

二十二年來南灣水溫及珊瑚放射性元素之變化

陳鎮東¹、王冰潔¹、王正忠²、杜悅元³、詹偉成¹

摘 要

核能三廠已有二十二年的環境監測，是否造成對環境之影響，尤其是眾所矚目的熱污染及放射性元素有否累積，均應讓數據說話。本文利用核三廠外南灣之水溫監測資料，以及以珊瑚資料回推，以回顧二十二年來之水溫及放射性元素變化。水溫方面本文探討了二十二年來實測值之年際變化，電廠運轉前後，南灣內、外水溫以及利用珊瑚之氧-18(¹⁸O)回推水溫，結果均顯示南灣並無增溫現象。本文同時探討了聖嬰現象之影響，發現夏、秋、冬三季水溫在聖嬰時期低於正常時期，而春季則相反。鹽度則聖嬰時期高於正常年，可能是由於風場之變化影響南灣內部之湧升流所致。最後本文測定了珊瑚 (porites) 骨骼內 29 種放射性核種，結果顯示除銨-90(⁹⁰Sr)之外，其餘均低於偵測下限，且 Sr-90 濃度逐年降低。

(關鍵詞：南灣，核三廠，水溫，聖嬰，放射性元素，珊瑚)

前 言

所有使用蒸汽的發電廠都需要冷卻水，用來冷凝蒸汽。平均而言，核電廠比使用化石燃料的電廠要大，且在較低的溫度下操作，因此需要排除更多廢熱，而可能造成熱污染。而且一般核電廠排放的冷卻水內會含有少量各種核分裂及中子活化的產物，也可能引起民眾之疑慮。因此中央研究院國際環境科學委員會(環科會)，在蘇仲卿、洪楚璋等人之領導下，於 1979 年 7 月起即對南灣展開長期監測。

雖然監測結果，一般而言無法看出南灣在 1984 年 5 月核三廠運轉後，有何明顯變化，但依然有若干學者聲稱，核三廠之運轉已使南灣海域之水溫全面上昇，因此南灣內之背景測站所測得之水溫，已無法作為背景值(李等，1995)。1995 年 12 月 14 日民眾日報亦報導：「環保局委託中山大學海洋環境學系進行的"高屏溪、東港溪及南灣附近海域海水水質監測計畫"，期末報告出爐，結論中指出，由南灣海域附近海水溫度監測結果顯示，距出水口五百公尺處最高的表面水溫與上游處的背景表面水溫比較，溫升均已超過法規所允許的攝氏四度，此外，該海域附近可能存在一個範圍超過一萬五千公頃溫升達攝氏三度的熱水團。」，又說「根據連續兩年在南灣附近海域海水溫度監測結果顯示，核三廠入水口附近，海水已受其熱排水的影響，故其附近的"背景站"表面水溫不應做為未受影響的背景值」。

這是一個非常嚴重的說法，有必要加以澄清。而可採用之方法有三，其一為比較電廠運轉及未運轉時出、入水口及背景站之溫差；其二為比較南灣內、外，甚至南海北部之水溫，並與自然現象之變化(如聖嬰現象)作對比；其三為利用珊瑚同位素數據，將之作進一步之統計分析，以探討自然因素及核三廠運轉

1.國立中山大學海洋地質及化學所；2.原子能委員會核能研究所；

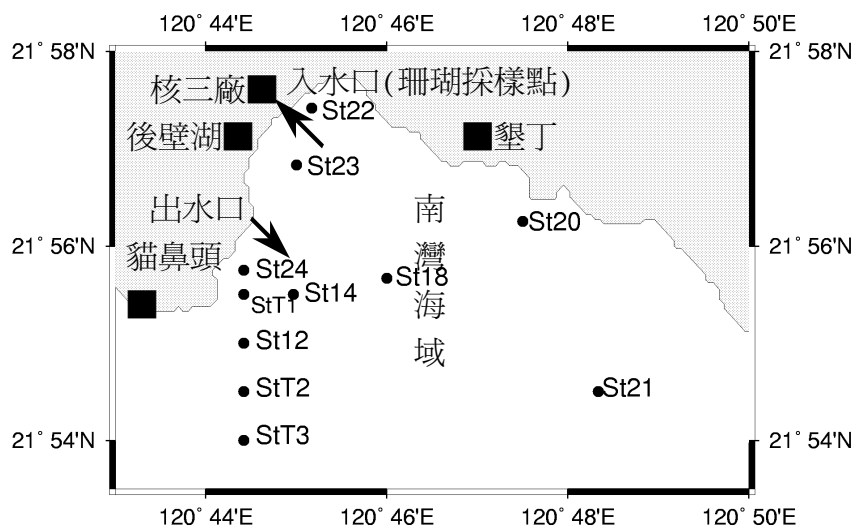
3.台灣電力公司環境保護處

所造成之水溫變化。

而所有與放射性相關的活動，似乎都是大眾恐懼核能的最主要原因。事實上有兩個理由可以用來解釋，為什麼來自海濱核電廠的放射活性對人類的威脅，遠小於來自淡水湖或溪流冷卻核電廠的放射活性：因海洋具有較大的稀釋能力和通量。全球通量的觀念牽涉著全球循環，就相同物質而言，人類提供的量比起源自大自然的量，可說是微不足道，所以來自人類活動造成的世界性污染傷害的可能亦非常小(Osterberg, 1985)。

不過亦有少數情況，使得人造污染超過自然來源。海中來自人類提供的放射性雖然只有千分之一，但是世界上的動、植物已經經過數十億年之演化，以適應自然界的放射性，而對人類工業產物的適應卻只有數十年，因此仍然值得留意(Osterberg, 1985)。燃料棒中的鈾 -235，鈾 -238 及中子活化後成的銻 -239 等元素，幾乎均可能存於反應爐的放流水中。通常這些燃料均封閉於金屬容器中，所以這類型的排放物含量應該很少。但中子和被覆物質內原子的反應，就導致了後者的放射性。舉例而言，許多鋼鐵合金內含鈷 -59，而中子及其反應結果即可生成具有放射性的鈷 -60 同位素，隨後與水接觸的部份隨時間而腐蝕，原來的結構物質便成為蝕化的產物，隨著冷卻水排放出來。

