

強烈季候風在香港引致的水位異常

黃梓輝 李健威
香港天文台

摘要

使用由分潮數值建立的調諧序列，可以準確地預測平常日子的潮水高度。當氣象要素尤其是大氣壓力和風力偏離正常時，水位會出現異常。熱帶氣旋侵襲時的低氣壓和大風所引起的水位異常尤為明顯，即風暴潮，香港天文台使用“Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes” (SLOSH) 數值模式來預測風暴潮，輸入值為熱帶氣旋路徑和強度。此外，在冬季季候風影響香港時，強風也會引致水位出現異常，但一直未有適用的預測工具。本文試圖以統計方法找出在冬季季候風情況下的水位異常和本地盛行風的關係，從而設計預測工具。研究結果顯示在東北風和東風情況下，水位異常明顯地隨著風速而增大，但在北風情況下這關係並不明顯。這表示在冬季季候風情況下，風浪區上游的強風可能是令到本地出現水位異常的原因之一。

Sea level anomalies in Hong Kong due to strong monsoon

C.F. Wong and K.W. Li
Hong Kong Observatory

Abstract

On a normal day, the tidal level can be predicted fairly accurately by a harmonic series based on tidal constituents. Sea level anomalies arise when the meteorological condition, in particular atmospheric pressure and wind stress, deviates from the normal. The effect is most prominent during tropical cyclone situation when the pressure is low and winds are high, giving rise to storm surges. At the Hong Kong Observatory, prediction of storm surges is based on the “Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes” (SLOSH) numerical model which uses tropical cyclone tracks and intensities as input. During winter monsoons, strong winds can also give rise to appreciable sea level anomalies but a forecasting tool is lacking. This study attempts to find a statistical relationship between sea level anomalies and wind conditions during winter monsoon situations, with a view to devising a forecasting tool. The results show that sea level anomalies increase with wind speeds in northeasterly and easterly winds but not in northerly winds. This suggests that the fetch caused by strong winds upstream may be a contributor to the local sea level anomalies in winter monsoon situations.

強烈季候風在香港引致的水位異常

黃梓輝 李健威

香港天文台

1. 引言

日常海面水位變化由潮汐及氣象因素主導。在平常日子，氣象要素接近氣候平均，潮水高度可以根據分潮數值建立的調諧序列準確預測。當氣象要素尤其是大氣壓力和風力偏離正常時，水位會出現異常。熱帶氣旋侵襲時低氣壓和大風所引致的水位異常尤為明顯，即風暴潮。香港天文台自 1994 年起採用從美國國家海洋及大氣管理局引進的“Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes” (SLOSH) 數值模式來預測風暴潮，輸入值為熱帶氣旋路徑和強度，最高水位的平均誤差約為 0.3 米。在冬季季候風影響香港時，強風也會引致水位異常，但却缺乏適當的預測工具。業務上，天氣預報員需要評估由冬季季候風引致維多利亞港水位上升至指定高度的機會。本文試圖以統計方法找出在冬季季候風情況下的水位異常和本地盛行風的關係，從而設計預測工具。

2. 資料

香港天文台在鰂魚涌設有驗潮站正好量度維多利亞港內的海面高度，同時橫瀾島測風站能較好地代表香港的盛行風。本文採用以上兩站在 1996 至 2005 年十年間的觀測資料，研究鰂魚涌每日最大水位異常與橫瀾島每日盛行風方向和每日平均風速的關係。

由於夏季季候風引致本港出現強風的頻率遠較冬季季候風少，亦從未引致維港水位超越指定高度，因此本文只集中研究冬季季候風引致的水位異常（即實際觀測水位減去天文潮的高度）。由於風暴潮可以使用 SLOSH 數

值模式預測，本文不考慮本港發出熱帶氣旋警告的日子。本文採用的數據為十月至四月橫瀾島平均風速超過每小時 8 海里的觀測資料。此外，根據香港冬季季候風的風向類型，我們把資料分成下列三個組別方便分析：

- (1) 北風（風向 340-020 度）
- (2) 東北風（風向 030-060 度）
- (3) 東風（風向 070-110 度）

3. 結果和討論

圖 1 顯示鰂魚涌日最高水位異常與橫瀾島盛行風風向的關係。圖中可見，水位異常超過 0.4 米或以上時的風向主要集中在第一象限內，即介乎 0 度和 90 度之間。其他風向下的水位異常大多在 0.2 米以下。

鰂魚涌日最高水位異常與橫瀾島日平均風速的關係見圖 2。圖中顯示當橫瀾島風速較大時，鰂魚涌水位異常也隨之增大，不過在同一風速下出現的水位異常的變化很大，例如風速是每小時 12 海里時，相關的水位異常可以是負數（實際水位比天文潮低），也可以高至接近 0.5 米。事實上風速與水位異常的相關系數只有 0.51，兩者線性關係並不強，顯示橫瀾島日平均風速並不能完全解釋鰂魚涌的最高水位異常。因此不宜採用線性迴歸方程式去預測水位異常。

現嘗試以百分位數（percentile）去分析強烈季候風在香港引致的水位異常。統計上，一組（按其數值順序排列）資料的 P 百分位數，表示在這組數中有 P % 的資料是小於或等於這數值，例如 50 百分位數即是中位數（median）。先前根據風向把資料分成三組，現再在每個組別內根據風速分組並計算各組的水位異常從 50 百分位至 100 百分位數值，分別顯示在圖 3 至圖 5 內。以圖 3 來舉例，首先參看 50 百分位數的連線，它表示當風力

