



大自然的解決之道 因應氣候變遷

保護鯨魚能夠抑制溫室氣體與全球暖化

羅夫·查米、湯瑪斯·科西麥諾、康納爾·富倫坎普、席娜·歐圖森合著

談 到拯救這個星球，一隻鯨魚相當於幾千棵樹。

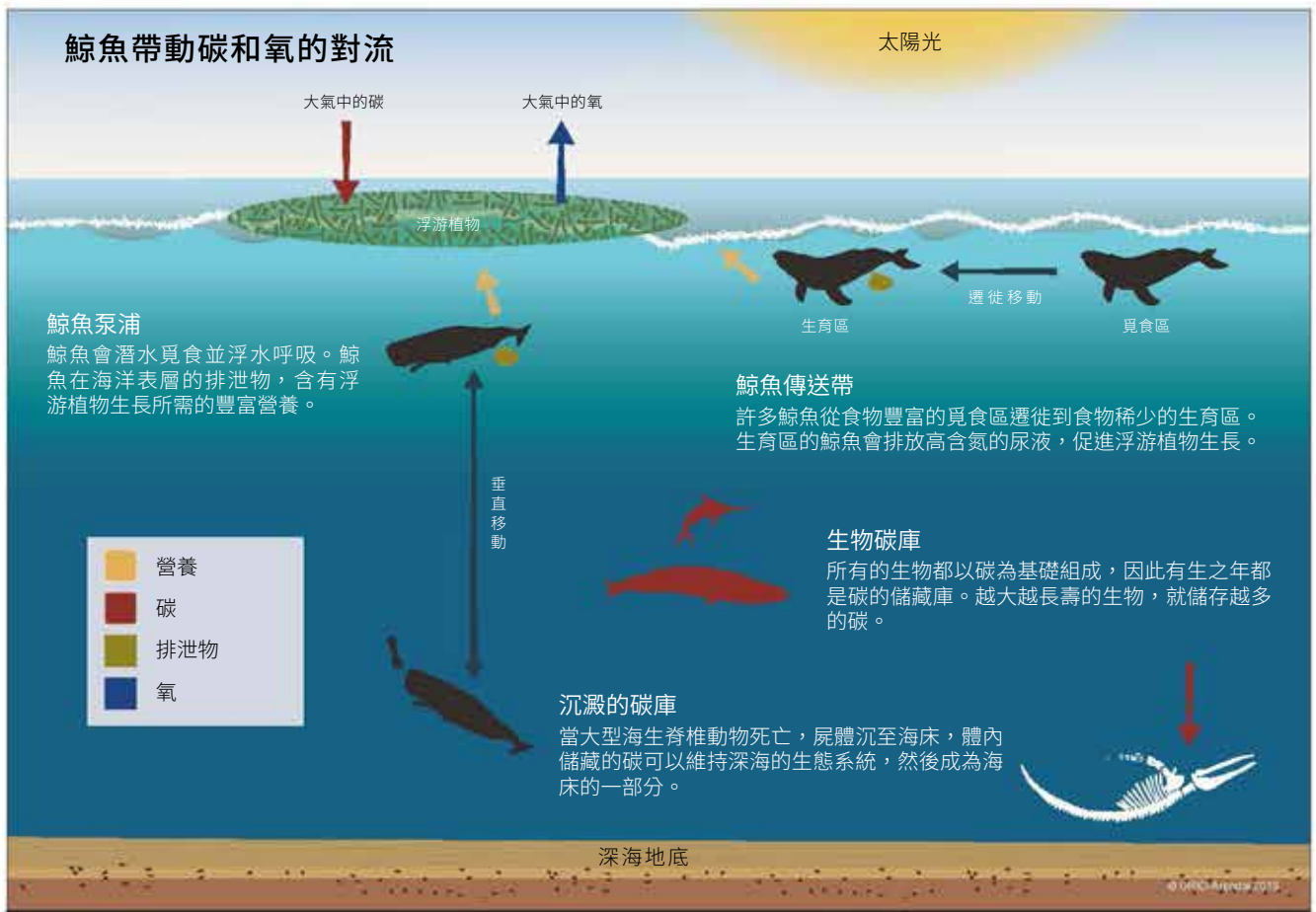
現在的科學研究前所未見地清楚指出：我們釋放至大氣中的碳足跡（二氧化碳），經由所謂的溫室效應，造成了全球暖化，威脅我們的生態系統和生活。但是減緩氣候變遷的努力要面臨兩個重大的挑戰。第一，要找到降低大氣中二氧化碳含量的有效方法，或者降低它對全球平均氣溫的衝擊。第二，就是要籌措足夠的經費將這些科技付諸實踐。

