

海底地震觀測系統諮詢研究

李昭興¹ 許樹坤²

1 國立臺灣海洋大學應用地球科學研究所

2 國立中央大學地球物理研究所

郭鎧紋 陳信文

中央氣象局地震測報中心

摘要

台灣東部海底電纜觀測系統(MACHO 計畫)的詳細建置已經在今年由日本 NEC 公司提出，並且也展開第一次的教育訓練。NEC 預定 2011 年 3 月開始佈設海纜。它是台灣陸上地震及海嘯監測網向外延伸的第一步，其建立的成效有助於評估未來進一步利用海纜作為海嘯預警和海洋科學觀測系統的效益。加拿大 NEPTUNE 海纜觀測系統在 2009 年正式完工後，百分之九十以上的海底儀器都已經測試成功，並且開始收集觀測資料。台灣為了吸取國外的經驗，也正式由中央大學與日本海洋科技中心簽署合作備忘錄，成為「國際海底電纜協會」的會員國之一，以發展海底電纜長期監測海洋的新興科學。由於台灣的地震有百分之七十以上發生在台灣的海域，現有台灣島上的地震站作為海域的地震觀測顯然能力不足，借重國外經驗建設海底電纜觀測系統可以彌補陸上觀測站的不足，以達成地震及海嘯等自然災害的海陸完整觀測網建置。其結果可以作為有效的地震及海嘯預警。然而台灣東部海域海底觀測系統建置必須有系統建置步驟和有效的諮詢，才能成功建置作為有效近距離獲得較正確的海域地震訊息，提供即時的預警效果，減少地震及海嘯等自然災害對我國經濟建設造成破壞或人員傷亡，為順利達成此目標，本計畫預期借助國內外專家的力量齊力協助第一期 45 公里電纜的順利完成，並且宣導纜線觀測系統的目的和科學意義。希望未來繼續對海底電纜的延伸和海洋觀測儀的增加，以達到「比地震早 10 秒告知民眾，比海嘯早 10 分預警，以方便民眾逃生」的預警功能，並發展全面性的「海洋觀測學」。

壹、前言

近20年來，因為電信傳輸的發達，幾乎95%以上的通訊都是依賴海底電纜。特別是近年來海底光纖的發展(精準、速度快、維護容易、使用年限長)，也帶動了海洋學者深入海底做近距離觀測和全天候監測的「海底觀測學-Sea-floor Observatory Science」(Favali et al., 2010)。特別是因為海底地震/海嘯的防災目的，許多先進的國家逐漸地在推動和策劃以海底電纜為主軸的海底觀測網路。其中包括加拿大的NEPTUNE (North East Pacific Time-series Underwater Networked Experiment)和VENUS (Victoria Experimental Network Under the Sea)，美國的OOI (Ocean Observatory Initiative)和RSN (Regional Scale Nodes)，日本的DONET (Dense Oceanfloor Network)，歐盟的ESONET (European Sea Observatory Network)，和台灣的MACHO (MARine Cable Hosted Observatory)。中國和南韓也有類似的海底觀測電纜的建置。在以上的諸多擁有海底電纜的國家中，以加拿大NEPTUNE是目前最完整的海底電纜觀測系統(圖1)。電纜全長大約800公里，共有5個主要水下觀測站，水深從100-2700公尺。由University of Victoria為主導，聯合加拿大境內12間大學共同維護、研究和分析海底電纜傳輸來的龐大資料。陸上實驗站設有30位專職的科學家和工程師在日夜維護海底電纜的順暢傳輸。全線於2009年完成，並且也成功地預警2009年9月30日在南太平洋薩摩亞發生的規模8.0及海嘯傳播到加拿大的正確時間。而日本則是建立海底電纜觀測最久的國家，從1978年就開始在日本海邊建置短的海底電纜(我們知道共有7條)。但近年來因為地震與海嘯的關係，開始建立真正為預警地震/海嘯的專用海底電纜DONET(圖2)。介於日本本州與四國的邊界，近200年來發生了幾次規模8.0以上的大地震，其中主要的以Tokai(東海)、Tonankai(東南海)和南海(Nankai)3個的地震起源區為日本未來可能發生下一個大地震的預測地區。因此日本地球科學界不但上下推動地震的預報和海嘯的預警(DONET)，同時也急急建造IODP(Integrate Ocean Drilling Program)的深海鑽井船「地球號」。希望鑽透地下7公里，達到地震起源區，以瞭解地震的特性/起因和地質構造。DONET的主要目的就是要深入瞭解Tonankai地區的全天候地震/地質活動，希望在地震的20秒前和海嘯的20分前，掌握信息，以達到預警的目的。日本的DONET和加拿大NEPTUNE都是我國要急起直追的目標。