由於一般核電廠排放的冷卻水內會含有少量各種核分裂及中子活化的產物，可能引起民眾之疑慮。因此環科會在蘇仲卿、洪楚璋等人之領導下，亦於 1979 年 7 月起即對南灣展開放射性元素之長期監測。但由於南灣海水中之濃度極低，不易看出變化。因此本文利用珊瑚富集放射性元素之特性，用以研判長期之趨勢。



圖一、研究區域暨採樣位置圖。

方 法

本文利用歷年來核三廠附近海域生態調查資料（蘇等，1980~ 1991；洪等，1992，1993；陳等，1994~ 2000），對於水溫的變化做一番探討。另外，溫排水出入口處珊瑚所記錄的水溫及放射性元素含量，亦在文中論及。水文及珊瑚採樣位置如圖一，水文之實驗方法於上述報告中詳述，而珊瑚的樣品處理

方式是先以強力水柱(市售刷牙器)將試樣表面噴洗乾淨,再以 30% 雙氧水浸泡三天,除去有機部分(水螅體和藻類)後,再以 110°C 烘乾。依不同年代切開,分別磨碎,取樣品約 160 公克,填入 5 公分高之壓克力材質計測皿中,送交原委會幅射偵測中心測定。珊瑚試樣加馬核種分析,所採用的儀器是以美國 Canberra 公司出品之純鍍偵檢器,計測效率對 NaI 3"φ×3"l 之相對效率為 40%,高壓供給+4500V,配合 Canberra 公司出品之 Genie PC 多頻道脈高分析儀計測,計測時間為 16 萬秒。珊瑚鋇-90 活度分析方法(Chu *et al.*, 1998)用液體閃爍計數器(PACKARD2560 TR/XL)量測鋇-90 的子核種釷-90 活度($E_{\max}=2.28\text{MeV}$, $T_{1/2}=64\text{hr}$),釷-90 生長時間(in growth time)為 14 天,以 NIST 標準鋇-90 射源作校正,儀器計測效率為 35%,計測時間 50 分鐘。環境試樣之放射性分析以加馬能譜分析為主,但需要再作鋇-90 放射化學分析。不論採用何種方式分析方法,決定測定條件前須先決定偵測儀器最低可測活度(Minimum Detectable Activity, MDA)

MDA 值之計算公式：

$$\text{MDA} = \frac{4.65\sqrt{B} + 3}{60 \times E \times R \times V \times T} \quad \text{單位} = \text{貝克} / \text{公斤} \cdot \text{乾重}$$

式中

T：適宜空白試樣計數時間(分)。

B：適宜空白試樣的計數值。

E：待測核種的計數效率。

R：化學回收率。

V：試樣量,以質量為單位。

放射性元素最低可測活度列於表 1。

表 1、珊瑚骨骼中(乾重)所含 γ 粒子之最低可測活度

核種	最低可測活度	核種	最低可測活度	核種	最低可測活度
K-40	0.664	Y-88	0.0644	Ce-139	0.0432
Sc-46	0.0602	Sr-90	1.10	Eu-154	0.0884
Mn-54	0.0919	Cd-109	1.29	Eu-155	0.149
Fe-55	0.592	Sn-113	0.0667	Hg-203	0.0499
Co-57	0.0414	Sn-123	0.0114	Tl-208	0.179
Co-60	0.0658	I-125	461	Pb-210	24.4
Se-75	0.0588	Cs-134	0.0668	Pb-214	0.144
Kr-81	19.1	Cs-136	0.0595	Bi-214	0.125
Kr-85	0.314	Cs-137	0.0618	Ac-228	0.179
Sr-85	0.0835	Cs-138	5.05		

單位為：Bq/Kg dry wet

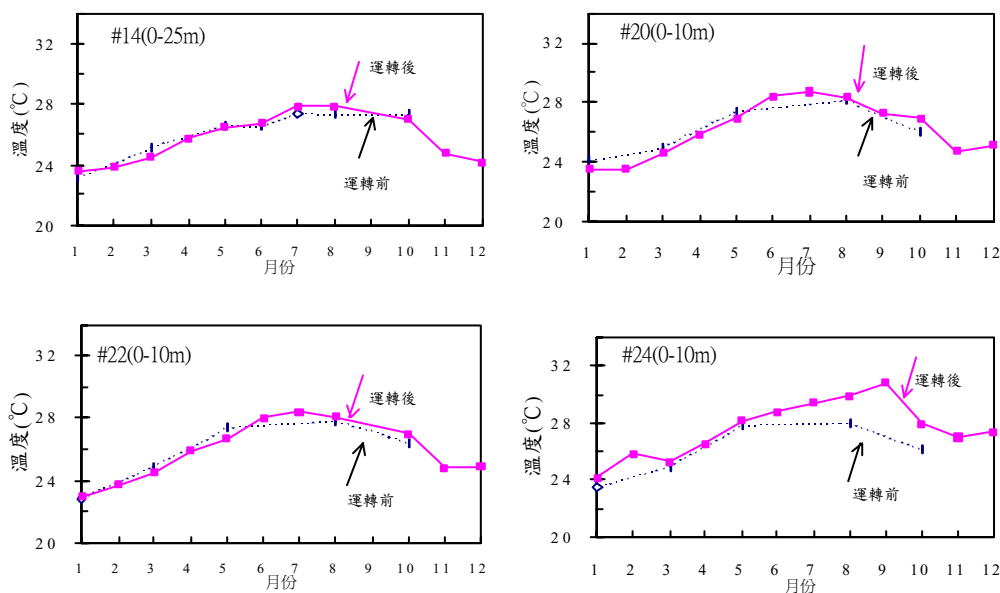
結果與討論

水溫之時序變化

南灣調查從 1979 年至 2000 已有 22 年了，由圖二也可以清楚看到 14、20、22 站各月的平均水溫在運轉前、後並沒有多大的差異，然而第 24 站(排水口)的水溫在運轉後明顯比運轉前高。因此電廠的運轉改變了 24 站的的水溫，其他三站則沒有受到明顯影響。

