節。馬祖的介形蟲雖然全年可見，但仍以春夏季節數量居多，聚集在一起的海螢(Sea firefly)讓海岸出現許多藍色移動的光點，就像陸地上的螢火蟲聚集求偶。介形蟲群聚求偶繁殖的現象稱為群婚(Swarming)，群婚發生的時間通常是光線微弱的朔日(農曆初一)的夜晚，群婚的競技場裡雄性遠多於雌性。

充滿藍色光影的海灘看似奇幻無比，其實這是一場演化的競賽，成功的雄性能夠生育更多後代子孫，更讓人類好奇的是雌性介形蟲怎麼欣賞這些短暫存在的藍色光影?


顯微鏡下的介形蟲(周宏農 攝影)

參考文獻:
1.林怡君 2004. 東方異腕蝦及林氏異腕蝦之生物學及噴光行為研究。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士論文。
2.鄭重、李少菁 1987. 海洋浮游生物發光研究的回顧與展望.自然雜誌.10卷6期。(p429-434)
3.Trevor J. R. and Morinb J. G. 2013. Female ostracods respond to and intercept artificial conspecific male luminescent courtship displays. Female ostracods respond to and intercept. Behavioral Ecology, doi:10.1093/beheco/art022.
4.Kato S.-I., Y. Oba, M. OjiKa and S. Inouye. 2004. Identification of the biosynthetic units of Cypridina luciferin in Cypridina (Vargula) hilgendorfii by LC/ESI-TOF-MS. Tetrahedron 60:11427 - 11434.Science News, 1987. You light up my life, Vargula, Science 131(18):282.

注意事項

- 第一點：夜間視線不佳，欣賞藍眼淚時，請不要單獨行動。
- 第二點：馬祖海岸地形多崎嶇，請盡量不要靠近礫石灘及岩岸，以免發生危險。
- 第三點：手電筒請配合導覽人員之解說使用，盡量以安全行走為主，避免造成攝影者之困擾。
- 第四點：尊重自然，請勿丟擲石頭刺激藍眼淚發光，並維護海岸環境清潔。

藍色夢幻碼頭-郭州宇

美國CNN有線電視新聞網將
「藍眼淚」現象
選為世界15大自然奇景之一

一生必去的台灣自然景點
「馬祖藍眼淚」奪下冠軍
（東森旅遊雲）

林政道

連江縣政府
連江縣攝影學會
交通部觀光局馬祖國家風景區管理處
◎地址／連江縣南竿鄉仁愛村95-1號
◎文　編／周宏晨、楊樹森
◎策　劃／馬祖國家風景區管理處
◎編　輯／王建華、曹祥官、郭州宇
◎美　編／正仲創意廣告有限公司 (02) 8285-0153
◎初版日期／2015年5月

廣告