介乎時速 14.1 至 16.0 海里時有 50 %的水位異常是 0.2 米或以下（相反來說，表示這組資料有一半機會水位異常超過 0.2 米）；同樣風速下參看 100 百分位數的連線，表示 100%（所有）水位異常是 0.45 米或以下。

在北風情況下，不同風速的最大水位異常介乎 0.3 米至 0.7 米（圖 3 所有風速的 100 百分位數值）。水位異常的 50 百分位數只介乎 0.1 米至 0.25 米，表示在所有個案中有一半的情況是水位異常少於 0.25 米。此外，水位異常隨著風速而增大的趨勢並不明顯。

圖 4 內顯示在東北風情況下不同風速的最大水位異常介乎 0.35 米至 0.65 米（參看所有風速的 100 百分位數值）。水位異常的 50 百分位數介乎小於 0.1 米至 0.3 米，即是在所有個案中，有一半的情況是水位異常少於 0.3 米。此外，水位異常隨著風速而增大的趨勢較明顯。

在東風情況下，不同風速的最大水位異常介乎 0.35 米至 0.6 米（圖 5 所有風速的 100 百分位數值）。水位異常的 50 百分位數介乎小於 0.1 米至 0.3 米，即是在所有個案中有一半的情況是水位異常少於 0.3 米。此外，水位異常隨著風速而增大的趨勢較明顯。

圖 3 至圖 5 中的 50 百分位數顯示對於較低的風速（時速低於 18 海里），水位異常超過 0.2 米較多出現在北風情況而不是東北風或東風情況。在風速較低的北風下出現較高水位異常的現象，原因可能是香港地形三面環海，北面是陸地與深圳相連，因此在北風情況下本地的水位異常不是受到北面上游影響而是東北面廣東、福建沿岸以至台灣海峽一帶水流的影響，而氣壓分佈形勢會改變這一帶的風浪區範圍從而影響本地水流。例如在 2001 年 2 月 8 日，當天橫瀾島盛行風是偏北風平均風速雖然只是每小時 12.2 海里，但鰂魚涌錄得最大水位異常是 0.49 米，可能是由於當時有一高壓中心位於上海附近（圖 6），台灣海峽的氣壓梯度較密以及吹東北風，從而令到海水流向香港附近。與此對比，2005 年 12 月 21 日橫瀾島盛行偏

北風平均風速雖然高達每小時 27.9 海里，但鰂魚涌錄得最大水位異常只是 0.08 米，可能是由於當時北部灣的高壓脊引致華南沿岸一帶的等壓線呈東北－西南走向而盛行風是離岸風（圖 7），加上台灣海峽的氣壓梯度較鬆散，香港東北面上游的水流並沒有加強。有關本地水位異常與風浪區上游強風的詳細關係或需另行研究。

此外，有時本港受冬季季候風影響但同時南海上有低壓區（包括熱帶氣旋，下同），在冬季季候風和南海低壓區的共同作用下，可以令到本地出現較高的水位異常。根據研究資料統計的十大水位異常個案中，7 個屬於這種情況。對應這十個水位異常個案（於 0000 UTC 時）的每日天氣圖見於圖 8(a) 至圖 8(j)，有關個案的詳細資料則列於表 1。

為了量化南海低壓區對本地水位異常的影響，我們分析了有低壓區時和沒有低壓區時不同風向組別的水位異常平均值。因為南海有低壓區的個案並不多，所以我們把橫瀾島風力大於時速 16 海里時所有的水位異常資料歸為一組來研究。結果發現橫瀾島吹北風時兩組水位異常平均值之差是 0.07 米，而吹東北風時則為 0.16 米，兩者統計上的顯著水平均達 5%（表 2），即是說南海有低壓區時，鰂魚涌的水位異常較沒有低壓區時平均高 0.07 米（北風）或 0.16 米（東北風）。東風情況下兩組水位異常平均值之差為 0.03 米，統計上不滿足 5% 顯著水平。

4. 應用

為了預測冬季季候風時鰂魚涌的水位異常，我們考慮南海是否有低壓區，根據各組風向下各風速組內相關的百分位數，編制一套水位異常概率表供預報員參考（表 3 至表 5）。有關使用這些表的指引如下：

- (a) 查看鰂魚涌當天預測天文潮的最高高度；

- (b) 計算臨界值（例如 2.7 米）和預測最高天文潮（T）的差（D）
 $(D = 2.7 - T)$ ；
- (c) 如果 D 超過 0.7 米，則總水位超越臨界值的機會非常低。否則，繼續下列步驟；
- (d) 根據橫瀾島的預測盛行風方向，選擇適當的水位異常表（表 3 至 5）；
- (e) 根據橫瀾島的預測平均風速，在已選擇的表內，查看產生水位異常高過之前計算 D 值的概率（P）；
- (f) 根據已查看的概率（P），考慮水位到達臨界值的機會。可以根據下列準則評估風險：

