

出國報告（出國類別：進修）

農委會農業菁英培訓-
外海箱網養殖科技之研究

服務機關：行政院農業委員會漁業署

姓名職稱：王俊等 技正

派赴國家：挪威

出國期間：108年4月8日至111年6月29日

報告日期：111年7月29日

摘要

推動海洋深水箱網養殖係我國重要漁業政策之一，考量挪威是當前全球箱網養殖產值最高的國家，凝聚跨領域之專業，結合離岸大型箱網養殖、抗災害、疫病防治及智慧化管理等尖端科技，成功將傳統的初級產業發展成高度自動化、高效率的產業鏈，締造該國每位養殖漁民年產值達新台幣 3,000 萬元的佳績。我國四面環海且養殖產業歷史悠久，具發展養殖產業之條件，但近年來遭逢氣候變遷的威脅以及國際水產品競爭日愈激烈，致我國小規模的養殖產業遭逢嚴峻的挑戰。因此，值得借鏡挪威產業轉型的典範，期望結合臺灣的在地特色及產業型態，發展因地制宜的產業型態。

筆者獲行政院農業委員會農業菁英計畫，於 108 年 4 月 8 日至 111 年 6 月 29 日於赴挪威科技大學進修博士學位課程，該大學係挪威最著名的理工大學，該校設水產養殖研究室隸屬海洋研究中心，該中心係由該多名跨系所的學者組成，包括海洋工程、生物科學、生物技術等系所，其重要研究主題包括：多營養層綜合養殖(IMTA)、自動化監測技術、海洋箱網結構設計等項目。

回顧挪威箱網養殖發展歷程，曾經歷許多危機，如魚病危機、進口水產品價格競爭、勞動力短缺、環保團體質疑等議題，但藉由完善的法規制度及政策引導，持續轉型創新，也促進養殖產業從傳統較仰賴政府保護型的產業轉為外銷競爭型產業，許多創新科技是建立在政策連貫性與跨域整合的長年努力，讓學術累積的成果能應用至產業，同時政府致力於建立制度，要求企業應回饋數據，並建立公開透明的資訊平台，讓學界受惠產業創新之成果，同時促進公眾監督，並吸引多元領域專家之投入，促進產業更精進升級。

推動外海箱網是近年挪威、加拿大等國的發展趨勢，為克服外海作業的高成本，往往會擴增箱網結構規格，以利集中化、自動化管理，因而衍生環境影響疑慮，故相關國家研發外海箱網同時，亦規範產業有定期監測環境之義務，惟過去尚無外海大型箱網的實測記錄，故須建立科學方法，並在不同環境及養殖環境校正，始能提升預測的精準度。

感謝服務機關及農委會提供本次進修之機會，盼未來能回饋所學，應用於箱網養殖之研發及生產技術，促進國際及跨領域交流，並結合臺灣養殖產之特色，發展符合我國環境及產業結構之箱網產業。

目次

一、 目的	3
二、 過程	4
三、 成果	6
四、 心得與建議	33

一、目的

推動海洋深水箱網養殖係我國重要漁業政策之一，考量挪威是當前全球箱網養殖產值最高的國家，凝聚跨領域之專業，結合離岸大型箱網養殖、抗災害、疫病防治及智慧化管理等尖端科技，成功將傳統的初級產業發展成高度自動化、高效率的產業鏈，締造該國每位養殖漁民平均年產量 165 公噸、年產值達新台幣 3,000 萬元的佳績，其人均產值更超過全球平均值的 112 倍。

回顧挪威養殖業的發展，1990 年代是挪威養殖產業轉型的重要分水嶺，在 1988 年挪威養殖年產量僅約 9 萬公噸，但因挪威人力及生產成本極高，又在 1990 年遭逢一場極嚴重的產銷失衡問題，迫使挪威政府輔導產業進行一系列轉型，包括：(1)研發智慧化科技，降低生產成本。(2)引導養殖產業朝企業化發展，以利引進新科技及專業人才。(3)制定養殖漁業專法，維護產業秩序。(4)成立海外行銷專責部門，開拓國際通路。前述輔導措施，不僅使該國養殖年產量在 20 餘年之間成長了 10 倍，達到 120 萬公噸的高峰，並成功導引挪威企業朝向國際化發展，在英國、加拿大及智利等跨國經營箱網養殖，替挪威賺取高額外匯。

我國四面環海且養殖產業歷史悠久，具發展養殖產業之條件，但近年來遭逢氣候變遷的威脅以及國際水產品競爭日愈激烈，致我國小規模的養殖產業遭逢嚴峻的挑戰。因此，值得借鏡挪威產業轉型的典範，深入學習挪威應用新科技、行政管理及國際行銷等經驗，期望結合臺灣的在地特色及產業型態，發展因地制宜的產業型態，輔導產業邁向下一個里程碑，俾活絡在地經濟，促進產業永續發展。

筆者獲行政院農業委員會農業菁英計畫，赴挪威科技大學進修博士學位課程，該大學係挪威最著名的理工大學，該校設水產養殖研究室隸屬海洋研究中心，該中心係由該多名跨系所的學者組成，包括海洋工程、生物科學、生物技術等系所，其重要研究主題包括：多營養層綜合養殖(IMTA)、自動化監測技術、海洋箱網結構設計等項目。

二、過程

行政院農業委員會農業菁英計畫期程為 108 年 4 月 8 日至 111 年 4 月 7 日，另經服務機關同意以自費延長進修至 111 年 6 月 29 日，期間相關研究工作摘要如下：

- 獲挪威科技大學生物學系錄取，由服務機關與挪威科技大學簽署博士生研修合約書，完成相關註冊事宜，並完成博士研究構想書，並通過校內審查作業。
- 修畢博士學位所需必、選修課程，包括水產養殖與生態學、生物海洋學、實驗動物學、研究倫理等課程，其課程重點包括動物福利、學習以數理分析，將養殖過程的各項因子數據化，例如計算飼料經消化代謝後的產物，透由演算法推算 DOM, DIM, POM, PIM, N/P ratio 等數值，同時評估環境自淨能力與各項因子間的交互影響，以準確估算環境負載力及節約飼料，作為後續發展 IMTA(多營養層綜合經營)之基礎。研習外海箱網研究工作所需之水產養殖、生態影響評估、箱網養殖傳感器等理論知識。
- 參與挪威產官學界舉辦之養殖系列活動，如 Ocean Week、AquaNor 及校內外專業領域研討會，並參加相關領域的博士論文發表，如大型藻養殖、魚蟲監測與防治等主題，學習相關研究方法與研究資源，並廣泛蒐集各界相關資訊。
- 參與研究團隊應用高光譜傳感器(Hyperspectral sensor)結合水下無人機 (ROV 及 AUV)，赴目前試驗中的外海箱網(Ocean Farm 1)進行採樣監測，並開發影像辨識技術，初步判讀海床上物種分析，但囿於現階段科技限制，尚無法精準至「物種」層級，故相關的參數仍需解讀分析，以轉換為 WFD 與 ASC 採納之指標。爰此，研究團隊刻正進一步分析前述 MOM-B& MOM-C 的監測報告，透由整理歷年累積之大數據(共約 1,000 個養殖場，近 10,000 份報告)，多方比對分析並瞭解各項因子間的交互影響，建立機器學習(Machine Learning)的基礎資料庫，未來期達成自動化採樣、精準化辨識、智慧化解析。
- 綜合分析挪威法規、歐盟 WFD, MSFD, OSPAR 等規範及 ASC 等自主驗證所採納之環境指標，並結合挪威海洋生物資料庫，建立自動彙算程式工具，未來輸入監測數據，即可同步產出多項指標，並勾稽挪威相關機構的環境資料庫、相關箱網養殖區之歷年環境影響評估報告與指標性底棲生物，並建立半自動運算之初步架構。

- 學習 Matlab, ArcGIS, SPSS, Python, Power BI 等數據分析工具及程式語言，解析相關資料，探索養殖與環境的交互影響，並視覺化呈現分析結果。
- 蒐集挪威箱網養殖產業資訊、統計數據、調查報告、學術文獻等資料，學習外海箱網之環境影響評估之學理依據、運算方法、數據分析及資料庫建置方法，並從各層面深入分析，包括：(1) 生物技術:研習挪威如何應用水產疫苗、育種科技及生物防治等生物科技於箱網養殖產業，提高養殖生產效益，並減少生產風險。(2) 海洋工程:研習挪威如何整合海洋工程，瞭解當地海洋環境，以引進合適的箱網養殖設施;另應用遠端監控、大數據(Big data)、物聯網(IoT)及人工智慧(AI)等科技，建立高度自動化之科技化養殖產業，減少傳統勞力。(3) 產業發展:研析挪威如何引導傳統小型養殖場轉型為大型國際級的養殖企業;另如何促進養殖企業與在地漁村社區建立共存共榮的互惠發展模式。
- 109 年 3 月份，受 COVID-19 影響，挪威大學暫緩非急迫性的研究工作，並採取線上教學及會議，第二學期起雖逐步解禁，但該年 10 月疫情升溫，挪威政府推動更嚴格的防疫管制，其後仍反覆鬆綁及管制，致原訂應用 Hyperspectral sensors 蒐集養殖海床的環境影響評估之採樣工作及相關實體工作與計畫內容難以預測執行期程，經諮商指導教授綜合評估前述無法預期之因素，決定在海箱網養殖科技的架構下，調整細部研究方向，將運用挪威官方累積之監測數據，比對挪威各個箱網養殖區的成長情形，分析各項影響因子及其交互影響，以評估各海域的環境負載及發展 IMTA 的潛能。
- 研究期間，每三個月撰寫研究進度報告，陳報予服務機關參考，並蒐集挪威箱網養殖科技及制度等資訊，並於 108 年 11 月於漁業推廣期刊分享相關資訊。另協助服務機關蒐集挪威養殖產業資訊，包括：挪威養殖許可制度、箱網港區發展情形、箱網養殖科技及制度等資訊、我國進口鮭魚來源資訊、分析挪威養殖漁業對 COVID-19 的影響及因應對策等情資。
- 協助臺灣養殖青年考察團於 108 年 9 月拜訪挪威科技大學，並安排與挪威企業交流。