許多解決全球暖化所提出的辦法，複雜又未經測

試，還很昂貴。比方說：要直接從空氣中捕捉碳然後深埋地底。是否不需要那麼高的科技就能解決這個問題，有效經濟，並且有成功的籌資模式呢？

這類解決辦法的其中之一，簡單到令人訝異，而且基本上不需要任何科技來捕捉大氣中的碳：那就是增加全球鯨魚的數量。海洋生物學家最近發現鯨魚在捕捉大氣中的碳這件事情上，角色至關重要，尤其是藍鯨（2014年羅曼等人的研究）。國際組織成立了保護生態系統的碳捕捉基金，並已經執行了諸如降低因濫墾導致森林退化而產生

圖表一



排放的計畫 (REDD)。

調整這些行動來支持國際上恢復鯨魚種群的努力，可能會為與氣候變遷奮戰帶來突破性的發展。

鯨魚捕捉碳的潛力實在是令人吃驚。鯨魚會在漫長的一生中把碳積聚在體內，當他們死後沉入海底，每條巨大的鯨魚平均儲存了 33 噸的二氧化碳，把碳與大氣隔離長達數個世紀之久。而一顆樹每年最多吸收 48 磅的二氧化碳。

保護鯨魚可以讓捕捉的碳量顯著增加，因為目前最大的鯨魚種類，其數量是僅只是過去的一小部分。令人遺憾的是，經過數十年的工業化捕鯨，生物學家估計，如今的鯨魚的總數不到以前的四分之一。某些種類，例如藍鯨，已經降低到僅剩繁盛時期的百分之三。因此，鯨魚的生態系統能

為我們的生存提供的貢獻，比以前少了很多。

但這只是故事的開始。

鯨魚泵浦

地球最大的生物——鯨魚，出現的地方，也可以找到某些地球最小的浮游植物。這些微觀生物不僅貢獻了大氣至少百分之五十的氧氣，而且為此捕捉了 370 億公噸的二氧化碳，這個數字是二氧化碳總量的百分之四十。為了說得更明白，我們計算出這相當於 1.7 兆棵樹所捕捉的二氧化碳量——等於四個亞馬遜森林，或者等於美國紅杉國家公園和州立公園 (RNSP) 每年所有樹木吸收的二氧化碳總量的 70 倍。越多的浮游植物，表示有越多的碳被捕捉。

近年來，科學家發現，鯨魚無論在到哪裡，都會讓浮游植物族群成倍增長。為什麼會這樣？原來是鯨魚的排泄物恰恰正好含有浮游植物生長所需的物質——尤其是鐵和氮。鯨魚經由兩種方式把礦物質帶到海洋表面：垂直移動，又稱做鯨魚泵浦，和遠洋遷徙，又稱做鯨魚傳送帶（參見圖一）。初步的模型和估算表明，這種施肥活動讓鯨魚頻繁出現的區域的浮游植物大量增長。

營養成分通過沙塵暴，河流沉積物，還有風和波浪帶入海洋，但是仍然缺少氮和磷，這讓在海洋溫暖區域中可以開花的浮游植物數量受限。在較冷的海洋區，比方南部海洋，缺少的礦物質往往是鐵。如果缺少這些礦物質的海洋區域能夠獲得它們，就可以長出更多的浮游植物，比其他可能的方案更有潛力吸收更多碳。

讓鯨魚活著

鯨魚的作用就在這裡。如果鯨魚能夠恢復到補鯨前大約四至五百萬的數量（比現今多 130 萬），就有可能讓海洋中的浮游植物種群顯著增加，每年捕捉更多的碳。保守估計，即使因鯨魚活動增加的浮游植物只有百分之一，就有可能每年多吸收幾億噸的二氧化碳，相當於突然出現 20 億棵成熟的大樹。想像一下一條鯨魚終生可以帶來的影響有多大，他們的平均壽命超過 60 年。

儘管商業捕鯨大為減少，鯨魚仍然面臨嚴重的生命威脅：撞船、被纏結在漁網中、漂浮的塑膠垃圾，以及噪音污染等。有些種類的鯨魚數量正在緩慢地恢復，但許多種類並沒有恢復。

加強對鯨魚的保護，使其免因人為的危險而受害，將為人類、地球和鯨魚帶來益處。一些建議的高科技修復方式未經測試，可能造成無法預測的傷害。用「地球科技」固碳的方法，可以避免這種風險。大自然已經花了數百萬年的時間，讓鯨魚的儲碳技術趨於完美。我們需要做的就是讓鯨魚活著而已。