<u>風險值</u>	<u>概率（P）值</u>
高：	$P > 0.66$
中：	$0.33 < P \leq 0.66$
低：	$P \leq 0.33$

- (g) 如果南海有低壓區以及橫瀾島的風速超過時速 16 海里時，可考慮把依步驟（b）計算的數值 D 向下調整如下：

當橫瀾島吹北風：減 0.1 米

當橫瀾島吹東北風：減 0.2 米

例子：

鯪魚涌預測天文潮的高度（T）= 2.4 米；

水位異常 (D) = 2.7 米 - 2.4 米 = 0.3 米；

預測橫瀾島盛行風方向 = 北風；

預測橫瀾島平均風速 = 時速 18 海里；

根據表 3「北風水位異常概率表」；

$P(D > 0.3 \text{ 米}) = 0.40$ ；

水位到達臨界值 2.7 米的機會 = 風險值為中等。

若南海上有低壓區，可考慮把依步驟 (b) 計算的數值 D 減去 0.1 米；

$D = 0.3 - 0.1 = 0.2$ ；

再查表 3：

$P(D > 0.2 \text{ 米}) = 0.70$ ；

水位到達臨界值的機會 = 風險值為高。

5. 驗證

為了評估以上的水位異常概率表的效用，我們以 2006 年 1 月至 4 月 鯪魚涌潮水位高度和橫瀾島盛行風的資料來測試概率表的命中率 (POD) 和 虛報率 (FAR)，編制分別以中等和高風險值為預測基礎的相應列聯表 (表 6 和表 7)，表 6 是根據概率為中等和高風險值 ($p > 0.33$) 預計鯪魚涌水位 會超過 2.7 米的列聯表；表 7 是根據概率為高風險值 ($p > 0.66$) 預測 鯪魚涌水位會超過 2.7 米的列聯表。

根據以上列聯表可得出相關的命中率和虛報率，見表 8。從表 8 可看 到以中等和高風險值準則來預測水位異常的命中率相同，均為 1.0，而以高 風險值來預測的虛報率比較以中等風險值的為低，分別為 0.33 和 0.71。不 過因為今次驗證所用資料的時期較短，所以上述的驗證結果可能會有偏差。

6. 總結

我們根據 1996 至 2005 十年間的資料，研究冬季季候風情況下鯪魚涌驗潮站每日最大水位異常與橫瀾島日盛行風方向和日平均風速的關係。因為水位異常與風速的相關系數只有 0.51，兩者關係並不強，所以不宜採用線性迴歸方程式直接預測水位異常。

把橫瀾島日盛行風劃分為北風、東北風和東風三組，我們根據橫瀾島日平均風速得出水位異常概率表，再考慮南海有低氣壓時可能加強水位異常，從而編制了預測鯪魚涌水位到達臨界值的風險值，作為天氣預報員的工具。

為了測試水位異常概率表的效用，我們以 2006 年 1 月至 4 月的實況資料比較以中等風險值 ($p > 0.33$) 和高風險值 ($p > 0.66$) 預測鯪魚涌水位超過 2.7 米的命中率和虛報率。結果顯示兩個風險值為依據的命中率均達 1.0，而虛報率則分別為 0.33 和 0.71。由於用作測試的實況資料時期較短，日後有需要用更多的資料再行驗證。