從 1979 年至 2000，除了 24 站溫度跳動較大之外，其餘測站的水溫均呈現隨季節之改變，隨著時間則並沒有太大的變化(圖三)，亦無明顯增溫現象。然而 24 站的水溫近年來則有下降趨勢，顯示溫排水溫度控制得比早期好。

將 22 站(入水口)及 24 站從 1986 年至 2000 年的表水水溫取 $\sin$ (正弦) 曲線(圖四)，可以發現 22 站的水溫呈現規律變化，最高溫約 29°C ，最低溫約在 $22\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，此值應可代表南灣海域一年水溫的溫度範圍。然而 24 站的表水因為受到溫排水的影響，水溫的年變化，在早期(1986~1991 年)最高溫達到 32°C ，低溫由 25°C 增加到 27°C ，有逐年增加趨勢；但後期(1991~2000 年)最高溫則往下降至 30°C ，最低溫也逐年下降至 25°C ，與南灣海域水溫分佈範圍相近。近期 24 站的水溫變化與附近測站相近可能原因有：1. 溫排水的水溫控制比早期來的好 2. 最近一年核電廠機組進行維修，溫排水量減少，相對地造成溫升不大。



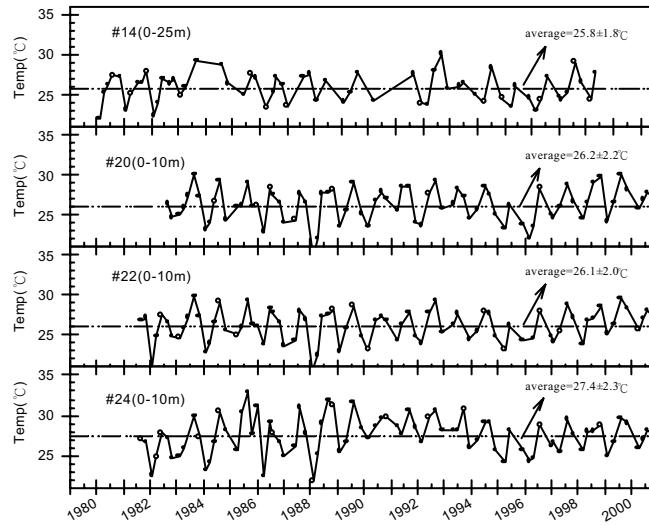
圖二、四個長期測站在電廠運轉前、後各月份的平均值。

(其中 14 站為 0~25 公尺平均值，其他為 0~10 公尺平均值)

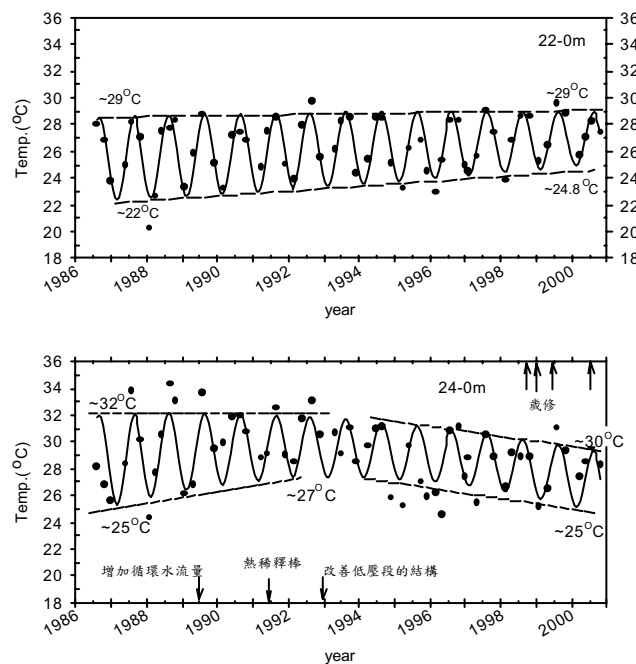
運轉前時間：1979/7~1984/4

運轉後時間：1984/5~2000/10

溫排水的溫度改善工程，據台電核三廠表示，大致上有三個較重要的時程：1. 增加循環水流量，於 1989 年 6 月實施，降低溫排水水溫約 0.6°C ；2. 熱稀釋泵的運轉，約在 1991 年 5 月實施，運轉後可降低溫排水約 2.2°C ；3. 改善低壓段的結構，於 1992 年 12 月實施，降低溫排水水溫約 0.4°C 。由此來看，24 站表水水溫於 1993 年夏季後不再高於 32°C 、冬夏溫度變化幅度減小的現象，與核三廠開始增加循環水流量改善工程的時間似乎相呼應。熱稀釋泵之運作似乎對水溫沒有太大的改變，之後改善低壓段結構的工程，則對 24 站水溫有若干的改變，尤其 1993 年後高溫值由 32°C 持續下降至 30°C ，排放水的溫度控制確實有所改善(圖四)。