三、 成果

(一) 挪威箱網產業與相關制度

回顧產業發展史，挪威雖有擁有發展箱網得天獨厚的峽灣地形，以及歷史悠久的食魚文化，但產業的發展歷程並非平順，主因是挪威的人均國民所得極高，薪資、物價皆會反應在養殖水產品的生產成本上，當遭逢國外水產品價格競爭時，易引發產銷失衡危機，致屢面臨經營困境，此問題促使政府制定「水產養殖法」，並引導產業由家計型的小規模結構，走向企業型的規模化經營，促使大企業擁有充裕的資金引進自動化設備，並能延攬專業人才，而自動化設備能取代傳統勞力工作，並提升工作安全，有助留住專業人才，兩者之間的正向循環，為注入一股革新力量，讓產業不斷地進行水平及垂直整合，擴大經營規模、降低經營成本，並拓展國際新市場，佈局全球版圖。因此，過去數十年，挪威雖不斷遭逢不同的危機，包括產銷問題、疫病爆發、傾銷指控，但總能正視問題，並制定中長程的因應方案。有關挪威的養殖產業發展歷程，整理如表 1。

表 1 挪威養殖產業發展之重要事件

時間 (年)	事件
1970	挪威首座鮭魚箱網養殖場
1972– 1975	發生產銷危機：由於產量快速增加，銷售通路未隨之拓展。當時政府以凍儲方式緩解問題，但未獲有效改善。
1978	暫時核發養殖許可，以化解產銷危機。
1983– 1984	出現嚴重疫病問題，爆發大規模 ISA 感染
1985	實施養殖鮭魚苗場登記制度。因僅採登記制，無管控許可量，致接續數年仍發生過度投資問題。
1986	開拓日本壽司市場，5 年內出口倍增 2.5 倍。
1989	第二次產銷危機，鮭魚價格減半，並延續 5 年。
1990	發展首劑鮭魚疫苗。
1991	外銷危機：遭美國指控傾銷，致銷美出口量由 9,300 噸驟減致 800 噸。
2005	國會通過新的水產養殖法，促進產業競爭力、永續，並受惠沿岸經濟。
2009– 2010	強化環境永續及動物福利：規範養殖場須符合環境永續設施，宰殺鮭魚，禁止使用傳統的 CO ₂ 麻醉，需使用電擊或其他法規許可之方式。
2011	推動養殖鮭魚防逃逸制度。
2015	推動養殖研發執照許可制度，促進產業研發新科技。
2017	全球首座外海養殖設施，進行試運轉。
2020	<ol style="list-style-type: none"> 1. 養殖鮭魚年產量達 140 萬噸。 2. 推動養殖生產區紅綠燈制度：依各區的魚蝨監測情形，調整放養量許可。

(資料來源：Norway Seafood Council)

縱覽挪威箱網產業的全貌，了解挪威的成功經驗並非仰賴單一因素，而是彙集各項領域的創新與合作與完善的管理制度，雖目前已居領先地位，但仍採開放包容策略，延攬各方人才參與，持續追求創新與突破，歸納其重點如下：

1. 完善養殖許可制度：挪威實施嚴格的放養量控管制度，經營養殖漁業前需取得政府的許可，放養前需透由公開交易取得放養量配額，始得放養，且其最高放養量不得超過箱網容積的 2.5%，以確保鮭魚有足夠的生活空間。另搭配養殖區環境監測，如養殖區有衰退情形（如海床環境改變、魚虱增生等）發生時，政府得要求養殖業者縮放養量，以確保環境永續。
2. 政策推動新型箱網科技：雖挪威箱網採許可制並限制養殖配額，挪威政府為鼓勵企業投入新創研發帶動整體產業科技化，自 2015 年起推動研發許可執照，目前已超過 100 個申請案件，其構想包括可沉式箱網結構、海上封閉/半封閉式箱網結構、沈式箱網、傳統 HDPE 結構箱網結合 IMTA 海中造林等試驗，目前通過准許及獲配額案件以可沉式箱網居多。
3. 重視動物福利：挪威的動物福利制度符合歐盟相關規範，其透過立法確保相關制度確實落實至產業及研究活動，涉養殖相關法規包括：「動物法福利法」、「水產養殖法」及該法授權訂定之「箱網養殖管理規則」、「養殖活魚運輸管理規則」及「養殖加工廠管理規則」等。另挪威政府亦訂定技術準則，宣導符合動物福利之養殖空間、溫度、光週期、噪音、水質、流速等指標。該等法規明定，相關操作造成動物之疼痛超過相當於注射程度時，應實施鎮定、止痛或麻醉。如活魚運輸、藥浴等作業前應施予鎮定劑，而注射疫苗前應實施麻醉。另相關研究人員及作業人員皆需定期接受教育訓練，且對動物造成傷害造成前揭門檻疼痛程度時或研發養殖相關設施設備時，應報主管機關許可後，始得進。近期案例為挪威北方 2021 年 7 月一家養殖場未遵守動物福利相關規範運輸稚鮭，可能依動物福利法處以罰款或 1 年以下徒刑。
4. 重視生態和諧：為減低箱網鮭魚逃逸致影響環境問題，挪威政府自 2003 年立法通過規範箱網養殖結構需通過 NS9415 驗證，由政府認證的第三方機構，定期對各箱

網結構安全進行監測，防範網具破損等風險，目前已大幅降低鮭魚逃逸量 2~10 倍，目前挪威政府刻正針對近年發展的新式箱網結構，滾動式修正相關技術準則。

5. 嚴格度環境監測：依挪威養殖漁業法規定，箱網養殖場應定期委託驗證公司進行海域環境監測（B & C survey），其監測範圍分別為距離箱網 0-30 米與 30-500 米海域（如圖 1），監測項目包括 pH, Eh, TOC, TON 等化學分析與物種分析，並將各項參數轉換 AMBI, NSI, H', ES100 等生態指標，以符合歐盟「水資源綱要指令」（WFD）與「海洋綱要指令」（MSFD）規範與 ASC 等自主驗證標準，確保環境品質及穩定生產，並兼顧環境永續。另因應挪威刻正推動外海箱網養殖，因離岸較遠且深，若依照現行採樣方法，則需耗費相當大的人力與時間成本，又需耗費資源將監測結果轉換符合各類國內外標準，因此挪威規劃引進新科技，透由中長程科技計畫，委由學術研究單位執行，開發自動化監測科技，並採用科學方法印證，新科技的監測結果與傳統監測是否同等有效。

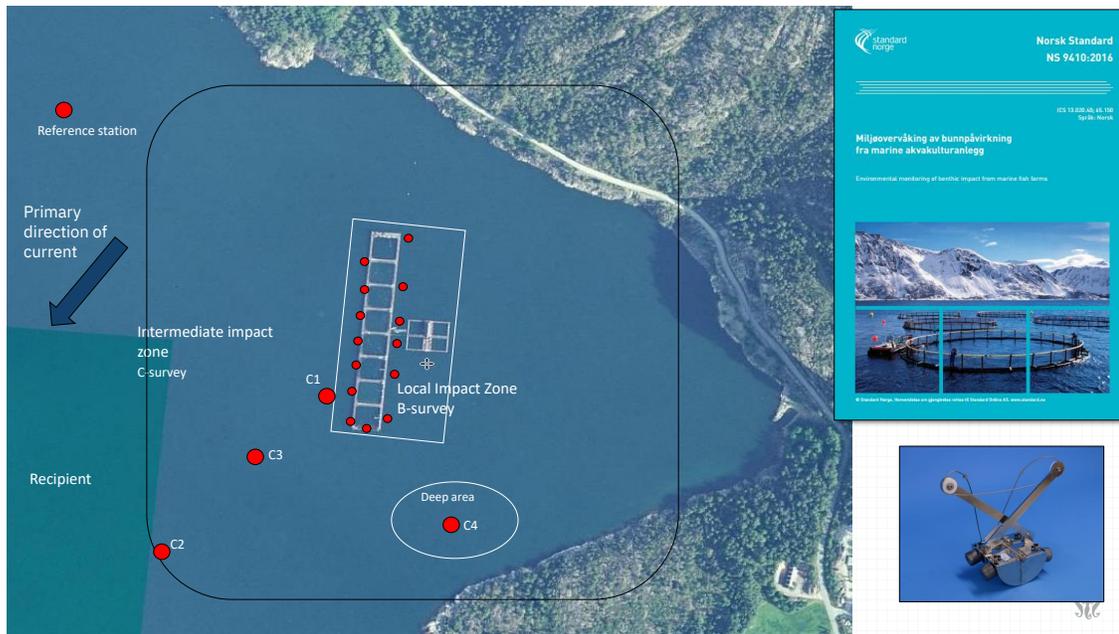


圖 1 箱網養殖海床環境影響評估之監測範圍

(資料來源：Norwegian Directorate of Fisheries)

6. 高度自動化的飼育管理：箱網屬勞力密集的工作，在傳統養殖模式中，漁民每天需要用工作船運搬飼料投餵，並定期換網以清洗箱網上的附著生物，在收成的時候，

更需要投入大量勞力收網撈魚。但挪威運用自動化機械取代這些勞力工作，並運用大數據、物聯網、人工智慧等科技，大幅提升自動化程度。挪威普遍每一個箱網養殖場會配置一座海上飼料平臺，最高可在離岸儲存近千噸的飼料，足以在海上獨立運作 1 個月不需仰賴陸上的補給，透過自動化飼料輸送管線、多方位的水下監測設備及擁有大數據的軟體輔助，讓 1~2 名員工即可完成 10 口大型箱網、年產量 6,000 公噸養殖場的投餵工作，並配有自動洗網機、自動吸魚機等設備協助執行工作，近年更因應綠能趨勢，發展油電混合系統，以減少溫室氣體的排放。另外，部分挪威企業已成功運用更精進的科技，運用雲端、遠距操控科技，將數十個海上平臺的操控工作連接到陸上中樞基地，讓員工可以在市鎮中心工作，即可完成數百口大型箱網的管理工作，緩解偏遠地區勞動力短缺問題，並大幅提升工作效率，減少頻繁往返海上的作業成本 (圖 2)。養殖勞動力：據挪威官方統計，2020 年挪威養殖鮭魚整體產業鏈直接投入人力約 2 萬 3 千餘人，包括養殖 8 千人、加工 6 千人、物流 8 千人、銷售 1 千餘人，平均每名養殖勞工可創造年產值 350 萬挪威克朗之收益。