我國的MACHO海底電纜，全名為台灣東部電纜觀測系統。它建置的主要目的也是要預警地震/海嘯。台灣位於琉球隱沒帶和馬尼拉隱沒帶之間，屬於不穩定的環太平洋地震帶的一環，活動板塊的聚合產生無數的地震。地震如果發生在陸上，造成地殼破裂，可以直接造成建築物損毀及人員受傷，如果地震發生在海下則可能引發巨大的海嘯，如同2004年12月26日巽他（Sunda）隱沒帶（蘇門達臘外海）的規模9.0地震所引發大的南亞海嘯，其結果除了財物的損失外也造成了27多萬的人口死亡。它的餘震，甚至都有可能持續到今天(2010年10月26日Padang地震規模7.7和海嘯)。2004年到現在，幾乎每年全球各地都有發生海嘯(例如2006年庫頁島海嘯、2006年台灣屏東海嘯、2009年南太平洋薩摩亞海嘯和2010年的智利海嘯)。事實上，琉球隱沒帶與巽他隱沒帶有類似的地體構造環境(Hsu and Sibuet, 2005)，而鄰近台灣的石垣島也曾經在1771年有30公尺高的海嘯紀錄(Matsumoto et. al., 2005)。台灣過去發生的災害地震，其震源不僅在陸地上，更有高達百分七十以上的震源廣泛地分佈在海域。地震主要集中在四個區域：琉球隱沒帶、馬尼拉隱沒帶、沖繩海槽弧後擴張中心及台灣東部呂宋島弧碰撞帶。由於台灣的地震測站大多集中在台灣本島，現階段對於海域地震震源的位置定位往往不太正確，無法在更接近震源的地方以獲得更正確的地震資訊，相對地我們對於海底地震可能產生的災害應變能力則明顯降低。為了瞭解隱沒帶可能的孕震機制，也為了提高我國海底地震、海嘯及火山的監測能力，更為提高我國天然災害的預警應變能力，所以氣象局規劃利用海底電纜線建置台灣東部海域的海底觀測系統是必需的。為達成此一目的，我們必須借助國內外專家的力量，以協助各項海底電纜建置計畫的順利完成，它包括路徑調查、制定審查、計畫執行和民眾宣導。有了這些國內外專家的協助不但可以有效率，而且更可以順利地幫助氣象局完成此一東部海域海嘯觀測系統的建置和觀測。此乃本計畫之中心目標。

貳、提供MACHO海底電纜計畫之各項諮詢工作

今年台灣東部海域電纜觀測系統建置諮詢研究，將有以下的七項工作：

1. 提供諮詢

根據 NEC 的建置計畫書，本計畫及其他國內諮詢委員們將分為以下方式

進行:

- (1) 詳細審查 NEC 建置計畫，並分別以各自的專長，提供諮詢建議，以利未來工作的進行。
- (2) 鼓勵年青學者及研究生/研究助理參加 NEC 提供的各類教育訓練。第一次教育訓練已在 4 月 20-22 日順利地完成，參加的人極為踴躍。今後還會有其他的教育訓練。
- (3) 在 NEC 海底纜線的設計與製造過程中，提供諮詢建議。此項諮詢建議將針對不同的項目，邀請不同的專長來進行。
- (4) 在 NEC 海洋儀器的設計與製造過程中，提供專業建議。本項工作，預計會在今年 12 月前協助完成。