圖三、四個長期測站水層水溫平均值隨著時間變化

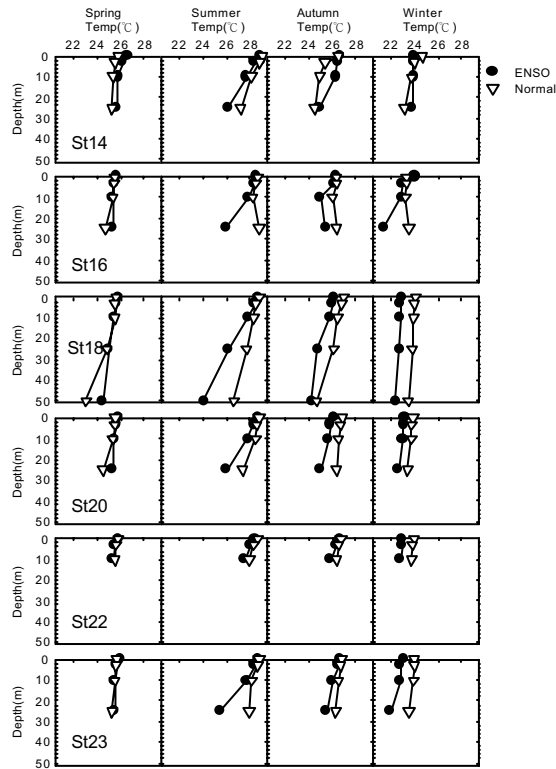


圖四、測站 22 與 24 表水水溫之 sin 曲線變化圖

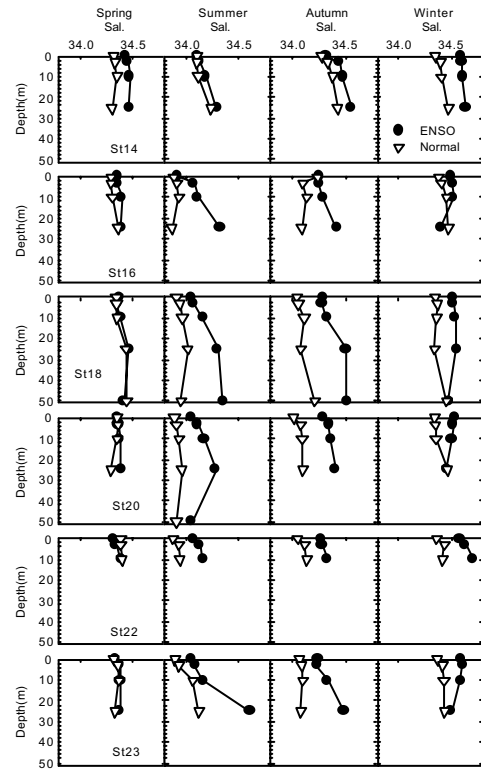
22 站最低溫從 22°C 增加至 24°C，有逐年增加之勢，此現象不僅發生在表水，3m 及 10m 亦有相同現象。上段提及溫排水最低溫近年來有下降情形，因此 22 站最低溫的上升，應該不是由溫排水直接造成。是否為溫排水在此累積，或氣候變遷所造成，則需要更多的相關資料，才能加以探討。

台灣位於東北亞及東南亞的交界，聖嬰年時，台灣氣候的反應並不明確，可能是冷夏，也可能是熱夏。由南灣 21 年水溫的資料，似乎也呼應此種情形。也就是說，聖嬰年涵蓋的月份並不保證會產生高水溫。

二十二年來南灣水溫及珊瑚放射性元素之變化



圖五、聖嬰時期及正常時期 6 個測站的水溫隨深度之變化圖



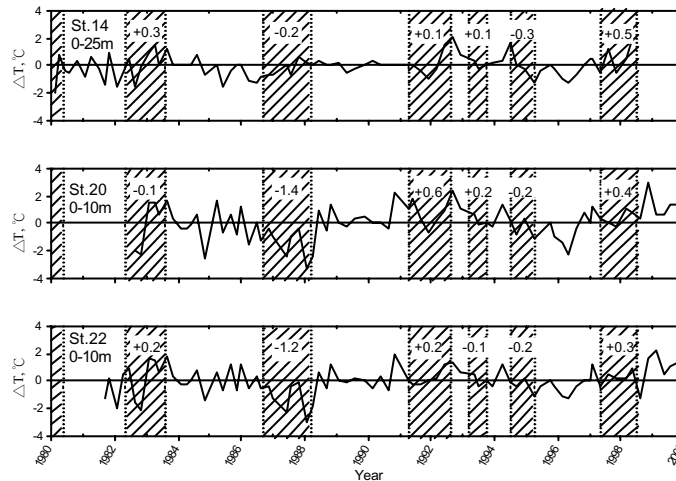
圖六、聖嬰時期及正常時期 6 個測站的鹽度隨深度之變化圖

圖五是南灣 6 個測站(14, 16, 18, 20, 22, 23)水溫在聖嬰時期及正常時期的比較情形。除了第 14 站以外，很明顯可以看到，夏、秋、冬三季水溫在聖嬰時期低於正常時期，而春季聖嬰時期略高於正常時期（表 2）。鹽度則都是聖嬰時期高於正常時期(圖六)。另外，以距平值(觀測值與平均值之差值)來看，20 及 22 站的海溫距平值，在 1986-88 聖嬰時期有明顯下降的現象，在 1997-98 聖嬰時期反而升高(圖七)。

表 2、南灣 6 個測站之水溫及鹽度在正常時期與聖嬰時期之比較

溫度, °C	春	夏	秋	冬	平均值
正常時期	25.3±0.6 (n=60)	28.3±0.6 (n=66)	26.2±0.7 (n=42)	23.7±0.3 (n=78)	25.9±1.7 (n=246)
聖嬰時期	25.6±0.4 (n=48)	27.6±1.3 (n=30)	25.8±0.7 (n=36)	23.0±0.6 (n=30)	25.5±1.8 (n=144)
鹽度	春	夏	秋	冬	平均值
正常時期	34.34±0.04 (n=60)	33.97±0.10 (n=66)	34.14±0.11 (n=42)	34.40±0.05 (n=78)	34.21±0.19 (n=246)
聖嬰時期	34.38±0.04 (n=48)	34.16±0.14 (n=30)	34.35±0.10 (n=36)	34.55±0.07 (n=30)	34.36±0.17 (n=144)

大致上看來，南灣海域在聖嬰時期水溫較正常時期來得低($25.5 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ 相對於 $25.9 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$)，而鹽度則來得高(34.36 ± 0.17 相對於 34.21 ± 0.19)(表二)。以下探討為何有如此的改變，是黑潮海水的影響？還是南海海水或南灣海域本身的變化？