圖 2 箱網養殖遠端連線作業

(資料來源：Aslak Berge, Createview, ScaleAQ)

7. 高效能飼料：挪威鮭魚飼料約佔養殖成本 40%，且因鮭魚屬肉食性魚類，飼料中需要較高比例的魚粉、魚油等，致價格偏高，為降低成本，挪威企業已將飼料中的動物蛋白質，由十年前的 50%，降低至目前的 20%，亦同時精進飼料換肉率(FCR)至 1.15(即生產 1 公斤的魚僅需 1.15 公斤的飼料)，不僅降低成本，也對生態友善，能夠達成此成績，是透由飼料營養科技的提升、育種科技選拔出對植物性成分消化率較好的鮭魚品系，並搭配水下攝影與自動化投餵科技，能追蹤每一粒飼料的沈降分佈與每一條魚的攝食情形，精準投餵，確保飼料不浪費。未來將持續研發運用大型藻、微細藻、海洋環節動物等資源，持續降低對魚粉、魚油的依賴。
8. 高生物安全的養殖模式:挪威屬降海洄游物種，前半部生活史，約 10-16 個月需在淡水中完成，直至銀化階段(Smoltification)。考量疫病是養殖產業的高風險因子，在這段期間，挪威採用循環水養殖系統，養殖用水經過層層消毒殺菌循環再利用，且每一池皆有獨立操控系統，以因應疾病爆發時的隔離處置。在降海放養前，會注射

多合一疫苗，並採用自動化注射系統作業，先將稚鮭昏迷後，乘坐魚梯運往輸送帶，前端的輸送帶會掃描每條魚的腹部影像，以利後端的注射槍即時瞄準精確的注射的位置，每隻注射槍每秒可完成 2 尾以上的注射作業。

9. 高效活魚運輸與加工物流：企業化經營的養殖場，往往蓄養量可達 5,000 噸以上，因此，在收獲階段，需採取有效率的活魚運輸模式，避免因緊迫導致的損失，並節省作業成本。因此，大型活魚運輸船，一趟可裝載上千噸的活魚，且在運輸的過程，可進行篩選、計數等作業，新型的活魚運輸船更可能在運輸過程中，完成加工的前處理。例如 FRØY 企業已委託建造全球最大的活魚運輸船，其空間相當於波音 737 客機，容積 7500 噸，並配置 12 條吸魚管線，可於 1 小時內裝載 1,000 噸以上隻活魚（如圖 3）。另活魚運輸船更能因應不同需求，而配置不同的設施，例如採用滲透壓等原理，清除魚體的魚蝨，以達多功能使用。此外，為節省陸域空間及陸上設施的有限，一般養殖作業，如儲藏飼料、餵食、換網、監測養殖情形等作業，皆可於海上完成。另相關企業亦因應未來發展趨勢，刻正研發生產大型油電混合海上飼料平臺及大型海上活魚運輸船。



圖 3 多功能的活魚運輸船

（資料來源：Aslak Berge, NTB）

10. 公開透明的資訊：箱網養殖直接接觸開放的海域，因此挪威產業相信好的環境需要全體共同來守護，政府也建立了互信機制，如鄰近養殖場需相互派員至對方養殖場觀測疫病情形，並將每一個養殖場位置、歷年健康狀況、逃逸情形，即時公布於地理資訊平臺(<https://www.barentswatch.no>)，並開放公眾閱覽。

11. 提升產業形象，並深耕多元化市場：1986 年挪威成功將鮭魚外銷至日本壽司市場，帶動整體鮭魚產業的出口市場，但挪威卻不偏重此單一市場，據 2019 年統計，挪威鮭魚外銷量達 128 萬公噸，但日本市場僅佔 3%，其出口量分散在世界各國，單一國家的比率不超過 15%（如圖 4）。此外，挪威亦重視產業文化，在奧斯陸、卑爾根、特羅姆瑟、博多等各大城市，都設有養殖的體驗館或產業參訪旅遊行程，讓大眾學習及體驗養殖產業，深入了解鮭魚產業的發展歷程、產業文化，同時倡導當前的環境永續及動物福利的重要性。另 2021 年挪威鮭魚產量及單價皆創新高，歸因於企業準確預測消費需求趨勢。此外，挪威亦積極行銷鮭魚形象，本年度 Collier FAIRR 指數，將挪威鮭魚列為全球永續食物排名榜首。

Salmon, round	2018			2019		
	Weight	Value	NOK/kg	Weight	Value	NOK/kg
France	129 405	7 114	54,97	116 161	6 436	55,41
Poland	169 956	8 771	51,61	179 832	9 205	51,18
Denmark	99 419	5 208	52,38	113 821	5 789	50,86
Great Britain	77 695	4 303	55,38	72 549	3 978	54,83
Spain	73 446	4 043	55,05	81 903	4 517	55,15
Rest of EU	358 046	19 978	55,80	378 371	20 806	54,99
EU	907 967	49 417	54,43	942 637	50 730	53,82
USA	66 805	4 507	67,47	67 988	5 078	74,68
Japan	41 214	2 453	59,51	43 152	2 810	65,11
South-Korea	29 738	1 927	64,79	32 321	2 154	66,64
Others countries	161 112	9 424	58,49	198 304	11 680	58,90
Total	1 206 836	67 728	56,12	1 284 402	72 451	56,41

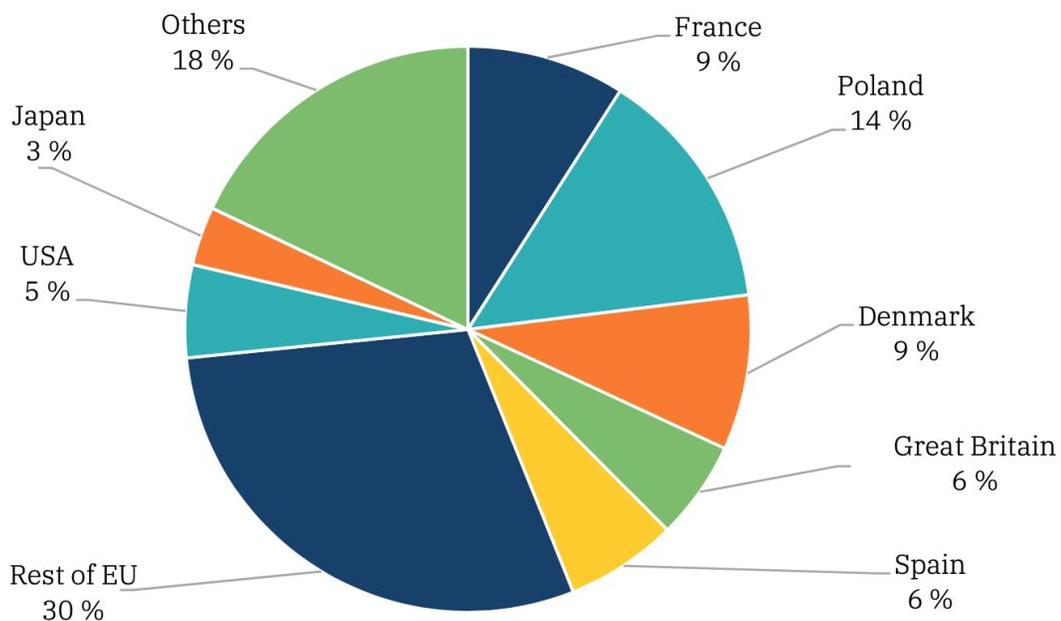


圖 4 挪威養殖鮭魚出口概況

(資料來源：Norway Seafood Council)

12. 促進跨域整合與創新：挪威的養殖科技仰賴許多跨領域科技的投入，包括生物科技、海洋工程、自動化工程、環境生態、經濟等議題，因此政府推動新科技政策，廣納各領域的專家投入，例如，挪威科技大學於 2022 年 1 月 13 日發射第一枚人造衛星(HYPSO-1)，其裝載高光譜影像(Hyperspectral imaging)相機，該衛星每日繞行地球 16 次，能即時監測海洋環境及浮游生物，其觀測結果能進一步應用於預測藻華現象，減低養殖風險（如 2019 年 5 月因藻華造成挪威 770 萬尾鮭魚大規模死亡，本年初智利等國也出現過相關案例）。此外，挪威亦有定期舉辦國際性的養殖主題展會暨學術研討會，如自 1970 年起每兩年皆會在特隆赫姆城舉辦國際養殖漁業展（AQUA NOR），迄今已逾 40 餘年，2019 年在展期前更籌辦聯合國世界糧農組織（FAO）水產養殖次委員會；疫情期間仍吸引數萬人參與，以促進國際交流，同時引進新科技，亦帶動產業商機。

(二) 挪威新型養殖科技

鑑於挪威養殖產業型態主要是由大型企業經營，該等企業擁有較高的資金投入科技研發，及延攬專業人才，多數公司認同養殖產業是未來替代挪威石油產業的新契機，並認同唯有持續研發新科技，始能確提高生產效率與產業競爭力，因此，積極引進資金投入新型箱網養殖科技。自 2015 年挪威推動研發許可執照以來，已超過 100 個案件提出申請，目前已有 6 件建造完成，進入實地測試階，分佈於挪威中部及北部地區。然而，挪威現階段箱網產業（含試驗中的外海箱網）皆位於領海基線內部的內水，但多數海上鑽油（氣）平台係位於領海或專屬經濟海域，目前已有石油天然氣企業參與外海箱網之研發，將借鏡海上油田的設施架構，及油電混合的能源策略，將養殖產業向更外海推動，期達成 2050 年鮭魚年產量 500 萬噸的政策願景。目前 6 件測試中的新型箱網摘要(如圖 5)如下：