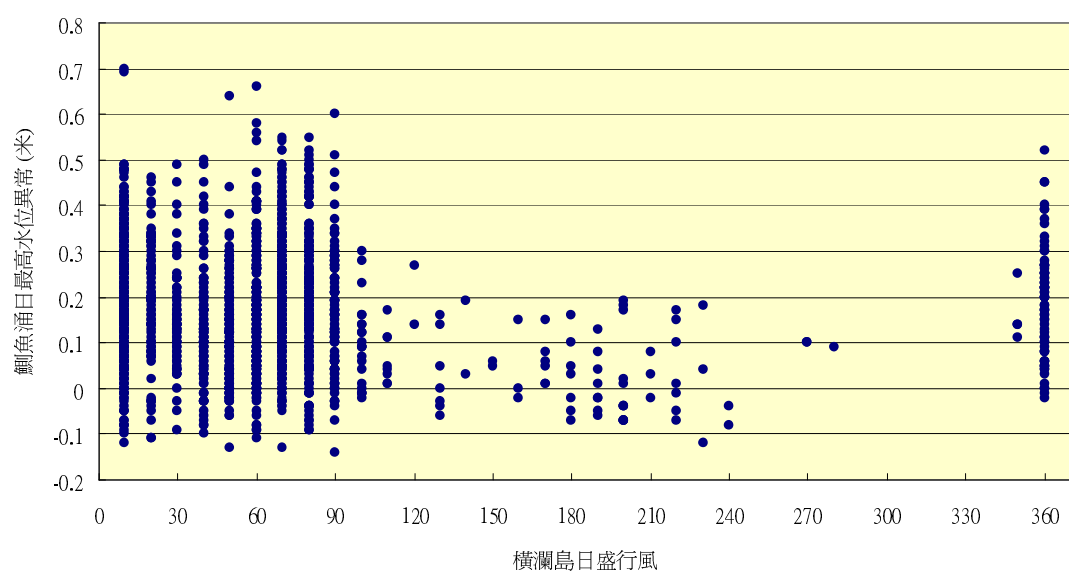


圖 1 鯽魚涌日最高水位異常與橫瀾島日盛行風散佈圖

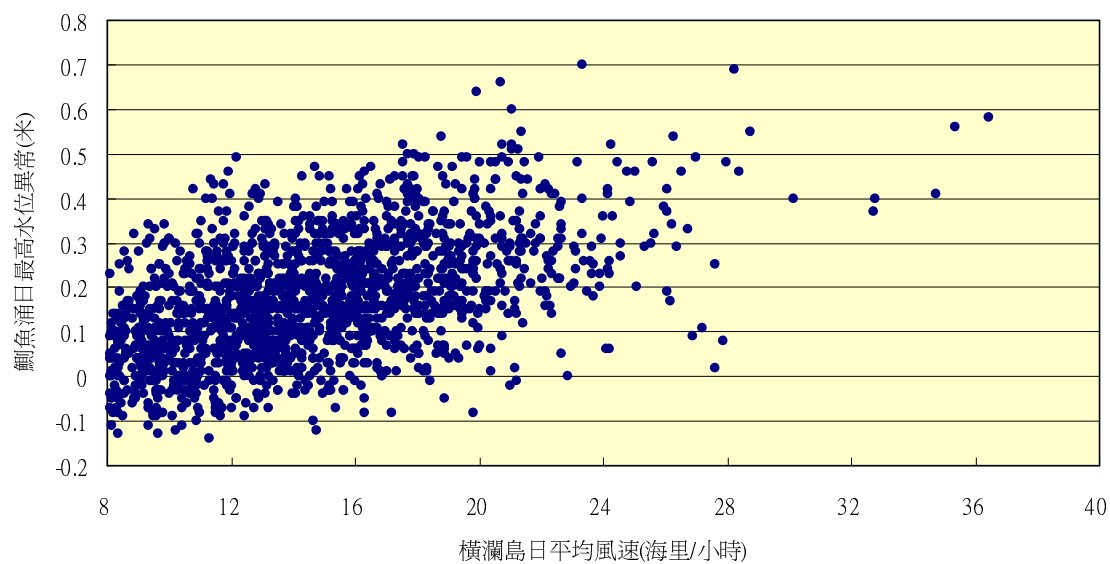


圖 2 鯽魚涌日最高水位異常與橫瀾島日平均風速散佈圖

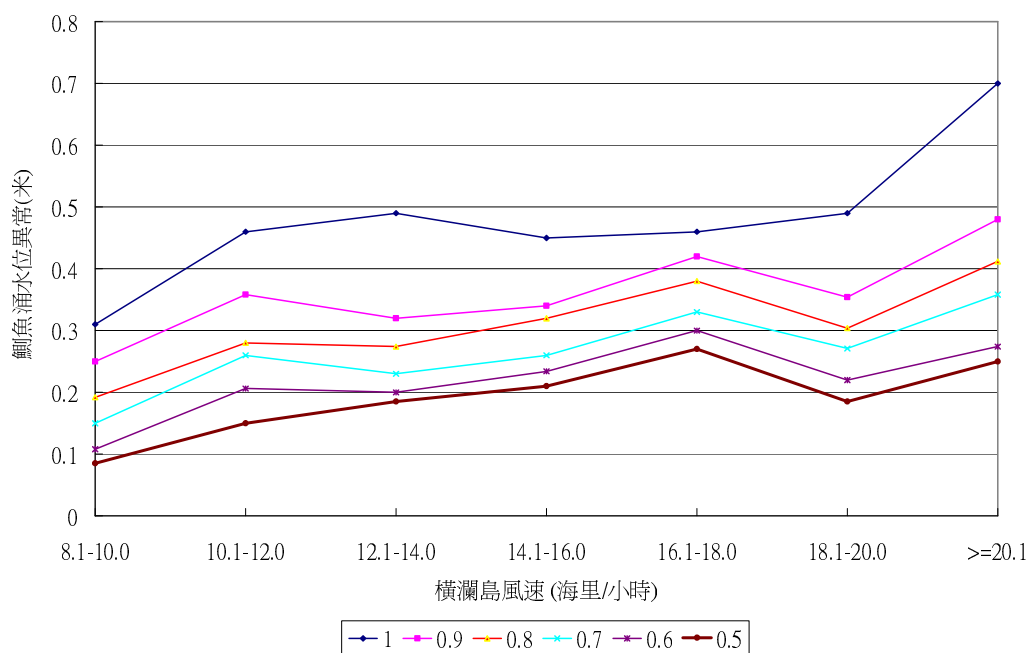


圖 3 橫瀾島吹北風時鯽魚涌水位異常之 50 至 100 百分位數