現在，我們看看這個解決方案的經濟面向。保護鯨魚是有成本的。降低對鯨魚的威脅，包括補償

製造威脅的來源，這涵蓋國家、企業和個人。為確保這種方法可行，就牽涉要確定鯨魚的貨幣價值。

國際公益

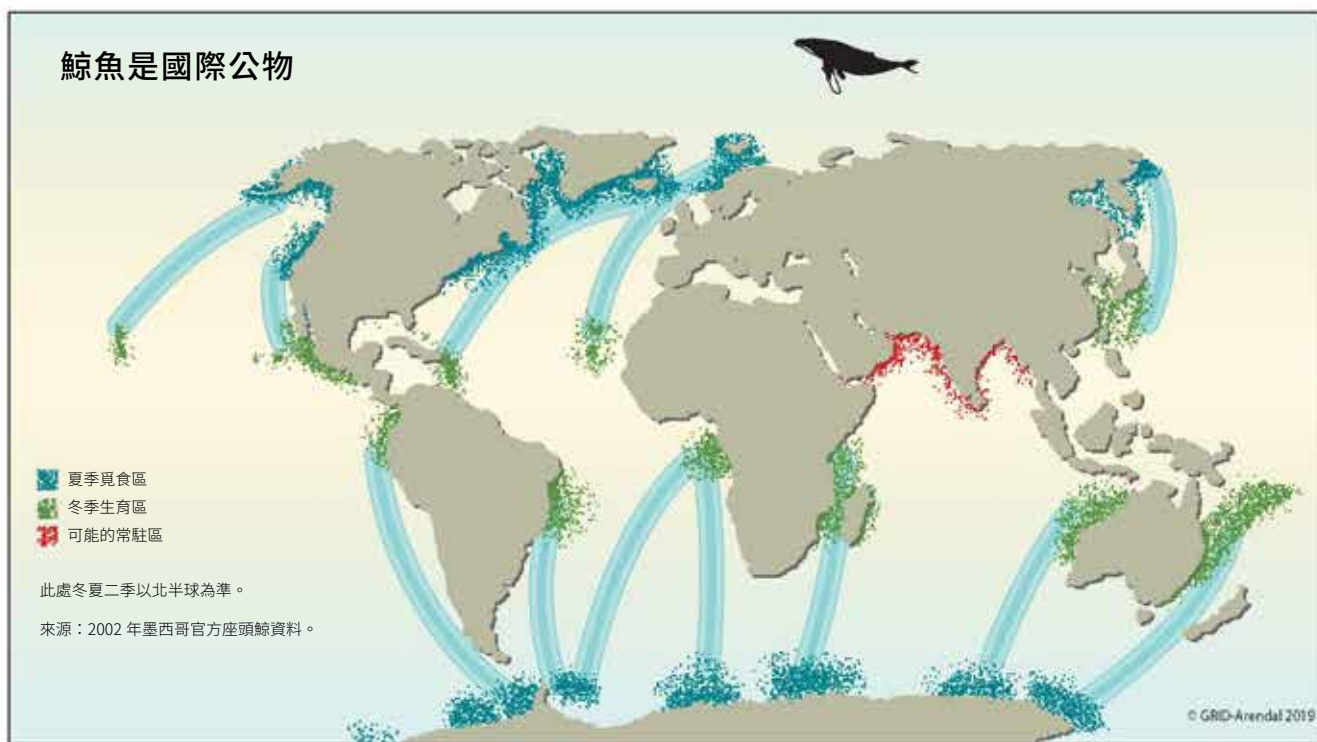
鯨魚嘉惠氣候的影響遍及全球，利益全部的人，沒有剝奪他人利益的問題，因此算是教科書中所謂的「公共物品」（見圖二）。這表示鯨魚會有經典「公共悲劇」的困擾：沒有從中獲益的個人，就沒有足夠的動機支付自己應當的份額來支持這件事。但是想想地球大氣層對人類生存的重要性。即使所有國家都承認，為了未來，每個人都應該保存這項公共資源，可如何讓全球一致行動仍然是個問題。