1. Ocean Farm 1: 挪威 Salmar 集團自 2017 年起測試新型外海箱網 Ocean farm1，其創新理念為大型鋼鐵結構的可沈式箱網，已於 2020 年已完成兩個試驗生產週期，試驗期間總產量達 1 萬公噸，並通過海床生態環境影響評估，取得執照換發（由研發許可執照轉換為生產許可執照），且相關的研究數據，以作為投入第二代新型外海箱網，最高產量可達第一代的兩倍，預估投入研發及建造資金 23 億挪威克朗。預估營運後生產成本可降至 34 挪威克朗/公斤。目前已規劃於 2024 年投入試驗研究，推動第二代大型（Smart fish farm）將推向更外海，預期最高產能可達 19,000 噸。
2. Aquatraz: 挪威 MNH Produksjon 公司自 2018 年測試 Aquatraz 箱網，其創新理念為鋼鐵結構的半封閉箱網，每口箱網圓周約 160 米，每組設施為 12 口箱網。該案歷經 5 年的生產試驗，已於 2022 年 3 月通過審查，准許轉換為生產許可執照。
3. Atlantis Subsea：挪威 AKVA 集團 Atlantis Subsea farming 公司自 2019 年測試 Atlantis Subsea 箱網，其創新理念為半外海、水面下養殖，已對抗魚蝨等及生蟲，其最高生產量可達 5460 公噸，該案已完成數次的生產試驗，並提出轉換准許轉換為生產許可執照的申請。
4. Havfarm 1 & Havfarm 2：挪威船形架構的外海箱網計畫 Havfarmen 已於挪威北方進行試驗，該設施由 Nordlaks 公司投資 40 億挪威克朗，該設施長度 385 米、寬

度 60 米、高度 38 米，採油電混合能源，已獲年產量 1 萬噸試驗許可，經放養 233 萬尾鮭魚，並於 2021 年 6 月完成收成，惟當時經挪威漁業署審查，前揭試驗成果尚不充足，無法換發一般商用養殖許可，經該公司將持續進行試驗，終於 2022 年 3 月通過審查，准許轉換為生產許可執照。

5. iFarm：日資挪威籍企業 Cermaq 於 2020 年放養測試新型半封閉式箱網，每口箱網可放養鮭魚約 50 萬尾，其理念為降低養殖排放物，以減輕對海床及周邊海域的影響，並透由 AI 及機器學習等科技研發水下監測暨智慧分類系統，能透過大數據即時偵測個體養殖魚的健康狀況及動物福利，並即時(在箱網中)做隔離等必要處置，將大幅降低勞力需求及作業成本，已於 2022 年 2 月首次收獲第一批鮭魚。
6. Semi-closed facility at sea：挪威 Akvafuture 公司於 2018 年於試驗半封閉式的箱網養殖，其創新理念為配有自動收集養殖排放物之設施，以減輕對海床及周邊海域的影響，每組設施最高可養殖 2,340 公噸鮭魚。該公司共於北挪威 3 個鄰近海域試驗，因遭逢相關技術問題，經數次駁回後，始通過審查，准許轉換為生產許可執照。



圖 5 挪威外海箱網地圖

(資料來源：Norwegian Directorate of Fisheries, ilaks)

(三) 其他國家之新型箱網

- 中國企業-青島國信集團與中國海洋大學合作，參考挪威 Ocean farm 1 構建造深藍 1 號及深藍 2 號等兩座外海箱網，於黃海水面下約 30 公尺水域，試驗養殖 10 萬尾大西洋鮭魚，迄今已收獲 1.5 萬尾鮭魚。另中國亦參考挪威 Havfarm 1 構造，研發搭載動力系統的船型結構箱網 (普盛海洋牧場 1 號)，已完工並於 2020 年月下水測試，並於該年 8 月放養第一批鮭魚。



圖 6 中國參考挪威雛形建構的外海箱網

(資料來源：Rizhao Wanzefeng Fishery, Wang Xiaobin/China News Service)

- 美國：美國海洋大氣總署 (NOAA) 為推動外海養殖，已劃設密西哥灣 5 處海域及南加州灣 10 處海域作為示範區預定海域，並指導相關機構將離岸 25 哩之舊有海上油田轉型為外海養殖區。
- 日本正與挪威籍企業(Bergen-based Proximar Seafood)合作，於鄰近富士山下的地點 (距東京 2 小時車程)，興建 RAS 鮭魚養殖場，目前已開始動工興建養殖場，預計將於 2024 年量產首批鮭魚 5,300 公噸。
- 智利：智利 EcoSea 企業將投資美金 740 萬元，試驗銅製網衣及圓周 100 米可沉式箱網結構，期藉此減少生物附著問題，預期能減少 18%的作業成本。另正評估借鏡挪威 Havfarm 1 構造，研發搭載動力系統的船型結構箱網，並命名為海洋方舟 (Ocean Ark) ，長 170 米、寬 64 米，預期產能可達 4000 噸 (圖 7)。



圖 7 智利研發之新型箱網養殖

(資料來源：Ecosea, OATECH)

- 澳洲、汶萊、新加坡：新加坡也已著手與挪威企業洽談循環水養殖相關技術，目標於 2025 年先量產 1,000 噸鮭魚，最終達成 3,000 噸鮭魚之目標，期達成 90% 的進口替代。另 Barramundi 集團投入鱸魚的箱網養殖，預計能於 2026 年能達到年產量 7000 噸之目標，該集團的營運模式為在汶萊生產種苗、由新加坡提供技術進行場址評估，其後送到澳洲養殖。（因澳洲為台灣最大鱸魚消費國，後續發展是否影響我產業值得關注。）

(四)大型箱網飼料效率及海床影響之研究

- 近期研究觀察挪威養殖重心有北部移轉的趨勢，近十年，北部地區年產量成長近 80%，而中部地區僅成長約近 20%。經統計發現，北部 FCR(飼料換肉率) 較優，另經演算法計算鮭魚排放的無機物及有機物質，並比對海床環境調查報告，發現南部地區海床環境惡化的比例較高，而北部地區次之，中部地區最佳，此可能為吸引產業前往北部的可能原因 (如圖 8)。

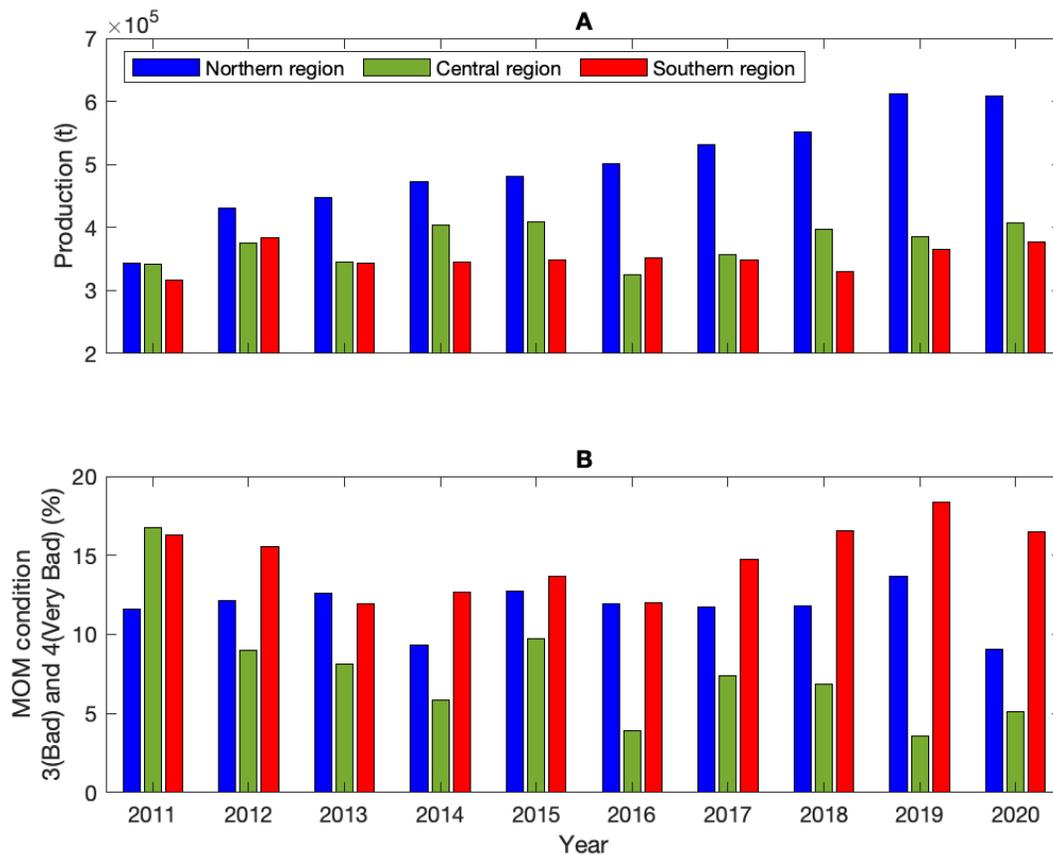


圖 8 2011 至 2020 年挪威箱網鮭魚統計 (A) 年產量 (B) 海床環境監測結果 (Directorate of Fisheries, 2021)

- 經分析相關數據發現，北部、中部與南部地區的成長率與攝食率皆呈現相似的季節變化，飼料換肉率(FCR)及成長率(SGR)與溫度呈顯著正相關，FCR 及 SGR 與溫度呈正相關性當溫度提升時，北部地區的成長幅度較大。此現象造成 FCR 由北部向南部遞增，達顯著差異，爰推測較佳的飼料轉換率可能為吸引產業朝北部地區發展的原因之一。至同一溫度卻造成北、中、南地區的成長率不同，經推測可能與光週期等其他因素有關（如圖 9）。