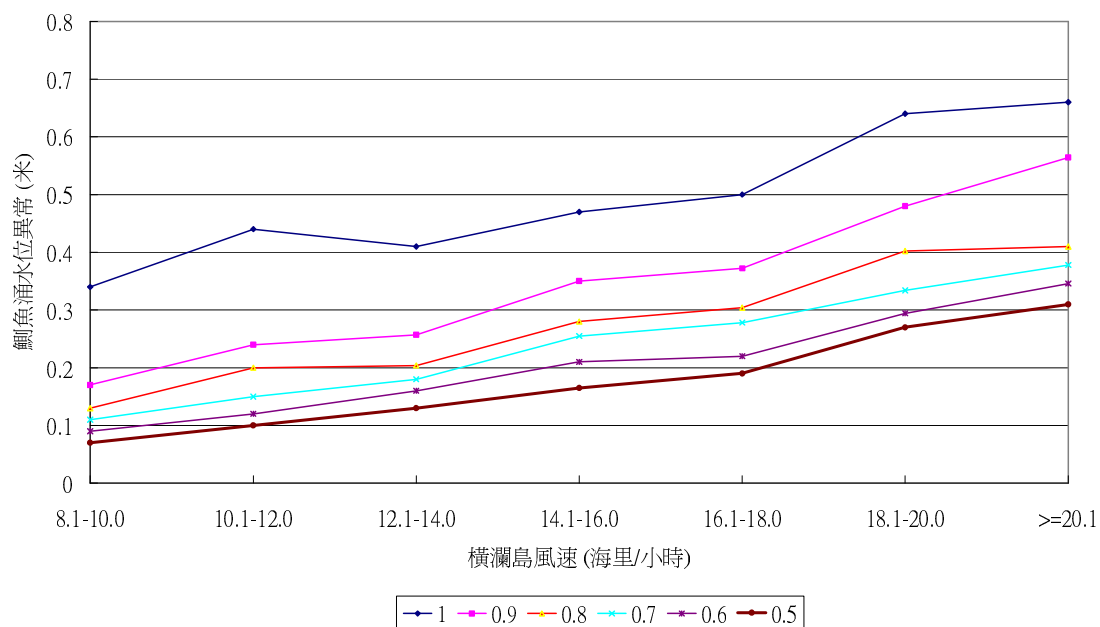


圖 4 橫瀾島吹東北風時鯽魚涌水位異常之 50 至 100 百分位數

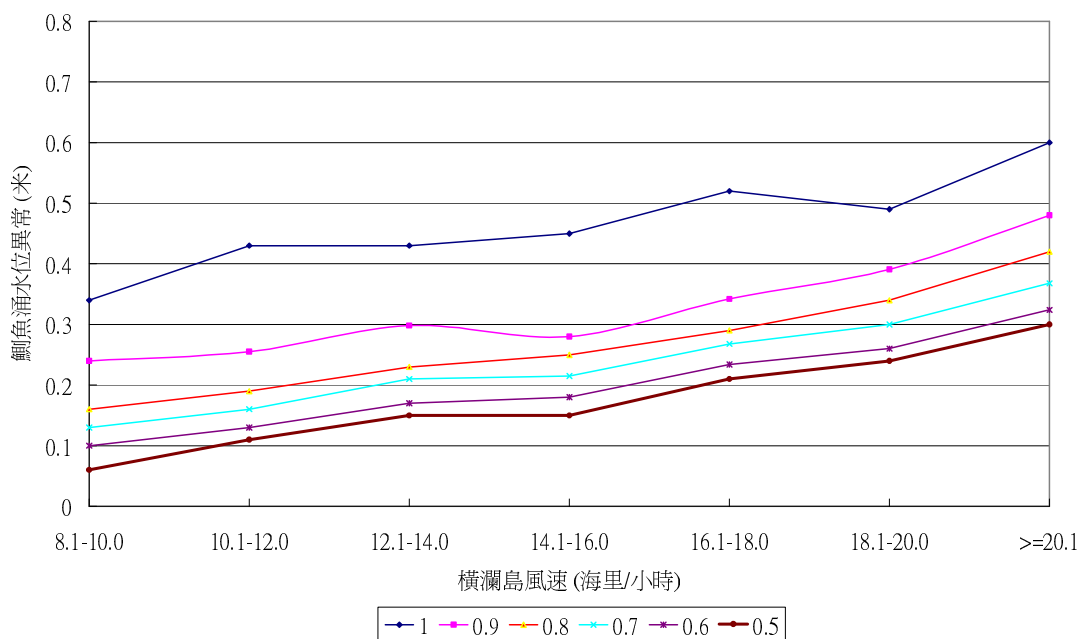


圖5 橫瀾島吹東風時鰓魚涌水位異常之50至100百分位數

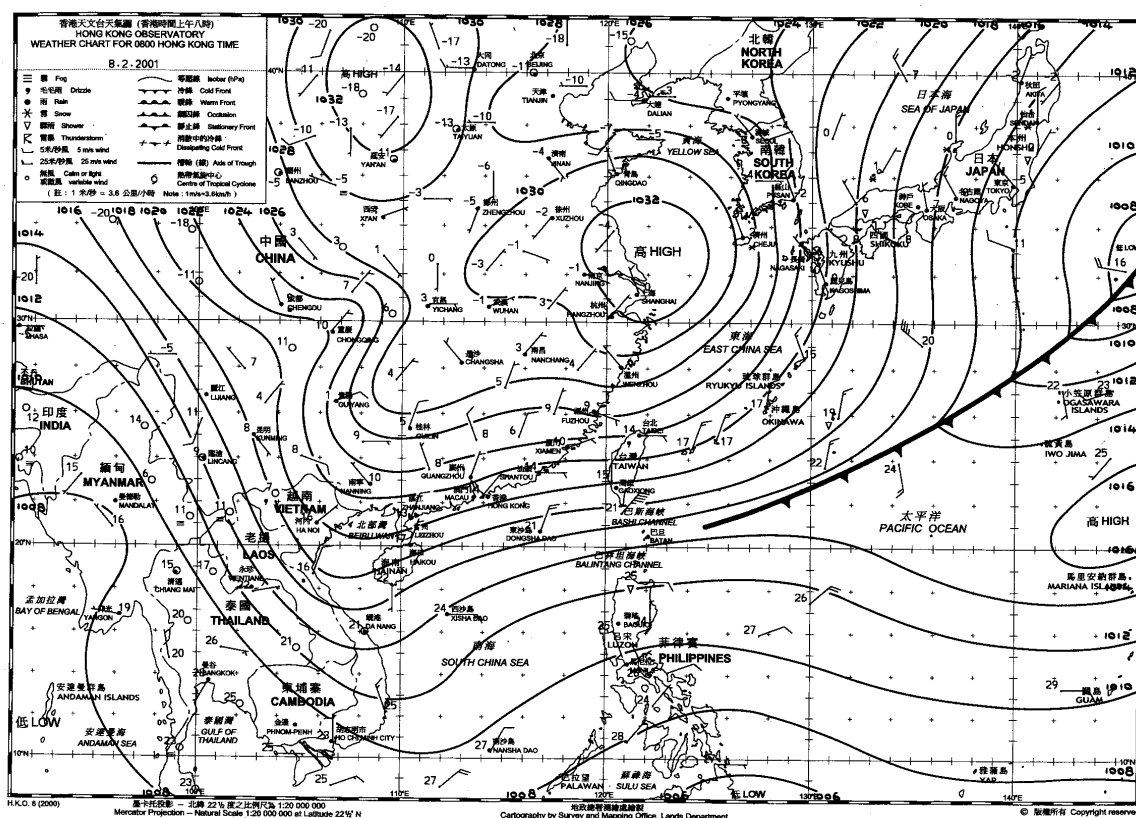


圖6 2001年2月8日00UTC天氣圖，當天鰓魚涌錄得最大水位異常0.49米