為了解決這個國際公物的問題，首先，我們必須問的是：鯨魚的貨幣價值是多少？如果要展示保護鯨魚的利益遠超成本，以鼓勵企業和其他的利益關係人保護鯨魚，那麼就應該進行適當的估價。我們估算了每條大鯨魚平均的價值。我們用科學方法計算鯨魚固碳的貢獻量、二氧化碳的市價，還有換算成現金的金融技術，以決定目前每條鯨魚終生固碳的價值。為此，我們也加入鯨魚終生其他的經濟貢獻以符合現今的評價項目，比方漁業發展和生態旅遊。根據我們的保守估計，每條大鯨魚的各種活動產生的價值，平均超過二百萬美元。以大鯨魚目前現存的數量來算，總價值輕易就超過了一兆美元。

但是還有許多其他的危險要降低，例如撞船等等。幸運的是，經濟學家知道如何解決這類問題。實際上，聯合國的 REDD 計畫是這類解決方案的可行模式。認知到濫伐森林造成 17% 的碳排放，REDD 獎勵各國保護森林以排除大氣中的二氧化碳。用類似的方法，我們可以建立金融機制來推動各國恢復鯨魚的數量。用補助或其他補償的獎勵方式，可以幫助那些為了保護鯨魚而遭受鉅額損失的對象。比方說，可以補償船運公司為了減少發生碰撞而更改路線所造成的損失。

然而，這種解決方案有個棘手的問題。一開始必

圖表二



須建立保護鯨魚和其他自然資產的金融設施。確切地說，我們到底願意花多少錢來保護鯨魚？我們估計，如果要讓鯨魚恢復捕鯨前的數量，每年可以捕集 17 億噸二氧化碳，那麼補貼這些鯨魚二氧化碳的封存工作，每人每年要花大約 13 美元。如果同意支付此一費用，那麼國家、個人和企業之間應該如何分配？每個個人、公司和國家所承擔保護鯨魚的成本，又應該得到多少補償？誰來監督補償的施行與新規則的落實情況？

國際金融機構結合其他聯合國和多邊組織，是理想合適的單位，可以監督協調國際間保護鯨魚的行動。鯨魚常見於低收脆弱國家周圍的水域，這些國家可能無法採取必要的緩解措施。而類似全球環境基金的機構可以支持這些國家。該機構的主要目標就是支持這些國家以達成國際環境協議。鯨魚在緩解氣候變遷上所提供的總體經濟利益，以及保護鯨魚的成本，可以由國際貨幣基金組織幫助各國政府納入財政架構之中。世界銀行具有設計和實施特定企畫的的專業知識，可以補

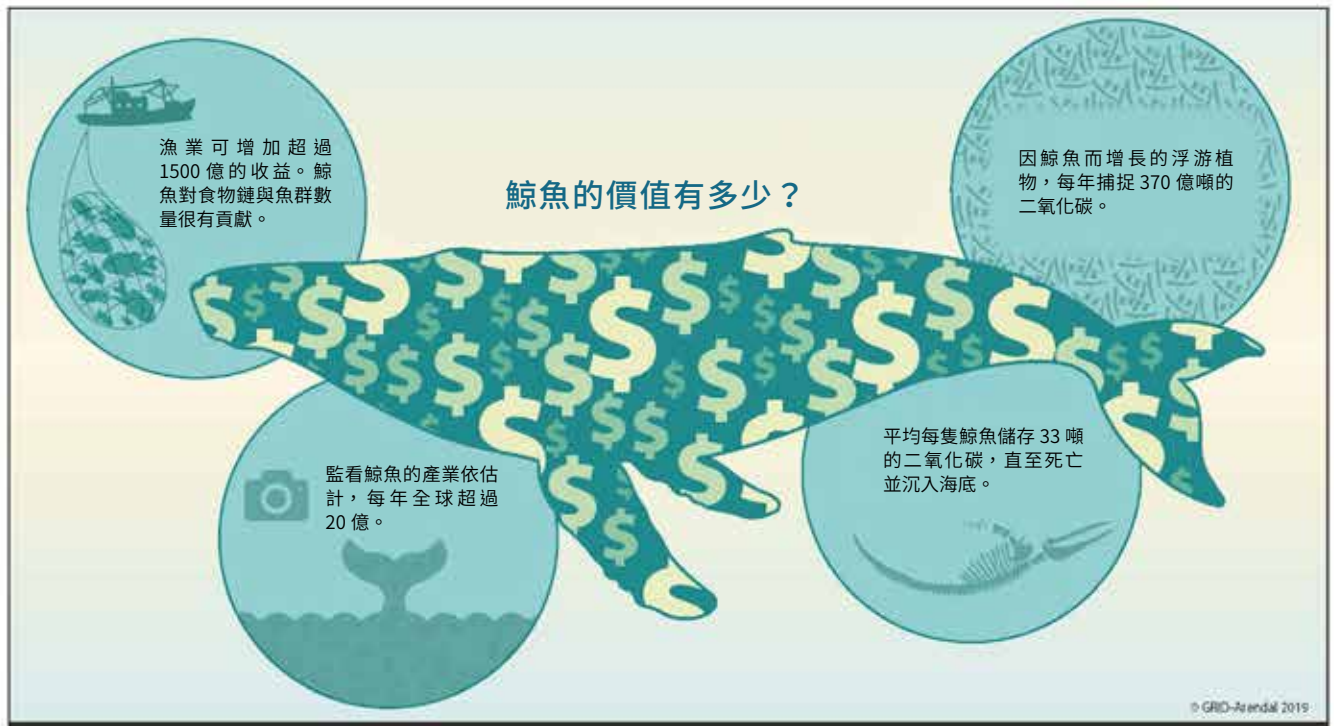
償為保護鯨魚而努力的民間部門。其他的聯合國和多邊組織可以監督落實的情況，並且收集衡量工作進度的數據。