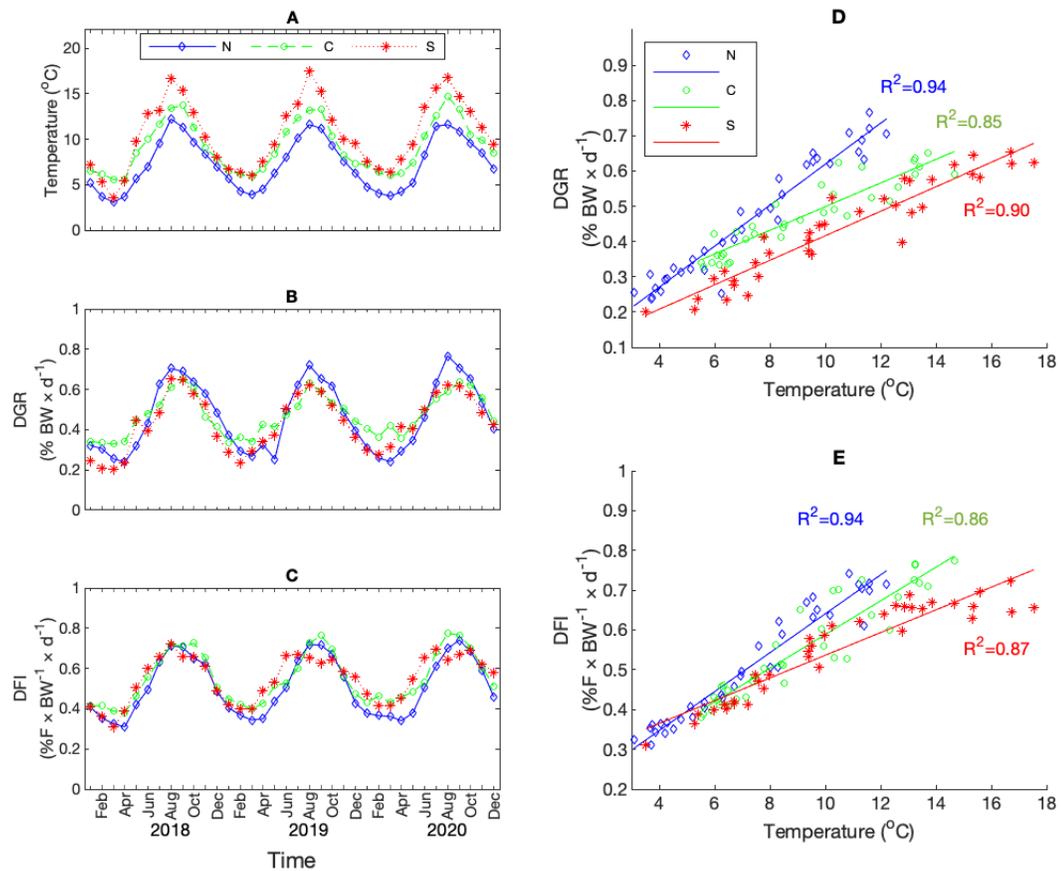


圖 9 2018–2020 年鮭魚成長率及攝食率的季節變化 (A) 水溫 (°C) (B) 日成長率 (Daily growth rate) (C) 日攝食率 (Daily feed intake relative to body weight) (D) 水溫與日成長率關聯 (E) 水溫與日攝食率關聯。S: 南部地區 C: 中部地區 N: 北部地區. BW: 於體重; d: 日數; F: 攝食量 (乾重)。

- 計算 POM (Particulate organic matter), DOM (Dissolved inorganic matter) 及 DIM (Dissolved inorganic matter) 的排放率，並細分為碳、氮、磷等元素，其結果發現，表層水與海床沈積物的氮磷比 (N/P ratio) 有極大差異，此差異是限制目前 IMTA 的主因之一，並可作為環境足跡，作為評估海床環境影響評估的指標 (如圖 10、圖 11)。

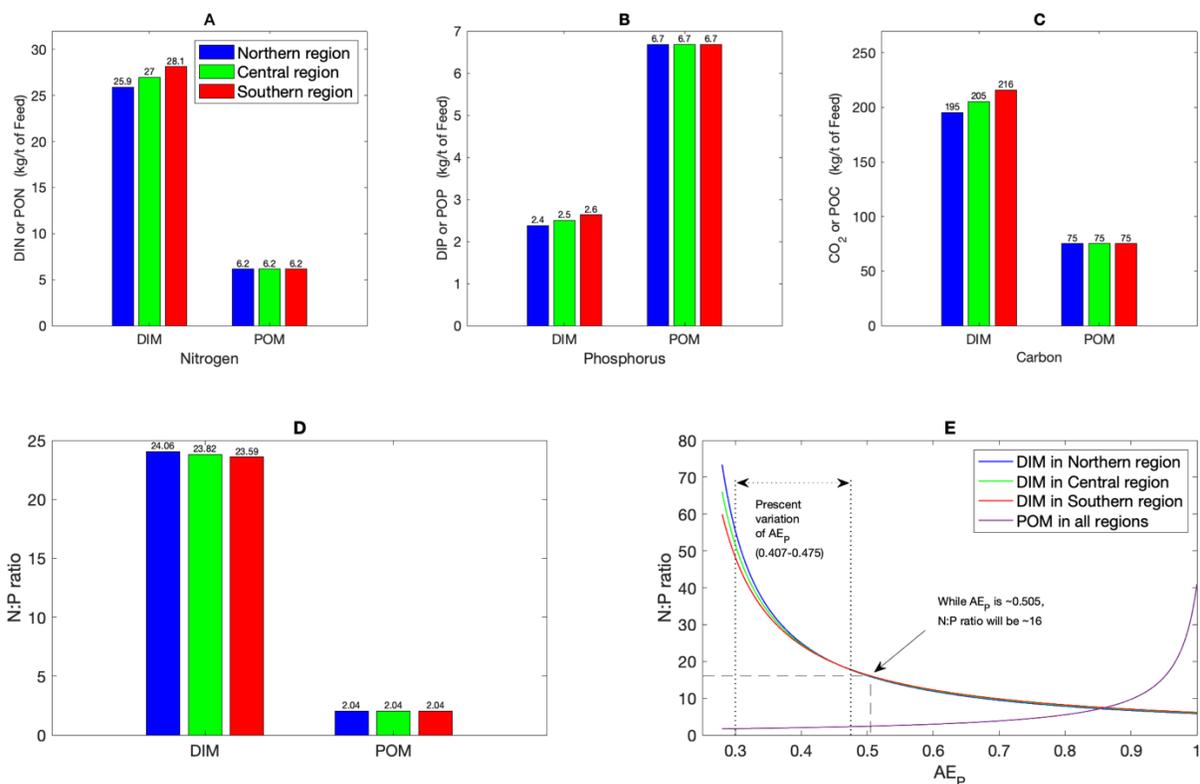


圖 10 挪威各地區鮭魚養殖的有機物質與無機鹽的排放率. (A) 氮; (B) 磷; (C) 碳; (D) DIM 與 POM 的氮磷比 (Assumed AE_p is 0.407); (E) 不同 AE_p 值對應之 DIM。DIM: 溶解性無機物值; POM: 顆粒性有機物質; AE_p : 磷的同化率

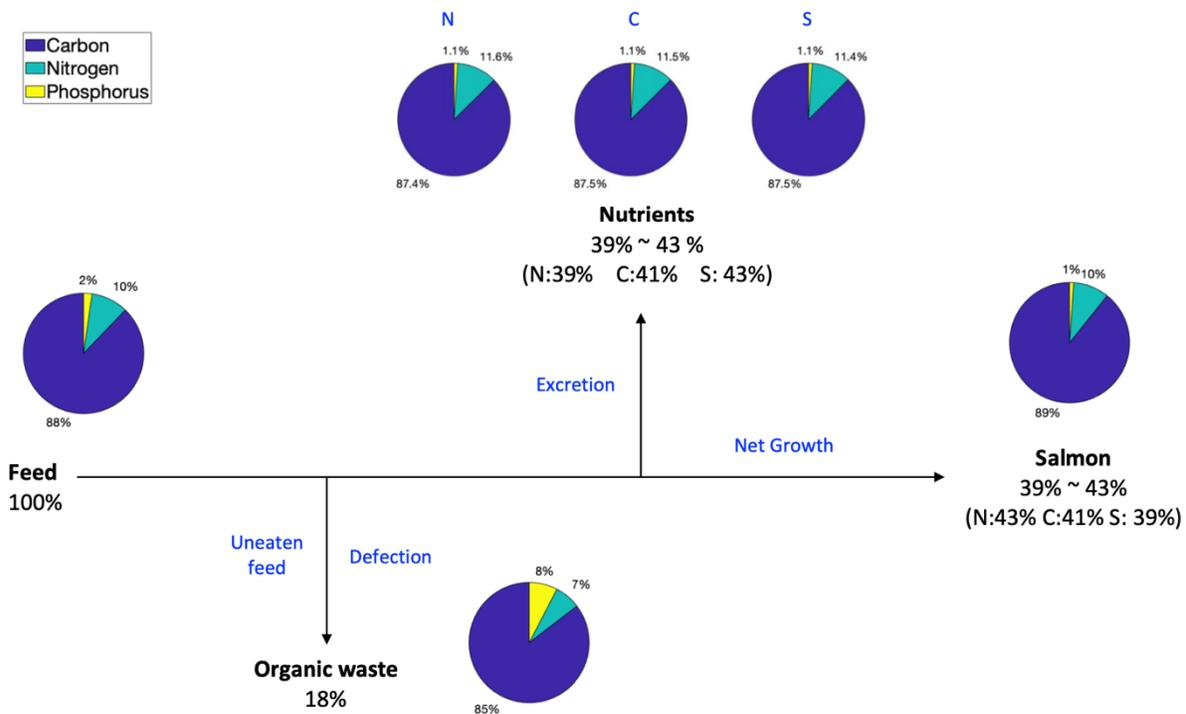


圖 11 各地區挪威養殖鮭魚碳、氮、磷的營養流

- 依近 10 年飼料投餵量，模擬分析個月別 POM 排放量，其結果發現夏季是排放量的高峰期，各地區的排放趨勢略有差異，此模擬資料可作為區域環境管理的參考資訊（如圖 12）。