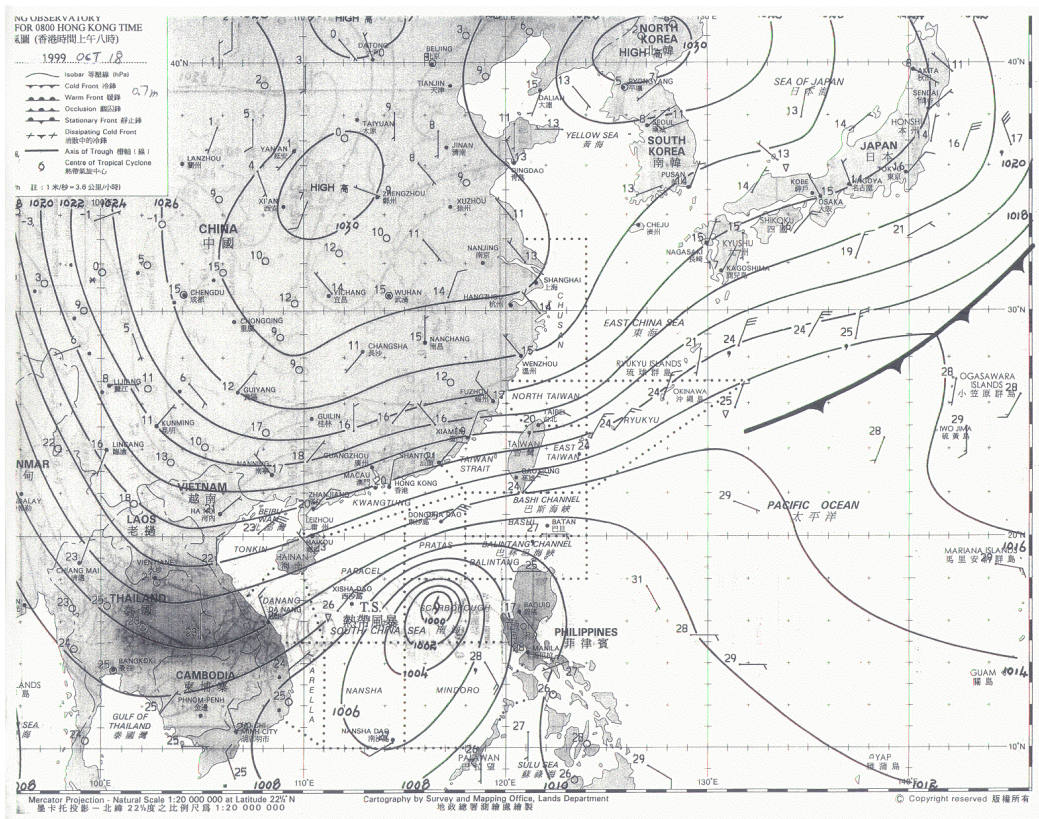


圖 8 (a) 1999 年 10 月 18 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.7 米

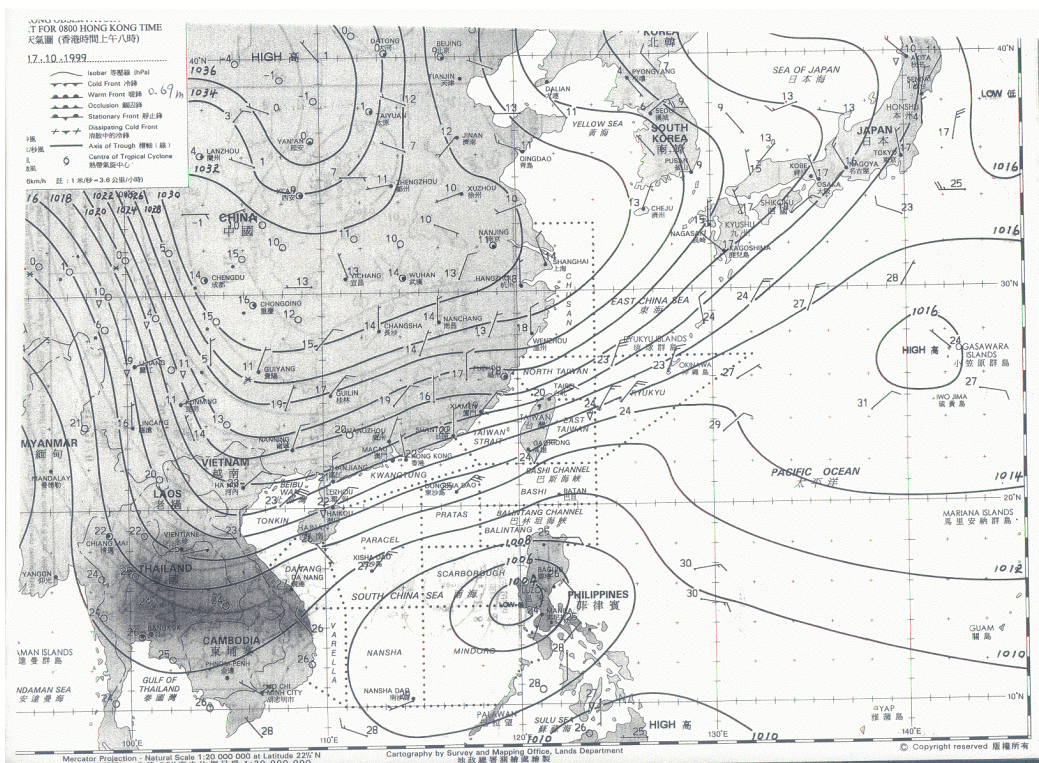


圖 8 (b) 1999 年 10 月 17 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.69 米