2. 協助審查建置案的施工計畫及監督海底電纜的鋪設

根據 NEC 的建置計畫書，海纜工程的設計將在今年完成，然後明年 3 月開始鋪設電纜。本計畫將配合協助以上的工作事項。

3. 協助設計陸上展示中心

氣象局已經向頭城中華電信中心租下一層樓的 MACHO 海纜陸上工作站及未來的對外展示中心。本計畫將與氣象局研討展示中心的需求，並且提出建議。

4. 協助宣導與規劃有關海底電纜觀測之相關議題

MACHO 計畫本來在中央大學下設有一網站，自從去年交給氣象局後，已經研議要在海底電纜的鋪設工程進行中，繼續網站的維護，其主要目的仍為計畫做民眾之查詢和宣傳。為了幫助氣象局宣導 MACHO 海纜計畫的功用，我們也曾在 3 月中，教育部地球科學基礎教育推動科學中心的協助下，辦理全國高中地科老師研習營(於台中科學博物館)，並宣傳計畫的進行。今年 9 月在台北科技大學也有類似的宣導。

5. 協助收集有關海底電纜的最新技術

2009 年 10 月在美國密西西比州 Biloxi 召開的“Oceans 2009”的國際會議中，加拿大 NEPTUNE 計畫總主持人 Prof.Chris Barnes 宣佈加拿大海纜已經成功地監測到 9 月 30 日發生在南太平洋島國薩摩亞的海嘯，並且針對海嘯做了必要的預警措施。這也是未來 MACHO 計畫延伸後的主要目的。2010 年 8 月在澳洲雪梨召往開的“Oceans 2010”國際會議中，展示很多新型的 ROV(Remotely Operated Vehicle)和 AGV(Autonomous Underwater Vehicle)。這些都是未來維護海底電纜很重要的工具。我國因為新研究船(海研五號)正在建造中，尚未觸及 ROV 和 AUV 的新技術。建議未來氣象局能與國家實驗研究院海科中心討論有關此項新儀器的引進和使用，以便未來海底電纜之維護。另未來海底觀測站的 Nodes 上還有空餘的能量可以提供海科中心和國內海洋界的共同使用，宜列入未來合作之議題，以發展其他項目的科學議題。

加拿大 NEPTUNE 的海纜計畫除了海嘯預警外，其他科學議題包括：

- (1) 地震與板塊 (earthquakes and plate tectonics)
- (2) 海床底下的熱液活動 (fluid flow in the seabed)
- (3) 海洋運作與氣候變遷 (marine processes and climate change)
- (4) 深海生態系統 (deep-sea ecosystems)
- (5) 海洋工程和資料管理 (engineering and data management)

未來我們在協助 MACHO 的計畫，也將採取相同步驟，但針對我們台灣獨特的相關科學議題。

6. 加強國際海底電纜伙伴之交流

國際上較知名的海纜計畫，例如美國和加拿大的 NEPTUNE、日本的 DONET 和歐盟的 ESONET 及其主要的負責人通常都會參加類似 AUG、和 OCEANS 的國際會議中，交換研究的成果和心得。我們建議氣象局應經常派人參加以上的會議，以增加交流之機會。

7. 海底電纜觀測站的推廣與應用

綜合各國對於海底電纜的推廣，它可以延伸許多的用途((Favali et

al., 2010; 圖 3)。也因此「海底觀測學」的應用，它可以包括：

(1) 海洋科學

- 地震監測
- 海嘯監測
- 海底火山監測
- 海床隱定性
- 海洋氣候觀測與追蹤
- 海洋保護區的維護
- 海洋法公約上權力的維護
- 海洋多樣性的調查

(2) 海洋資源

- 漁業資源
- 石油和天然氣
- 天然氣水合物
- 海洋重金屬礦物

(3) 防災與救難

- 地震與海嘯預警
- 海底火山爆發預警
- 氣候變遷
- 紅潮預警
- 油污與污染物之防治
- 海洋動物保護

(4) 海洋安全

- 海洋運輸
- 水中聲學
- 水下技術發展

- 港灣安全

- (5) 海洋經濟效益
 - 海洋工業之發展
 - 海底電纜之發展
 - 海洋新儀器之發展

- (6) 海洋教育與公共傳播
 - 瞬時資訊之獲取
 - 全天候海洋資料之收集
 - 將海洋現況及變化即時帶入教室
 - 全民海洋教育。

參、結論

台灣東部海底電纜的建置可以很明顯地提升我國對自然環境的觀測能力，此諮詢研究預期可以完成下列工作項目：

1. 提供制定東部海纜觀測系統建置的各項諮詢工作。
2. 協助審查東部海纜觀測系統建置案廠商施工計畫。
3. 協助東部海纜觀測系統建置案成果與驗收。
4. 頭城陸上站電纜觀測系統展示中心設計規劃與協助建置。
5. MACHO計畫宣導及未來有關海底電纜相關科學之推動。
6. 加強國際海底電纜伙伴之聯繫。