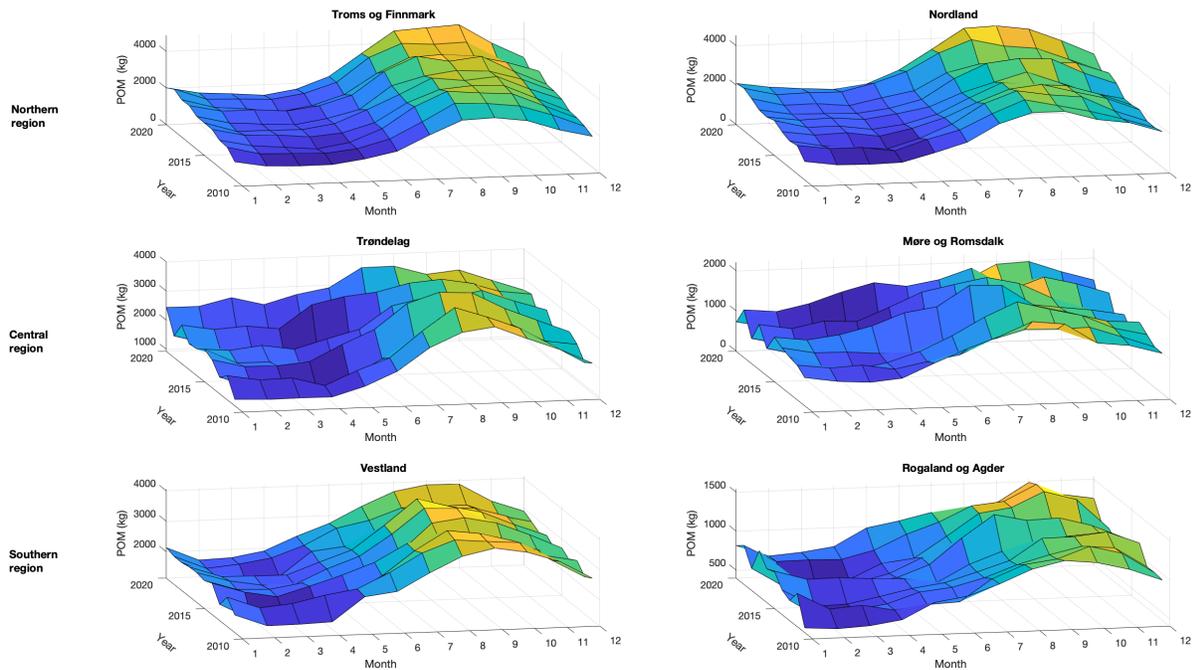


圖 12 近 10 年挪威各郡養殖鮭魚之顆粒性有機物的排放量

- 研究分析 2020 年挪威 NS 9410 法規，調查箱網養殖場的海床生態，統計結果顯示，北部區域與南部區域的海床生態有顯著差異，推測可能因物理環境差異影響鮭魚的 Assimilation efficiency，致有機物質及無機營養鹽有區域性之差異。（如圖 13）

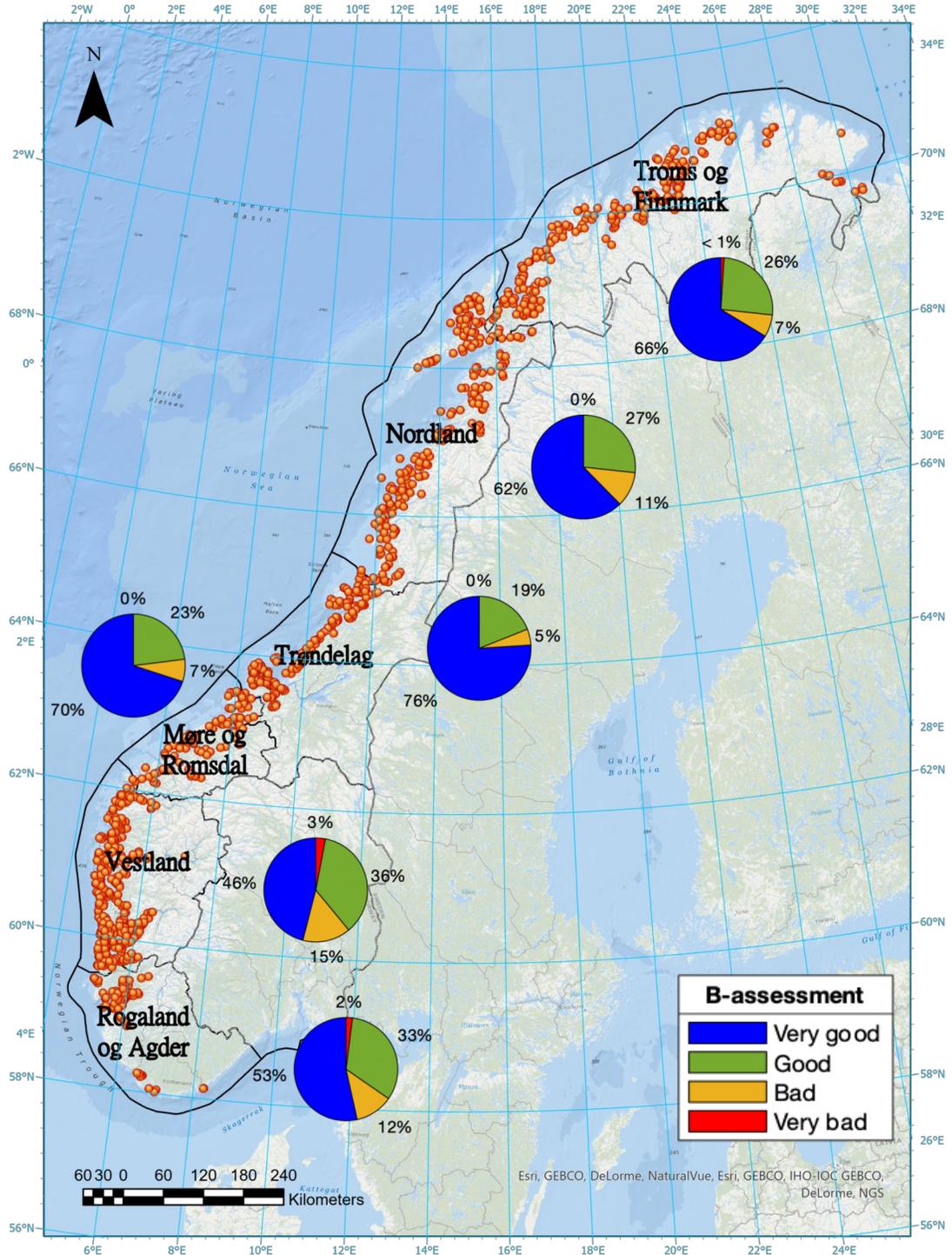


圖 13 2020 年挪威鮭魚養殖場的分佈與海床環境監測結果。

- 經追蹤 2016-2020 年對海床環境有不良影響的 379 個養殖場（評等 4 及評等 3），統計結果顯示，46% 評等 4 之養殖場可在 1 年內的監測可恢復至良好水準、72% 評等 3 之養殖場可恢復至良好水準，此結果可推測，養殖所造成環境影響，是可恢復的，但應即早監測，其恢復的成效較佳。
- 本研究亦針對北、中、南區的密集養殖區，就養殖密度與 NS9410 監測結果進行比對，其結果發現兩者間尚無明顯關聯性，此結果推測，各場域的環境負載率的歧異度可能相當大。另選定 10 個養殖場的 5 年歷史資料進行觀測，發現 NS9410 監測結果會隨著 Biomass 消長而波動，此結果再次確認調整養殖模式有助於改善海床環境。（如圖 14）

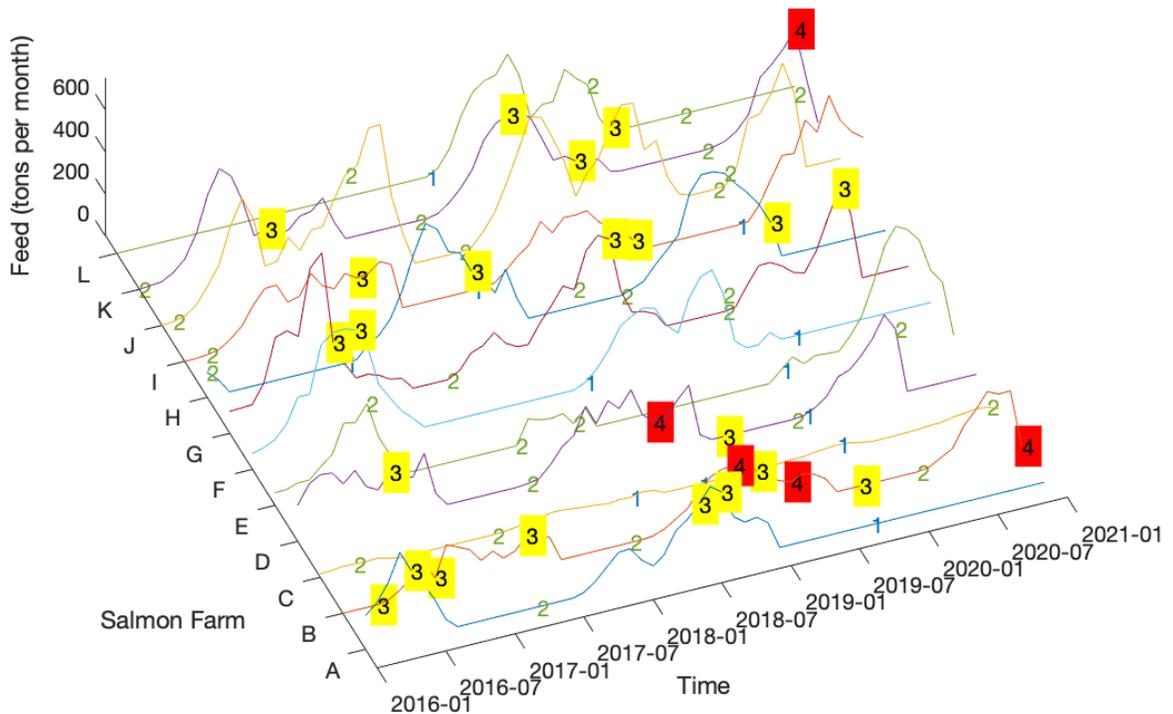


圖 14 2016 年至 2020 年 12 處鮭魚養殖場的海床環境監測結果。數值說名: 1 (極佳), 2 (佳), 3 (差) and 4 (極差).