圖七、3個測站水溫之距平值變化圖

a. 是否黑潮海水的影響

Chen and Huang(1996)利用溫鹽資料得到結論，認為在蘭嶼附近海域 ($122^{\circ}\text{E} \pm 15^{\circ}$) 存在一個界面，在界面以東為西菲律賓海水(即黑潮水)，界面以西為南海水，以及南海與西菲律賓海的混合水。隨著時間的變化，黑潮水在陸棚湧升與垂直混合所造成的混合水，其東侵的程度會有所不同。在 Chen and Huang(1996)的資料中，顯示在 22°N 沿著 $122-130^{\circ}\text{E}$ 的溫度變化情形，僅在 122°E 以西有略為抬升的現象。換句話說，在 122°E 以西的表水溫度比其以東的溫度來得低。觀察 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 之全球海洋整合服務系統 (Integrated Global Ocean Services System, IGOSS) 1982 年至 1999 年各月表面水溫 1° 方格資料，得知在 $21-22^{\circ}\text{N}$ ， $120-121^{\circ}\text{E}$ (涵蓋南灣) 的溫度較 $21-22^{\circ}\text{N}$ ， $122-123^{\circ}\text{E}$ (相當於黑潮區) 的溫度來得低，平均低約 $0.25 \pm 0.31^{\circ}\text{C}$ 。因此不論是實測觀察或是衛星資料均指向相同的結果，即同緯度的地區，南灣的表水溫度略低於黑潮水。因此若是黑潮的表水入侵南灣，將使得南灣的水溫略為升高 0.2°C 左右。而上述聖嬰時期在南灣看到的卻是比平常時期略低的溫度，所以無法以黑潮表水入侵南灣來解釋。

若是以黑潮在陸棚的湧升水入侵南灣來解釋，由於湧升水的溫度較表水來得低，則此機制極有可能因此降低了南灣在聖嬰時期的水溫。然而衛星資料顯示南灣的表水溫度仍低於 $21-22^{\circ}\text{N}$ ， $121-122^{\circ}\text{E}$ (即混合水區) 約 $0.20 \pm 0.16^{\circ}\text{C}$ ，因此黑潮湧升水入侵南灣，依然無法充分解釋聖嬰時期南灣之低溫現象。

Wong et al.(1993)指出在聖嬰時期，黑潮流幅區內湧升現象較平時明顯，海面表水水溫大多降低 (丁，1989)，也就是次表層低溫高鹽的海水在聖嬰時期時會湧升至表層。王(1997)也認為聖嬰時期在黑潮流域內湧升速率有加強趨勢。如上所述，黑潮表水以及混合水在聖嬰時期雖然溫度變低了，但降低後的溫度仍較南灣來得高。因此以溫度來看，南灣不一定反應黑潮在聖嬰時期的改變。

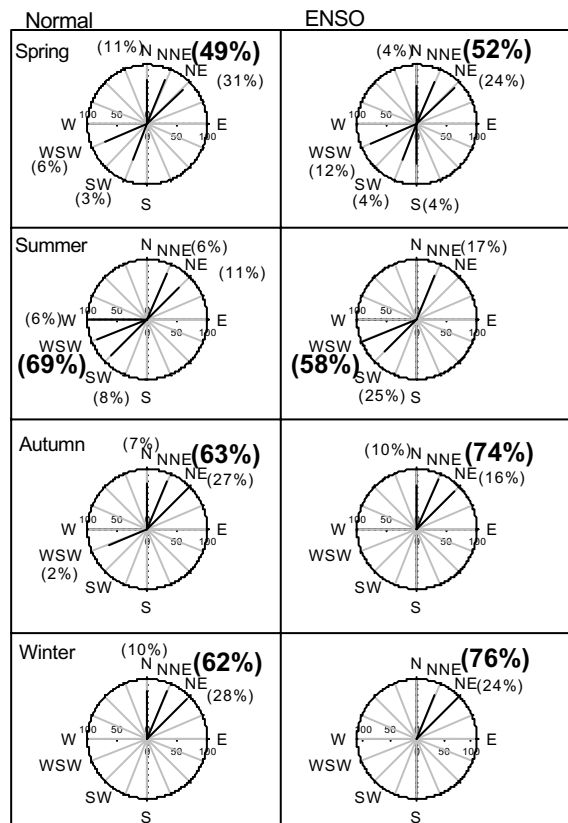
Chao et al.(1996)指出，聖嬰時期南海的特徵是所有循環流動及湧升的速率均降低。因此為了維持南海本身平衡，跟外界交換的速率會減緩，所以經呂宋海峽與黑潮交換速率也勢必要降低。如此一來，聖嬰時期黑潮水入侵南灣海域的頻率應該降低。

b. 是否南海海水的影響

由溫度看來，在聖嬰時期南海表水水溫增高，若是由南海的水入侵南灣，勢必使南灣的水溫上升。然而實測值卻顯示在聖嬰時期南灣的水溫是下降的，因此由南海在聖嬰時期交換速率減緩，以及表水水溫升高兩項反證，顯示南灣在聖嬰時期的水溫下降並非由南海水入侵所引起。

c. 是否南灣海域本身海水的變化

換另一角度看，若是南灣本身海域湧升加強，則會出現低溫高鹽的現象。尤其本海域在落山風強勁時，湧升現象相當明顯。本文嘗試放入恆春氣象站的風向風速資料，然而該氣象站的所在位置因無法完全反應南灣海域的實況，因此改以蘭嶼氣象站代替。該站雖然離本區有 90 公里遠，但卻能夠充分反應南灣風的實際情形(陳泰然私人通信，2001 年)。由圖八可以看到，夏、秋、冬三季中能夠引發海水湧升的東北風出現頻率較正常時期為高，與我們實際觀測到在聖嬰時期海水低溫、高鹽的現象吻合。然而春季時，引發湧升現象的東北風及抑制湧升的西南風，出現頻率都較正常時期為高，如此一來海水的訊號就不是那麼明確，因此春季的海水溫鹽變化並未能像夏、秋、冬三季在聖嬰時期為低溫高鹽般那樣一致而明顯。