此計畫的預期成果及效益為：

1. 順利協助台灣東部海域海底電纜觀測系統的建置可以有效提高台灣現有地震觀測網的有效涵蓋範圍，以獲更正確的地震資訊。
2. 順利協助海纜觀測計畫成功進行，可以有效的地震資訊以及更有效率的地震預警工作，以減少自然災害損失。

3. 確保海底電纜觀測系統的建置成功也作為海嘯預警的功用，以減少自然災害損失。
4. 確保海底電纜觀測系統的建置可以作為多功能的科學研究工具，提昇國內地球科學的研究。
5. 有效開拓MACHO海底電纜線觀測系統的宣導，使得國內外知道我國在地震及海嘯監測系統的貢獻。
6. 增加國人地震及海嘯預防的相關知識。
7. 協助中央氣象局推廣「海洋觀測學」在科學上的應用。

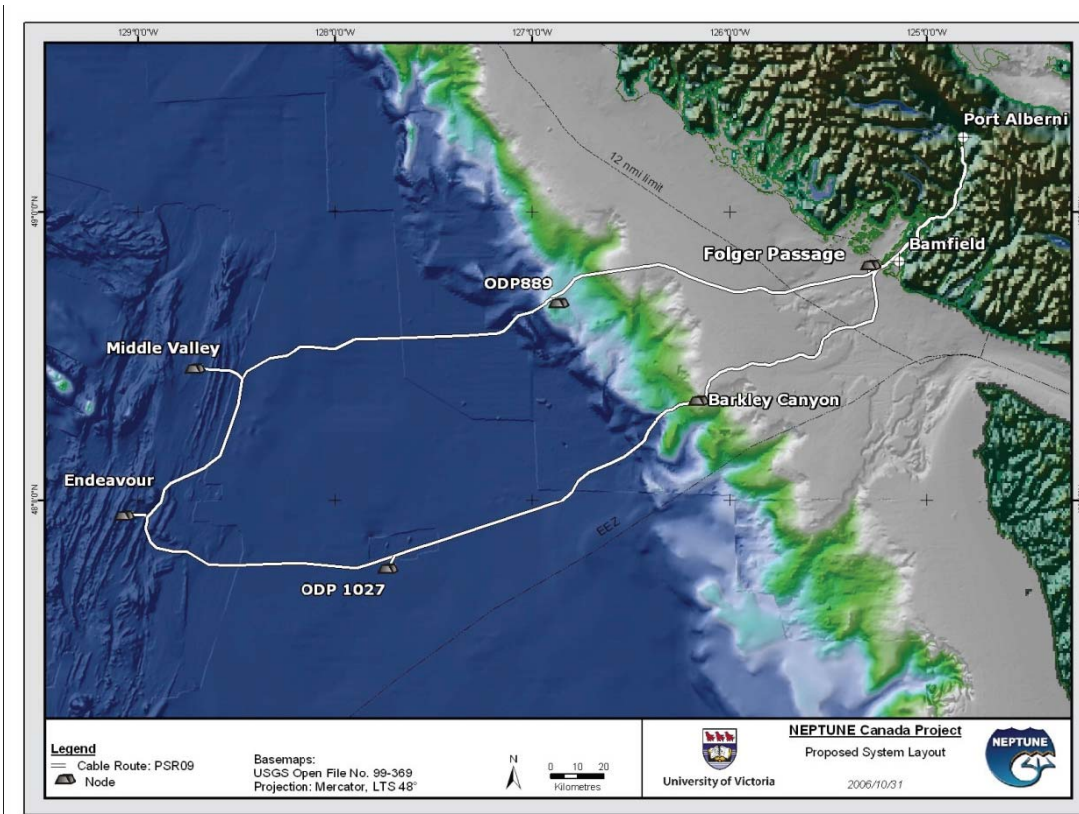


圖1 加拿大NEPTUNE海底電纜分佈圖。

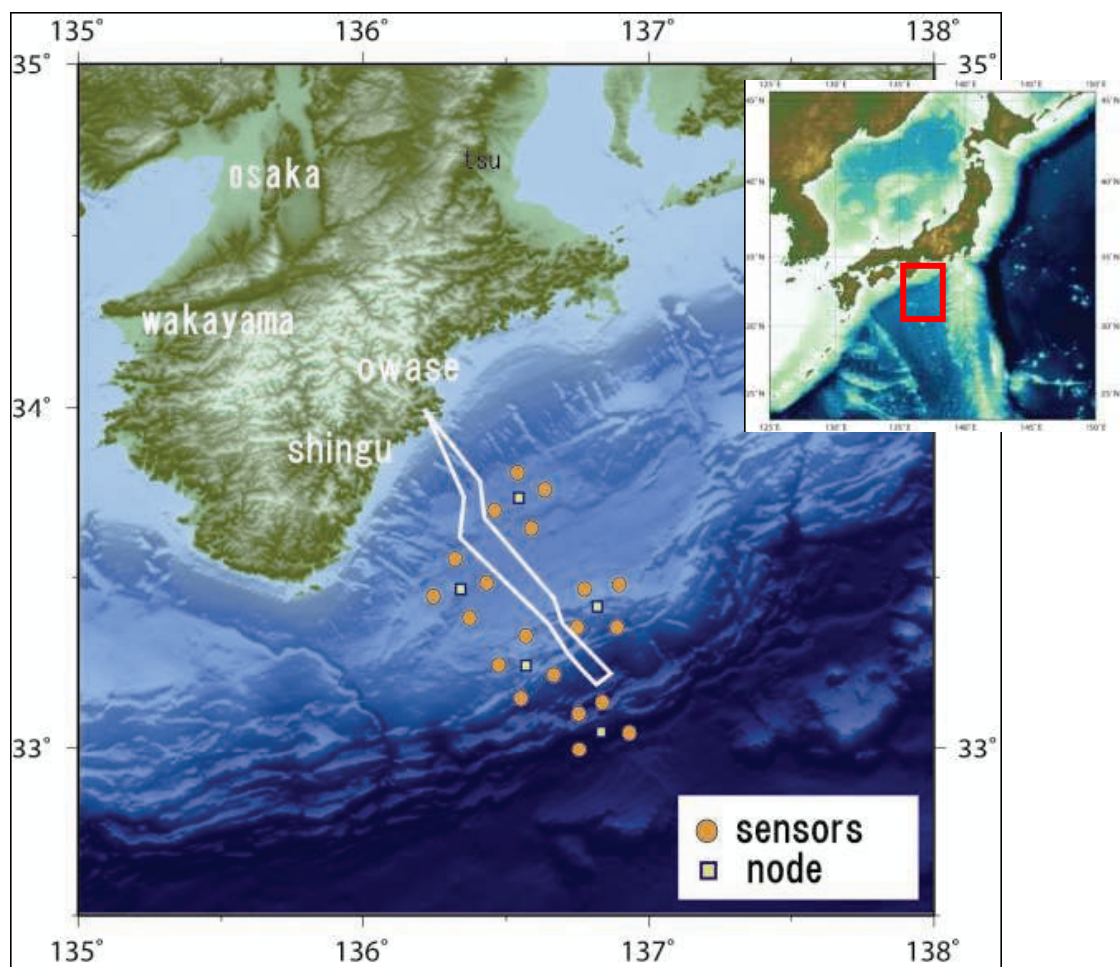


圖2 日本DONET海底電纜分佈圖。

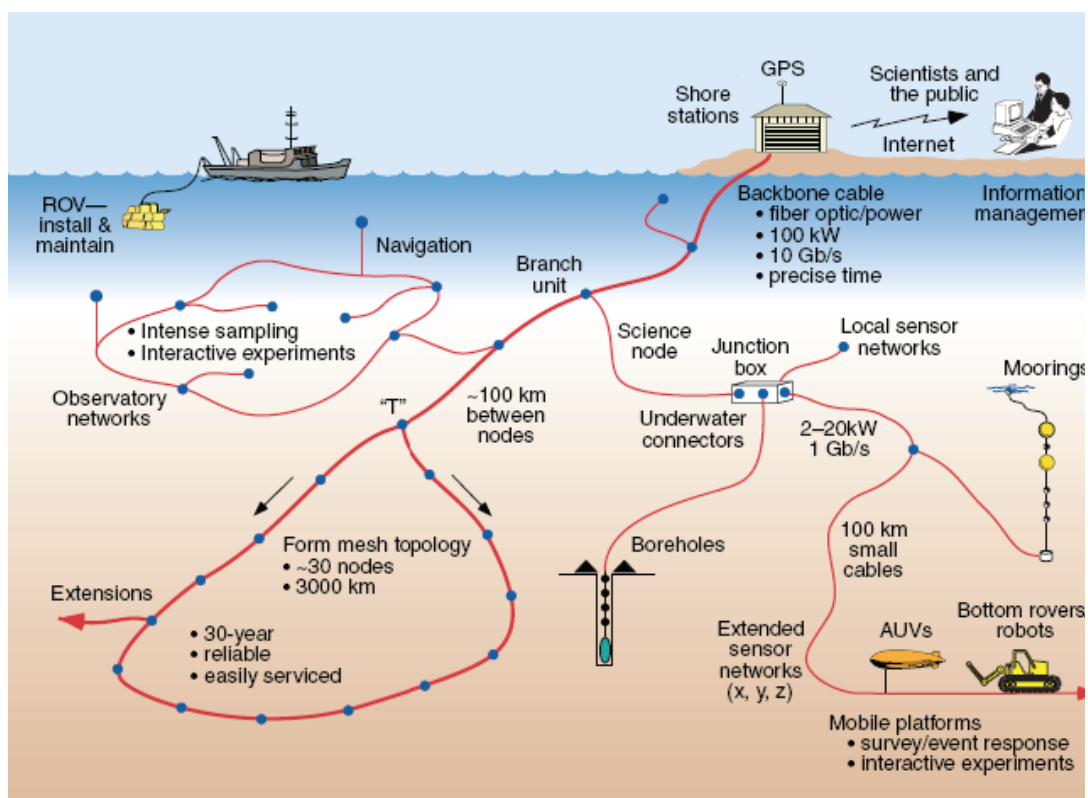


圖3 海底電纜推廣之示意圖 ((Favali et al., 2010)。

參考文獻