- 經比對挪威某峽灣內所有箱網養殖場的 B-assessment 監測報告，當環境變化時，pH、Eh、底質顏色、產氣情形等化學特性之變化情形，程度高度相關的變化趨勢，爰推論該等參數能切實的反應海床的生態情形（如圖 15）。

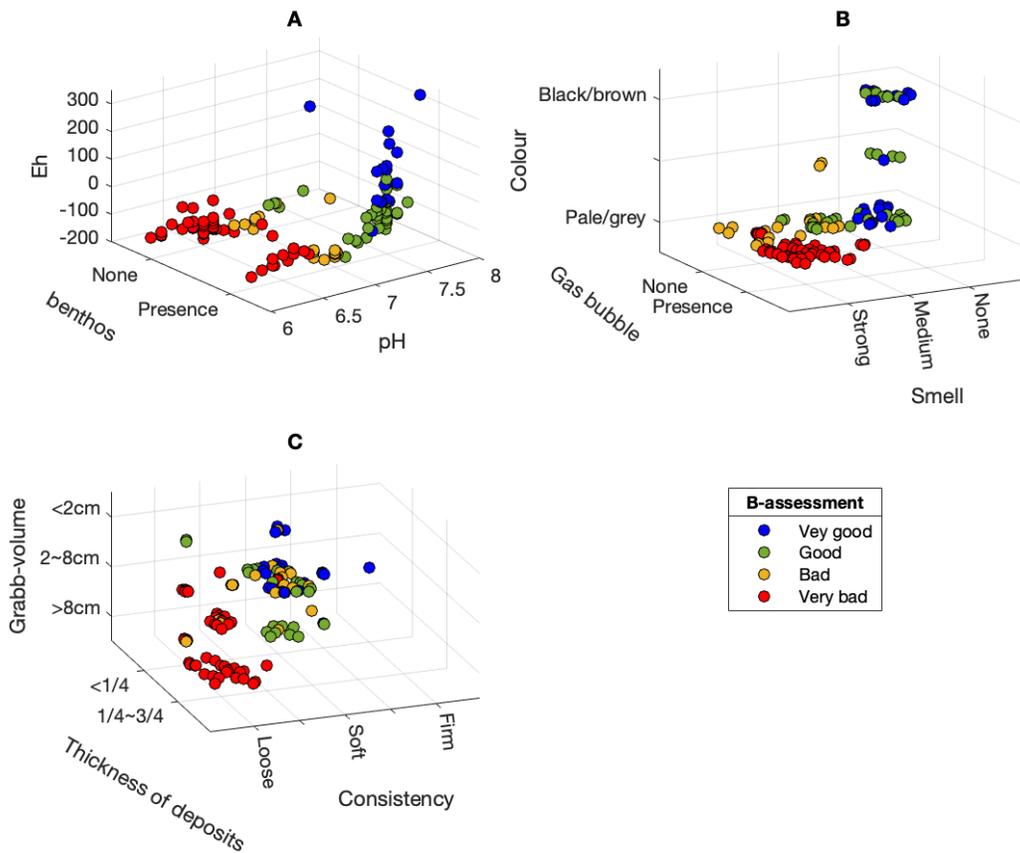


圖 15 海床環境影響評估使用之參數分析

- 為研究更細微的生態變化，本研究選定中挪威一處箱網養殖場作為研究對象，該場過去 5 年連續 b-assessment 監測結果皆為最佳的養殖場，分析其 C-assessment 的底棲生物族群（含 abundance 及 richness）的時空分佈，期間共發現 252 種底棲生物，並依 Ecological sensitivity 分類，其結果顯示各採樣點生態指標與距養殖場距離程梯度變化關係，且隨著養殖作業的時間改變，此變化趨勢可作為了解海床生態系受箱網養殖影響程度，可進一步供養殖產業預測近期可能發生之變化，以調整養殖作業模式，避免海床發生難以恢復之改變（如表 2、圖 16、圖 17）。

表2 海床底棲生物之物種多樣性及族群豐度。採樣點A位於養殖場邊緣，採樣點C及E分別位於距養殖場下游（依洋流方向）的230公尺及470公尺處。

Location	Taxa	2017		2018		2020	
A	<i>Ophryotrocha sp.</i>	8,252	63%	7,675	68%	285	51%
	<i>Tubificoides benedii</i>	2,072	16%		0%	99	18%
	<i>Nematoda</i>	1,866	14%	2,000	18%		0%
	<i>Capitella capitata</i>	701	5%	898	8%	124	22%
	Major taxa (3)	12,891	99%	10,573	94%	508	91%
	Total taxa (44)	13,040	100%	11,275		557	100%
C	<i>Ophryotrocha sp.</i>	2,302	36%	2,074	29%	258	10%
	<i>Tubificoides benedii</i>	2,199	35%	0	0%	1,567	63%
	<i>Nematoda</i>	900	14%	1,000	14%	0	0%
	<i>Cirratulus cirratus</i>	96	2%	51	1%	257	10%
	<i>Capitella capitata</i>	39	1%	1,858	26%	145	6%
	<i>Tubificoides</i>	0	0%	1,529	21%	0	0%
	Major taxa (7)	5,536	87%	6,512	91%	2,277	89%
Total taxa (125)	6,356	100%	7,123		2,495	100%	
E	<i>Protodorvillea kefersteini</i>	154	16%		0%	798	30%
	<i>Oligochaeta</i>	109	11%		0%	32	1%
	<i>Sphaerosyllis hystrix</i>	62	7%		0%	178	7%
	<i>Syllis cornuta</i>	54	6%	21	1%	117	4%
	<i>Owenia borealis</i>	41	4%		0%	9	0%
	<i>Nematoda</i>	41	4%	200	13%		0%
	<i>Cirratulus cirratus</i>	40	4%	61	4%	147	5%
	<i>Scoloplos armiger</i>	38	4%		0%	39	1%
	<i>Mediomastus fragilis</i>	38	4%		0%	35	1%
	<i>Nemertea</i>	37	4%	64	4%	9	0%
	<i>Jasmineira sp.</i>	29	3%	7	0%	52	2%
	<i>Ophryotrocha sp.</i>	4	0%	478	31%	113	4%
	Major taxa (12)	647	68%	831	53%	1529	57%
Total taxa (200)	952	100%	1,564		2,691	100%	

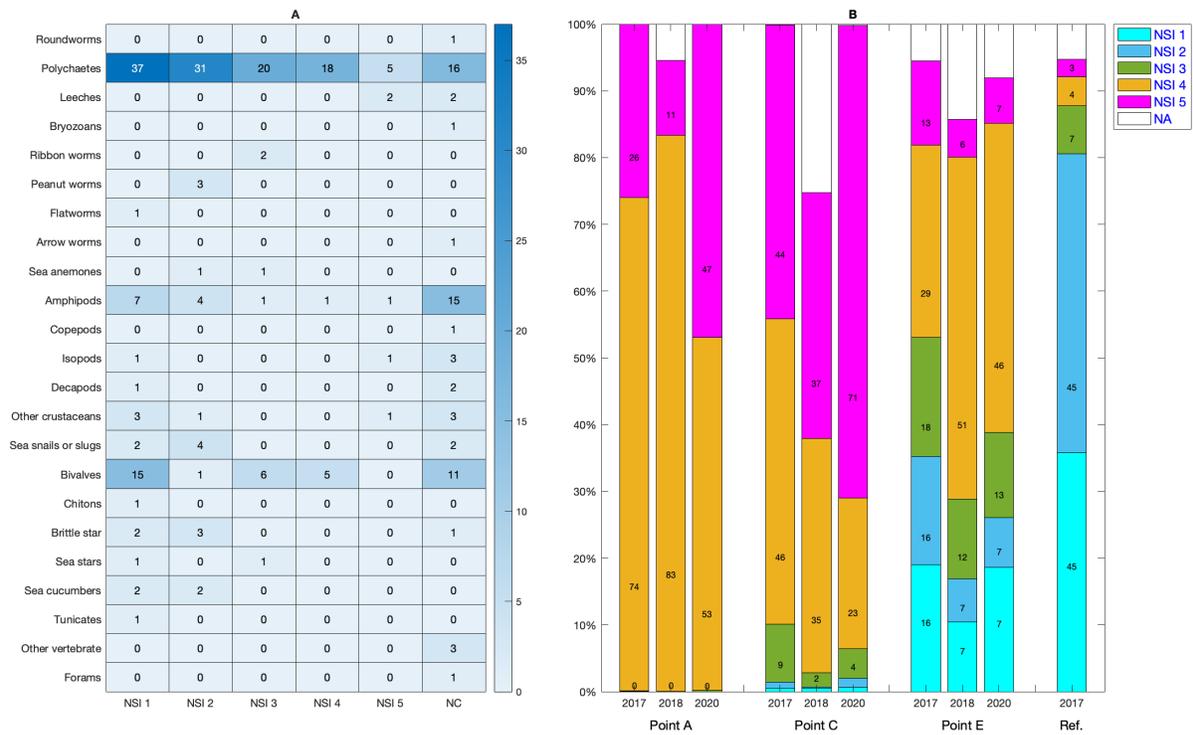


圖 16 不同採樣點底棲生物物種分類及生態分類 (依Norwegian Sensitivity Index的生態分類) NSI 1: sensitive species, NSI 2: indifferent species, NSI 3: tolerant species, NSI 4: opportunistic species, NSI5: pollution indicating species.