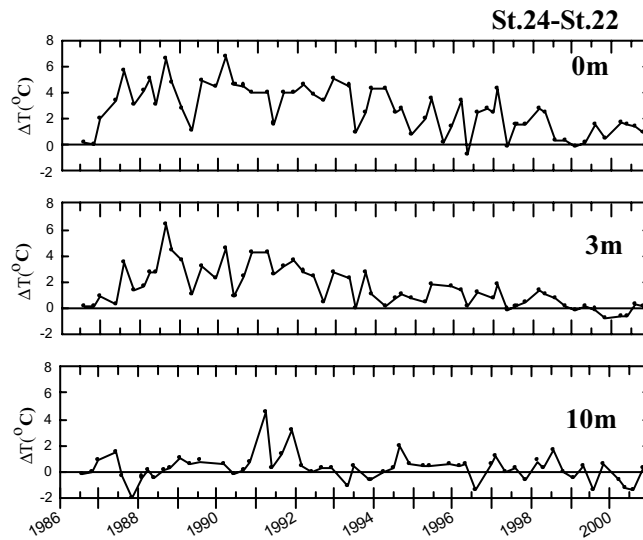


圖八、聖嬰時期與正常時期蘭嶼地區風向出現的頻率圖

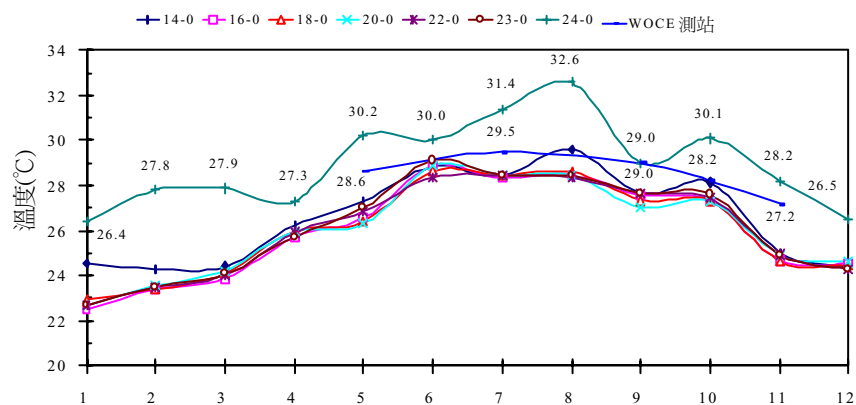
水溫之空間變化

從 1986 年以後，資料均有分層的報導。將 24 站與 22 站 0，3，10 公尺來比較，可以看到兩站表水的溫差分佈在 $-0.8 \sim 6.7^{\circ}\text{C}$ 之間，平均 2.7°C ，3 公尺的溫差分佈在 $-0.1 \sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 之間，平均 1.6°C ，10 公尺的溫差分佈在 $-2.0 \sim 4.6^{\circ}\text{C}$ 之間，平均 0.3°C (圖九)。較高的溫差發生在早期，近年來溫差較低。若進一步將 24 站與較遠的 18 站相較，也可以看到類似溫差的結果。再將 22 站與 18 站相較，可以發現兩者之間並沒有太大的溫度差異，因此可以說，24 站的水溫不僅

與較遠的 18 不同，也與較近的 22 站不同。亦即溫排水的影響主要只及至 24 站附近，並未明顯擴散至較遠端的 18 站，也未明顯擴散至較近端的 22 站。



圖九、測站 24 與 22 之水溫差距



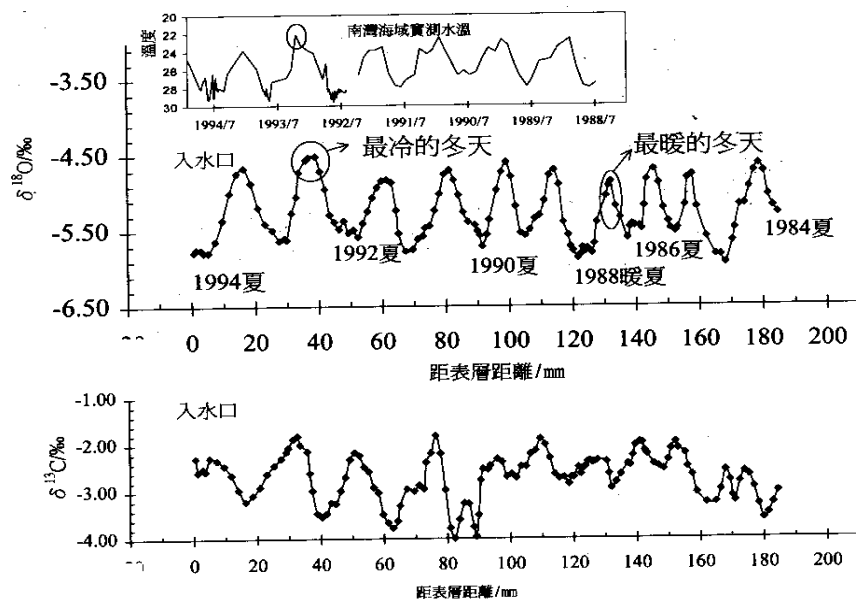
圖十、南灣 7 站表水各月份的平均值(1986 年至今)與 WOCE 測站比較

國科會於執行「全球環流研究」(World Ocean Circulation Experiment; WOCE)時，在貓鼻頭南方有一南北向測線 (PR-21，沿著 $120^{\circ} 43' \text{ E}$)，此測線離台灣南岸最近之測站所取得之水文及水質資料，可作為核三廠附近海域諸測站遠方之背景值。經過整理與比較，WOCE 航次中並非每月都有資料，目前僅有 5 個月份，另外其資料點取表水後，下一資料點即取 50 甚或 100 公尺了，因此只能取表水的資料來與南灣的水相比。圖十是將 WOCE 5 次表水水溫與南灣 12 年來表水溫度平均值相比的情形。由圖可以很明顯看出，WOCE 航次的數據要不是接近 24 站的平均值，就是接近其他測站的平均值，並不在南灣水的平均值之下。換句話說，南灣表水的水溫與「遠方」測站的水溫相差並不大，並沒有比「遠方」來的高。

珊瑚的水溫資料

1994 年於入水口水深 3m 處採得微孔珊瑚之 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 數據 (Chen et al.,