1. P. Favali, R. Person, C. R. Barnes, Y. Kaneda, J. R. Delaney, S.K. Hsu, Seafloor Observatory Science, OceanObs'09, Community White Paper Proposal, Sessions 4C and 4A.
2. Hsu, S.-K., Sibuet, J.-C., Earthquake Off Japan Could Generate Strong Tsunami, Eos, Vol. 86, No. 17, 26 April 2005, 169-170, 2005.
3. Matsumoto, T., R. Shinjo, M. Nakamura, M. Kimura, T. Ono and M. Yasuno, Activefault and underwater landslides around the Ryukyu islands in Proceedings of International Symposium on Marine Geosciences- New Observation Data and Interpretation, Yokohama, Japan, 95-98, 2005.
4. Proceedings of international workshop on scientific use of submarine cables, Feb. 25-28, 1997 Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan, 234pp.
5. 台灣東部海域海底觀測系統建置評估，中央氣象局地震技術報告彙編第42卷95年，317-325。
6. 台灣東部海域海底電纜觀測系統建置規劃，中央氣象局地震技術報告彙編第45卷96年，361-382。
7. 台灣西南部海嘯警報系統建立之初始研究，中央氣象局地震技術報告彙編第48卷97年，465-480。
8. 李昭興，2004，海底地震儀在地震監測的應用，海洋技術，第13期第4號，8-11頁。
9. 全球測繪科技股份有限公司 中央氣象局「台灣東部海域電纜是海底地震儀及海洋物理觀測系統建置-路線調查案」期末報告書，2008/8, 199pp.
10. 我國東北角海嘯警報系統建立之初始研究，中央氣象局地震技術報告彙編第45卷96年，383-432。
11. 海底地震儀之設置技術，經濟部台日技術合作計畫，交通部中央氣象局，84頁。