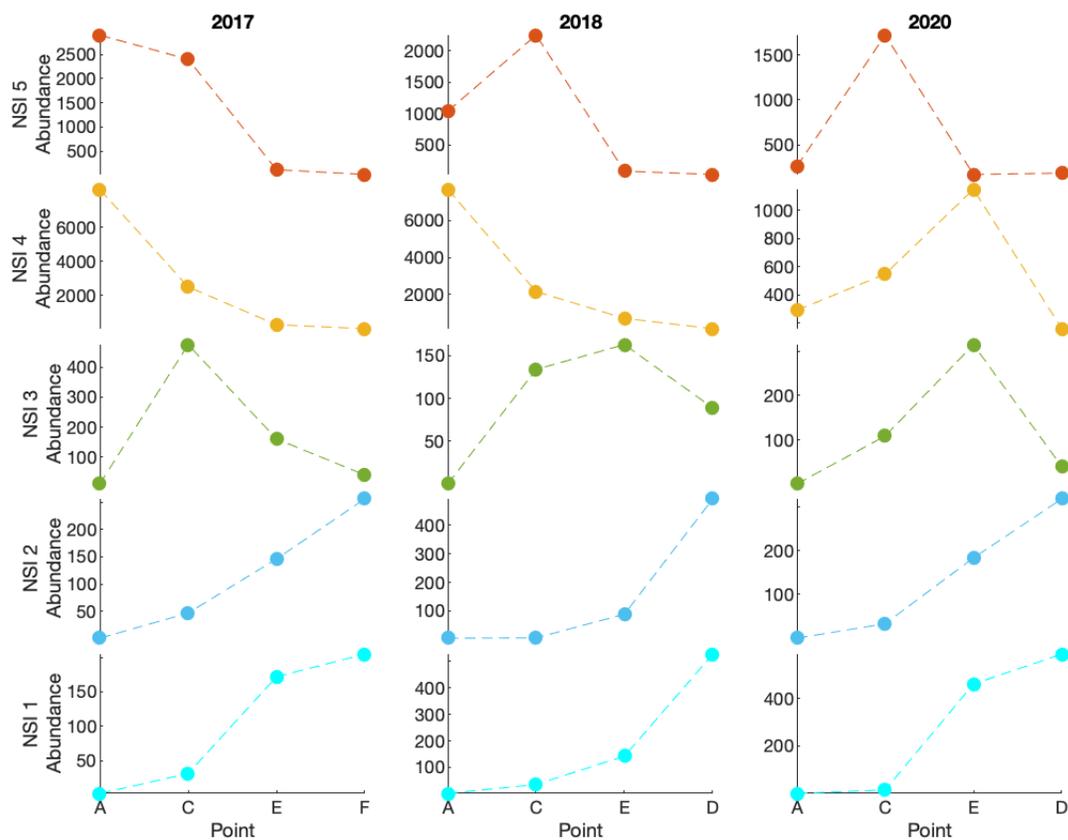


圖 17 不同生態群的底棲生物之時空變化。採樣點A位於養殖場邊緣，採樣點C及 E 分別位於距養殖場下游（依洋流方向）的230公尺及470公尺處。採樣點 F 是環境背景考，位於距養殖場1.8公里處。

四、心得與建議

(一) 心得

1. 感謝服務機關及農委會提供本次進修之機會，盼未來能回饋所學，應用於箱網養殖之研發及生產技術，促進國際及跨領域交流，並結合臺灣養殖產之特色，發展符合我國環境及產業結構之箱網產業。
2. 挪威科技大學之課程要求嚴謹，課後仍需參與分組討論及學術文獻研習，期末筆試採匿名線上作答，並集中安排至大學附設的考試中心進行，需投入較多時間研修，且相關研究計畫多屬產業需求導向，故需了解產業實務運作情形。
3. 挪威養殖產業制度健全，歷年來透由多方管道搜集完整且連續性的監測資料，如按月統計放樣量、收穫量、逃逸量、死亡量、疫病擴散監測等數據，可多供多面剖析，具研究價值，且因相關資料真實性高，故相關研究成果，能切實反映產業之現況，並有利促進研發成果產業化。
4. 因應資訊化時代，學術研究重心也隨之改變中，目前許多基礎資料的監測已漸漸委由傳感器自動化取得，但數據也因此變得更龐大複雜，迫切需要人才進行數據解析，因此許多研究工作，需具備撰寫程式語言及 GIS 軟體（如 R、Matlab 或 Python 及 ArcGIS 等工具），建立模組化的機制，以快速解析資料，並視覺化呈現研究結果。
5. 依現階段研究顯示，箱網養殖確實會對海床生態造成不同程度之影響，因箱網養殖是在立體空間進行，而海床屬平面空間，因此養殖生物對海床生態的影響會隨著養殖規模及養殖效率等比放大，尤其在發展大規模的外海箱網養殖，必須事前蒐集相關實際案例之參數，透過演算法，模擬不同情境下生態影響程度，此模式在外海箱網更為重要，能在實際養殖前，作各種情境的推演分析，以避免造成對環境不可逆的影響及經濟損失。基此，挪威推動之 NS9410 制度，能即時在風險最高的期間（即 Biomass 最大值時），監測海床環境，如有超出環境負荷徵兆時，透由減低放養配額、提高監測頻率等措施，能防止生態持續惡化，致影響生態功能及經濟損失。
6. 挪威養殖漁業發展歷程呈穩定成長趨勢，近年雖有其他競爭國，但挪威近 3 年鮭魚出口年成長率仍維持 3% 以上，其因為挪威有嚴格的放養管控制度，加上企業型態的結構，有利相關監控制度的落實，另挪威養殖企業多為上市公司，並吸引外資投資，其利益共享制度，有助吸引市場國參與，穩固外銷市場。

7. 回顧挪威箱網養殖發展歷程，曾經歷許多危機，如魚病危機、進口水產品價格競爭、勞動力短缺、環保團體質疑等議題，但藉由完善的法規制度及政策引導，持續轉型創新，也促進養殖產業從傳統較仰賴政府保護型的產業轉為外銷競爭型產業，許多創新科技是建立在政策連貫性與跨域整合的長年努力，讓學術累積的成果能應用至產業，同時政府致力於建立制度，要求企業應回饋數據，並建立公開透明的資訊平台，在不侵害個資及智慧財產權前提下，儘可能公開數據，讓學界受惠產業創新之成果，同時促進公眾監督，並吸引多元領域專家之投入，促進產業更精進升級。儘管如此，挪威目前仍持續面臨新的挑戰，如日趨嚴格的環境議題、極端氣候、成本價格競爭優勢遭市場國質疑等各方壓力。此外，雖挪威現行養殖科技、制度皆已相當成熟，但仍積極投入研發，滾動檢討調整相關制度，廣納各界專家投入，以追求創新永續，相關推動經驗及精神值得作為政策參考。
8. 推動外海箱網是近年挪威、加拿大等國的發展趨勢，為克服外海作業的高成本，往往會擴增箱網結構規格，以利集中化、自動化管理，因而衍生環境影響疑慮，故相關國家研發外海箱網同時，亦規範產業有定期監測環境之義務，惟過去尚無外海大型箱網的實測記錄，故須多方蒐集相關文獻，了解理論值的演算方法，並在不同環境及養殖環境校正，始能提升預測的精準度。

(二) 建議

1. 挪威目前典型箱網之規格為圓周 160 米，深度 20-50 米，平均每口箱網之產量約 500 ~1,000 公噸，此規格已產業化逾 20 餘年，故過去累積推動經驗、遭逢問題、政策法規，皆可作為我國當前發展外海箱網養殖的參考案例。而挪威新一代箱網，如 Ocean Farm 1 等，其單作設施之年產量可達 6,000 公噸以上，該公司已完成第二個生產週期，並於獲挪威漁業署同意轉換執照，由「研發執照」轉換為「商業執照」，而該公司已更進一步設計容積倍增的大型箱網（Smart Fish Farm），其年產量可達 12,000 公噸，並可對抗浪高 30 米之極端海況。我國自 107 年起亦投入外海箱之研究計畫，採用國產研發製造箱網結構（約圓周 100 米），雖尚不及挪威現行典型箱網，但仍明顯大於我國產業普遍使用之箱網設施。因此，挪威現行產業運作模式，恰能符合我國當前推動外海箱網之參考，並應適時促進資訊交流，持續關注挪威及各國發展新一代新型箱網的運作情形。

2. 挪威養殖科技先進，且制度完善，其高度自動化之設備，造就每名養殖業者的平均年產量高達 165 公噸、產值新臺幣 3,000 萬元，其高效率、高精準養殖科技，促使鮭魚生產成本可降低至挪威克朗 38/Kg(折合新台幣 120 元/公斤)，養殖結構促使產業能立足於北歐高所得的環境，並持續成長，其經營管理理念與新科技亦跨海輸出至智利、英國、加拿大等國，經營全球版圖。對照我國養殖產業，在 1995 年以前之年產量雖領先於挪威，但受水土環境限制，產量無法大幅增長，而近年又受漁業人口老化、國際市場競爭、極端氣候等衝擊，致產量向下波動，故挪威的轉型歷程、制度與創新科技皆可作為我國當前產業輔導之參考。
3. 推動海洋箱網養殖乃當前各國重要發展趨勢，如美國於 2020 年 5 月由總統簽署行政命令，由海洋大氣總署 (NOAA) 投入外海養殖計畫，並訂於於 6 年內完成 10 個外海養殖示範區；另日本水產廳 2020 年 7 月發布「養殖業成長產業化總和發戰略」將發展大型箱網列動點項目，並與挪威企業合作推動自動化科技；另中國亦仿效挪威，於 2018 年斥資人民幣 1 億元建造圓周 180 米之鋼鐵結構箱網。基此，建議我國應及時掌握國際新趨勢，並研析適用我國環境及產業結構之可行性。
4. 綜觀全球趨勢，許多國家包括挪威、加拿大、美國、澳洲、智利、中國等國皆重視海外養殖，另相關國際級大型企業亦透由策略聯盟，深化合作夥伴關係，加速促進新科技進一步商業化，並結合大數據、AI、IoT 等創新科技，以達節約勞力及永續得目標。雖依目前觀察，新型箱網的新創構想雖多，但最後成功的僅佔少數，探究其原因，箱網成功的要素，並非僅在於結構體，尚包括許多軟硬體及生物科技，需建立制度及合作交流平台，並透過數據累積及優化，始能達成機器學習的效益。建議應持續搜集相關資訊，廣泛搜集並深入分析，他國研發創新之案例及成敗因素，並視時引進新科技，促進跨域整合，作為我國政策推動及科技研發之基石。
5. 近年國際各國外海箱網的研發創新趨勢，各國正加速研發創新，企業正快速擴大資本，並尋求跨國際、跨領域合作，發展智慧化經營的養殖場，由此可推論，目前養殖水產品應仍具市場商機，同時也可預期，未來無論內、外銷市場將面臨更嚴峻之競爭，雖我國產業結構與挪威有別，但水產品屬貿易高度活絡之商品，國人經營國內、外市場，預期可能遭逢日益漸增之國際競爭，爰此，養殖產業需培植洞悉國際產業、科技創新、市場商機的人才，以掌握國際趨勢，並促進產業進一步升級。