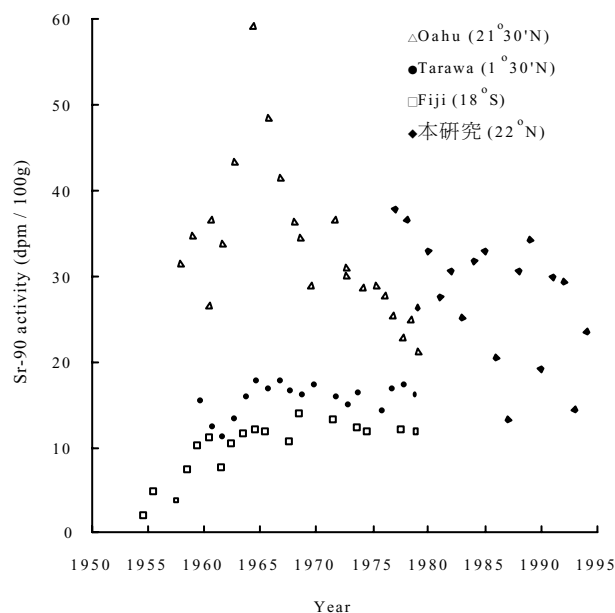
2001)，由於數據跳動較大，因此取 3 點平均值重新畫圖(圖十一)。圖上冬天之 $\delta^{18}\text{O}$ 值以 1987/88 年冬季最低，表示水溫最高; 1988 夏季之 $\delta^{18}\text{O}$ 值亦接近圖上最低值，表示高水溫。根據 Chu et al.(1997) 之統計，1982 至 1994 年間，南海北部 1987 年 10 月到 1988 年 9 月間出現高溫異常，與珊瑚所記錄水溫趨勢相符。圖上 $\delta^{18}\text{O}$ 最高值出現於 1992/93 年冬季，表示水溫最低，正好也是 Chu et al.(1997)發現低溫異常的時段(1992 年 10 月至 1993 年 2 月)。圖十一上方南灣的水溫調查(歐等人，1996; 陳等人，1994)，同樣地也在 1992 年記錄到了最冷的冬天。由此可見，入水口之珊瑚似乎可以反應南灣及南海北部海水之水溫。比較年度內的 $\delta^{18}\text{O}$ 變化，幅度約為 1.34‰，相當於 6.4°C，與冬夏最熱一個月之平均水溫差 5.6°C 相近。



圖十一、入水口微孔珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素之三點平均值

放射性元素：看看珊瑚記錄

核三海域海水、海砂、生物體內之放射性核種濃度均甚低，無法看出長期趨勢。目前唯一能看出長時間變化的是珊瑚體內之銻-90(圖十二)，有逐年下降趨勢，其來源應屬空飄物質。空飄放射性物質之主要來源為核彈試爆，主要發生於北半球之中、高緯度。由於盛行風，尤其是 Jet Stream 的影響，其分佈與緯度有關，且愈往南濃度愈低。圖上可看出與南灣緯度相同之夏威夷歐胡島附近，於 1960 年代初期其珊瑚累積了最高的銻-90 濃度，之後由於美蘇禁止於大氣層內試爆，因此核爆落塵逐年減少，珊瑚中的濃度亦逐年降低，與南灣之下降趨勢相符。而南半球之趨勢落後於北半球，且濃度較低。南灣珊瑚中所測其它 28 種放射性元素，鉀-40，鈦-46，錳-54，鐵-55，鈷-57，鈷-60，硒-75，氬-81，氬-85，銻-85，釷-88，銻-90，鎳-109，錫-113，錫-123，碘-125，銈-134，銈-136，銈-137，銈-138，銈-139，鎢-154，鎢-155，汞-203，鉈-208，鉛-210，鉛-214，鉍-214，銅-228，濃度均低於偵測下限(表 1)。



圖十二、核三廠外及其它地區珊瑚體內 Sr-90 濃度之逐年變化
註：Oahu、Tawara 及 Fiji 的資料取自 Toggweiler and Trumbore (1985)

致 謝

本研究感謝審查人之詳盡建議、台灣電力公司及原子能委員會之資助，以及幅射偵測中心之協助。

參考文獻

- Chao, S.Y., P. T. Shaw, S. Y. Wu (1996) El Nino modulation of the South China Sea circulation. *Prog. Oceanog.*, **38**, 51-93.
- Chen, C.T.A., M.H. Huang (1996) A mid-depth front separating the South China Sea water and the West Philippine Sea water, *J. Oceanogr.* **52**, 17-25.
- Chen, C.T., C.H. Wang, K.Y. Soong, B.J. Wang (2001) Water temperature records from corals near the nuclear power plant in southern Taiwan. *Science in China (D)*, **44**, 356-362.
- Chu, P.C., S. B. Lu, Y. C. Chen (1997) Temporal and spatial variabilities of the South China Sea surface temperature anomaly. *J. Geophys. Res.*, **102**, 20937-20955.
- Chu, T. C., J. J. Wang, Y. M. Lin (1998) Radiostrontium analytical method using crown-ether compound and cerenkov counting and its applications in environmental monitoring. *Appl. Radiat. Isot.* **49**, 12, 1671-1675.
- Osterberg, C.L. (1985) Nuclear power wastes and the ocean, in *Wastes in the Ocean*, eds. I.W. Duedall, D.R. Kester, P.K. Park and B.H. Ketchum, Wiley Interscience, **V.4**, 127-162.
- Toggweiler, J. R., S. Trumbore (1985) Bomb-test Sr-90 in Pacific and Indian ocean surface water as recorded by banded corals. *Earth Planet Sci. Lett.*, **74**, 306-314.
- Wong, C.S., Y.H. Chan, J.S. Page, G.E. Smith, R.D. Bellegay (1993) Change in equatorial CO₂ flux and new production estimated from CO₂ and nutrient levels in Pacific