新的思維

保護鯨魚的經濟學必須成為全球氣候議程中的重點項目。由於鯨魚緩解和穩定氣候變遷的角色無可替代，2015 年簽署《巴黎協定》以對抗氣候風險的 190 個國家，應該把鯨魚生存的議題納入目標之中。

但是，國際機構和政府也必須發揮影響力，以樹立新的思維：人類必須生存在大自然的領域之內，相關政策必須是整體而全面的。鯨魚不是人類的解決方案，這些偉大的生物有其天生的價值和生存權利，新思維承認並且珍視他們在永續海洋和星球中不可或缺的地位。健康的鯨魚種群意味著健康的海洋生物，包括魚類、海鳥以及整個生機勃勃的系統。這個系統能循環利用海洋和陸地之間的養分，使兩邊的生命受益。支持鯨魚在海洋

圖表三



中恢復往日繁盛的「地球科技」，不僅對海洋生物大有益處，對陸地生物同樣大有益處，包括我們自己在內。

有鑑於當前氣候變遷的現狀，想預防或逆轉對全球生態系統的傷害，並沒有時間可以浪費在驗證實施新的方法上。要保護鯨魚的話更是如此，這樣才能讓他們的數量快速增加。除非採取新措施，否則依估計要花 30 多年的時間才能使目前的鯨魚數量增加一倍，需要幾代才能恢復捕鯨前的數量。為了社會和我們自己的生存，等不了這麼久。

羅夫·查米是國際貨幣基金組織能力發展研究所的助理主任，席娜·歐圖森是國際貨幣基金組織能力發展研究所的研究分析師，湯瑪斯·科西麥諾是聖母大學門多薩商學院的名譽教授，康納爾·富倫坎普是經濟實踐學的教授，並擔任杜克大學經濟學教學中心的主任。

References:

- Lavery, T., B. Roudnew, P. Gill, J. Seymour, L. Seuront, G. Johnson, J. Mitchell, and V. Smetacek. 2010. "Iron Defecation by Sperm Whales Stimulates Carbon Export in the Southern Ocean." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277, no. 1699:3527–31.
- Lutz, S., and A. Martin. 2014. *Fish Carbon: Exploring Marine Vertebrate Carbon*. Services. Arendal, Norway: GRID-Arendal.
- Pershing, A., L. Christensen, N. Record, G. Sherwood, and P. S. 2010. "The Impact of Whaling on the Ocean Carbon Cycle: Why Bigger Was Better." *PLoS One* 5, no. 8:1–9.
- Roman, J., J. Estes, L. Morissette, C. Smith, D. Costa, J. McCarthy, J. B. Nation, S. Nicol, A. Pershing, and V. Smetacek. 2014. "Whales as Marine Ecosystem Engineers" *Frontiers in Ecology and the Environment* 12, no. 7: 377–85.
- Smith, C., J. Roman, and J. B. Nation. 2019. "A Metapopulation Model for Whale-Fall Specialists: The Largest Whales Are Essential to Prevent Species Extinctions—The Sea." Unpublished.

譯者附註：

本文所列舉的評價項目有漁業和商業價值。為避免誤解成容許捕獵海生動物，特別說明：宇宙系統的評價項目是高貴、善良、愛心、神性或佛性等等這類，還有很多，總值是一個生命的進化值或靈值。沒有金錢商業類項目。不太一樣，但可理解為宗教中所謂的功德。這是離開這個世界後決定可以前往哪個世界的基準。但這份論文以確切的研究揭示證明人與大自然不可分割，是很好的參考資料。