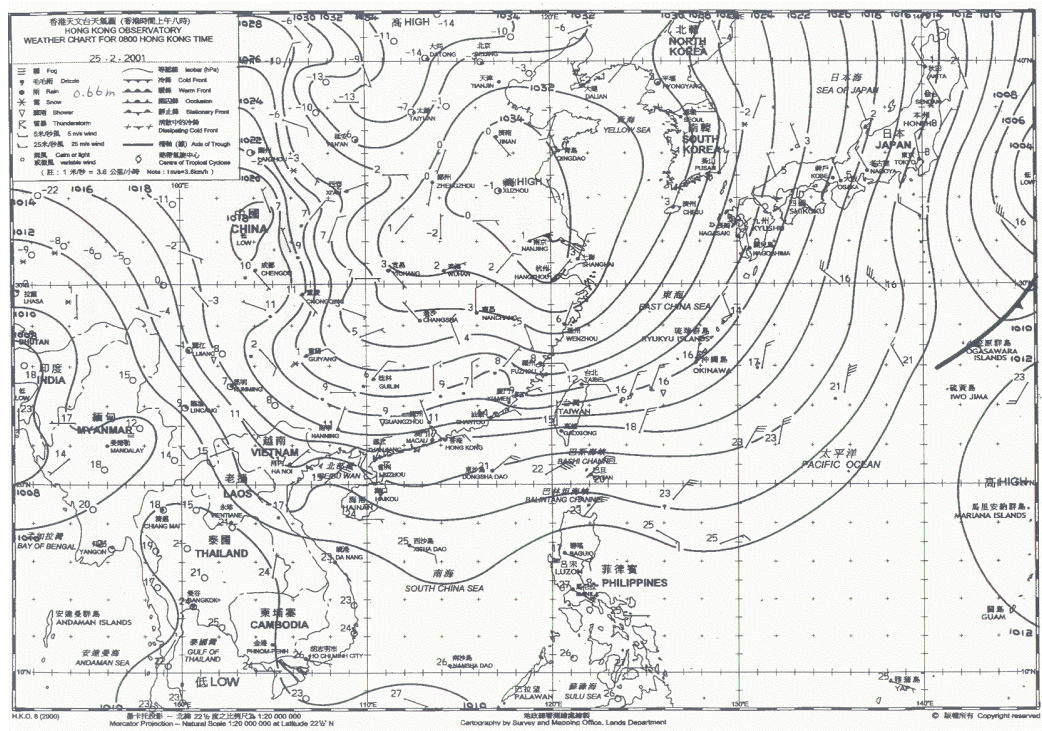


圖 8 (c) 2001 年 2 月 25 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.66 米

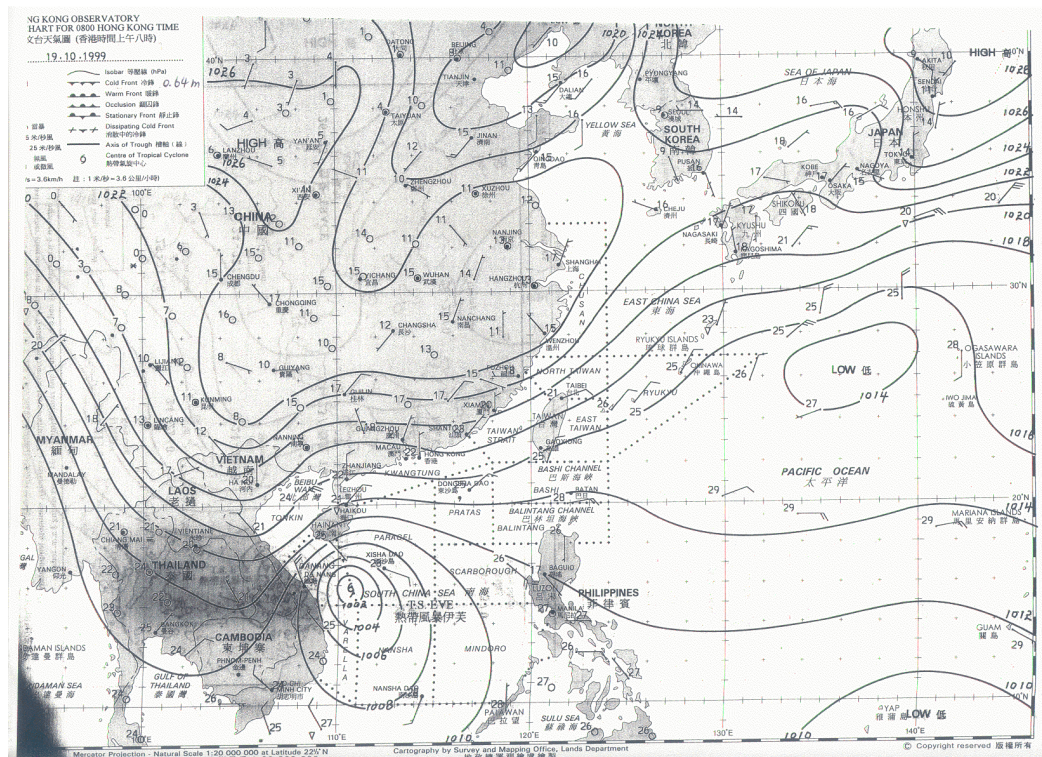


圖 8 (d) 1999 年 10 月 19 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.64 米