- surface waters during the 1986/87 El Nino. *Tellus*, **45B**, 64-79.
- 丁良模 (1989) 黑潮海域海溫場與聖嬰時期事件的呼應性, 黑潮調查研究論文選 (二), 海洋出版社, 67-72 頁。
- 王樹倫 (1997) 西北太平洋邊緣海二氧化碳之研究, 國立中山大學海洋地質及化學所博士論文, 226 頁。
- 李忠潘、楊磊、李宗霖、薛憲文、陳陽益、李賢華、劉金源 (1995) 高屏溪東港溪及南灣附近海域水水質監測計畫, 屏東縣環保局委託計畫期末報告, 237 頁。
- 洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、朱鐵吉、范光龍、葉顯楹 (1992) 南部核能電廠附近海域之生態研究, X III, 第十三年(八十年七月至八十一年六月)執行報告, 中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 89 號, 141 頁。
- 洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、朱鐵吉、范光龍、葉顯楹 (1993) 南部核能電廠附近海域之生態研究, X IV, 第十四年(八十一年七月至八十二年六月)執行報告, 中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 94 號, 136 頁。
- 陳智蘊、沈川洲、李太楓 (1994) 墾丁南灣之氣溫、表層海水溫度變化與珊瑚之 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 Sr/Ca 之關係, 中國地質學會八十三年年會暨學術研討會, 台灣台北, 中國地質學會, 616。
- 陳鎮東、劉莉蓮、歐錫祺、鍾玉嘉、吳重坤、鄭利榮 (1994) 臺灣南部核能電廠附近海域生態研究, 海洋地質研究所研究報告第 20 號, 195 頁。
- 陳鎮東、劉莉蓮、歐錫祺、鍾玉嘉、吳重坤、鄭利榮 (1995) 臺灣南部核能電廠附近海域生態研究, 海洋地質研究所研究報告第 24 號, 212 頁。
- 陳鎮東、劉莉蓮、歐錫祺、鍾玉嘉、吳重坤、鄭利榮 (1996) 台灣南部核能電廠附近海域之生態研究, 海洋地質研究所研究報告第 28 號, 190 頁。
- 陳鎮東、吳重坤、陳孟仙、劉莉蓮、歐錫祺、鄭利榮、鍾玉嘉 (1997) 台灣南部核能電廠及蘭嶼貯存場附近海域之生態研究, 台灣電力公司環境保護處調查報告, 324 頁。
- 陳鎮東、吳重坤、沈建全、陳孟仙、劉莉蓮、歐錫祺、鄭利榮、鍾玉嘉 (1998) 台灣南部核能電廠及蘭嶼貯存場附近海域之生態研究, 台灣電力公司環境保護處調查報告, 479 頁。
- 陳鎮東、吳重坤、沈建全、陳孟仙、劉莉蓮、歐錫祺、鄭利榮、鍾玉嘉 (1999) 台灣南部核能電廠及蘭嶼貯存場附近海域之生態研究, 台灣電力公司環境保護處調查報告, 535 頁。
- 陳鎮東、沈建全、王樹倫、陳孟仙、劉莉蓮、歐錫祺、鄭利榮、鍾玉嘉 (2000) 台灣南部核能電廠及蘭嶼貯存場附近海域生態調查, 台灣電力公司環境保護處調查報告, 691 頁。
- 歐錫祺、鄭利榮、張國棟、蔡光照、邱萬敦、王振培 (1996) 臺灣電力公司核能發電廠溫排水監測第七年報告, 台灣高雄: 國立高雄海事專科學校, 144 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電 (1980) 南部核能電廠附近海域之生態研究, I, 第一年(六十八年七月至六十九年六月)執行報告, 中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 7 號, 115 頁。

- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電(1981) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅱ，第二年(六十九年七月至七十年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 10 號，118 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電(1982) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅲ，第三年(七十年七月至七十一年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 15 號，137 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電(1983) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅳ，第四年(七十一年七月至七十二年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 23 號，129 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電(1984) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅴ，第五年(七十二年七月至七十三年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 27 號，214 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、楊榮宗、鄭穎敏、范光龍、張湘電(1985) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅵ，第六年(七十三年七月至七十四年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 38 號，115 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞、張湘電 (1986) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅶ，第七年(七十四年七月至七十五年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 44 號, 164 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞 (1987) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅷ，第八年(七十五年七月至七十六年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 50 號, 224 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃鵬鵬、李國添、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞 (1988) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅸ，第九年(七十六年七月至七十七年六月)執行報告及電廠運轉對生態環境之初步評估報告(民國六十八年七月至七十七年六月)，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 59 號, 394 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞 (1989) 南部核能電廠附近海域之生態研究，Ⅹ，第十年(七十七年七月至七十八年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 70 號, 238 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞 (1990) 南部核能電廠附近海域之生態研究，ⅩⅠ，第十一年(七十八年七月至七十九年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員會專刊第 78 號, 225 頁。
- 蘇仲卿、洪楚璋、江永棉、譚天錫、張崑雄、邵廣昭、黃哲崇、黃奇瑜、范光龍、葉顯樞 (1991) 南部核能電廠附近海域之生態研究，ⅩⅡ，第十二年(七十九年七月至八十年六月)執行報告，中研院國際環境科學委員會中國委員

會專刊第 84 號, 320 頁。

Changes in seawater temperature over the past twenty-two years and the radioisotopes in a coral in Nanwan Bay near The Third Nuclear Power Plant

**Chen-Tung Arthur Chen¹, Bing-Jye Wang¹, Jeng-Jong Wang²
, Yueh-Yuan Tu³ and Wei-Cheng Chang¹**

ABSTRACT

An environmental assessment survey on the impact of the Third Nuclear Power Plant has been on-going for the past 22 years. Whether or not heat and radioisotopes have accumulated needs to be evaluated on the basis of actual data. This paper investigates the changes in seawater temperature and the radioisotopes in a coral collected in Nanwan Bay where the power plant is located. The results from field data collected before and after the plant started operations, from data both inside and outside Nanwan Bay as well as the O-18 content of the coral consistently show that the seawater temperature has not changed over the past 22 years. It is also found that the average temperature is lower, whereas the salinity is higher in summer, autumn and winter during the ENSO periods. This is perhaps because of intensified local upwelling in Nanwan Bay where the subsurface water has lower temperature but higher salinity. More frequent and stronger northern winds during the ENSO periods could have induced such stronger upwelling, but the situation in spring is reversed. Finally, 29 radioisotopes have been measured in a banded coral (porites), and all are below the detection limit except for the ⁹⁰Sr concentration which has decreased year after year.

(Keywords: Nanwan Bay, Third Nuclear Power Plant, temperature, ENSO, radioisotopes, coral)