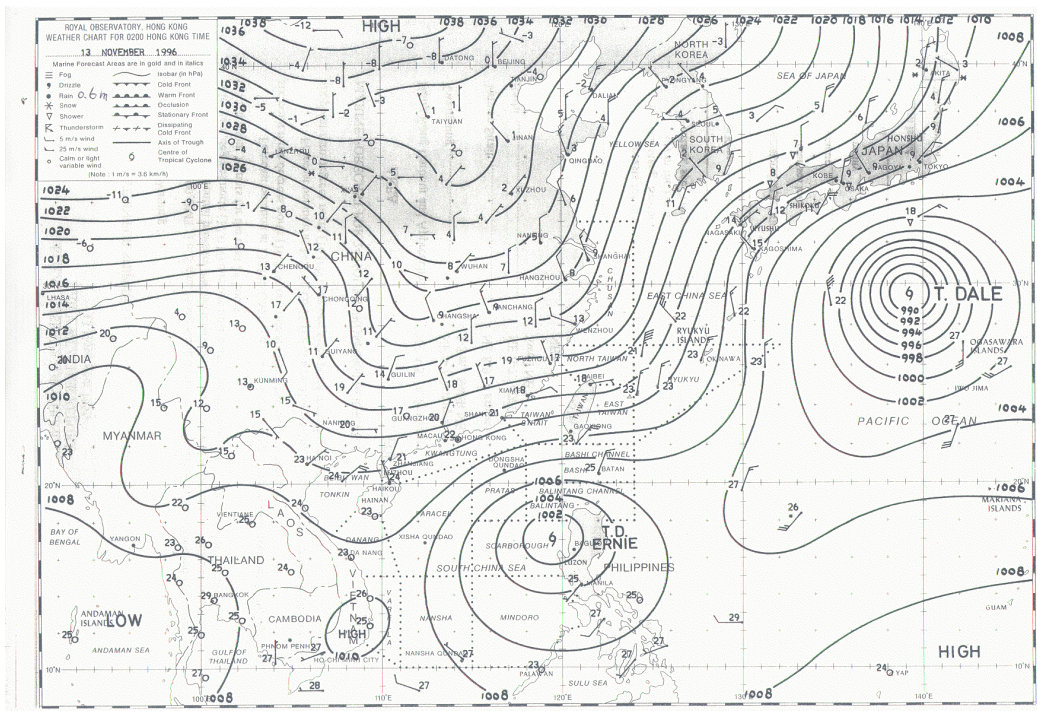


圖 8 (e) 1996 年 11 月 13 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.6 米

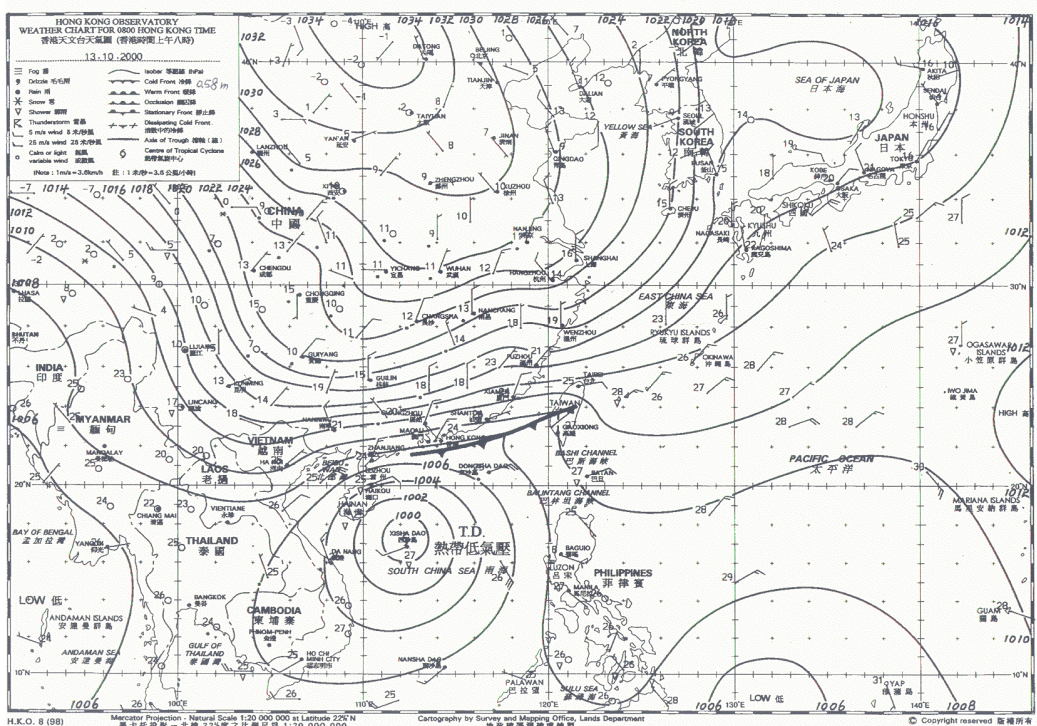


圖 8 (f) 2000 年 10 月 13 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.58 米

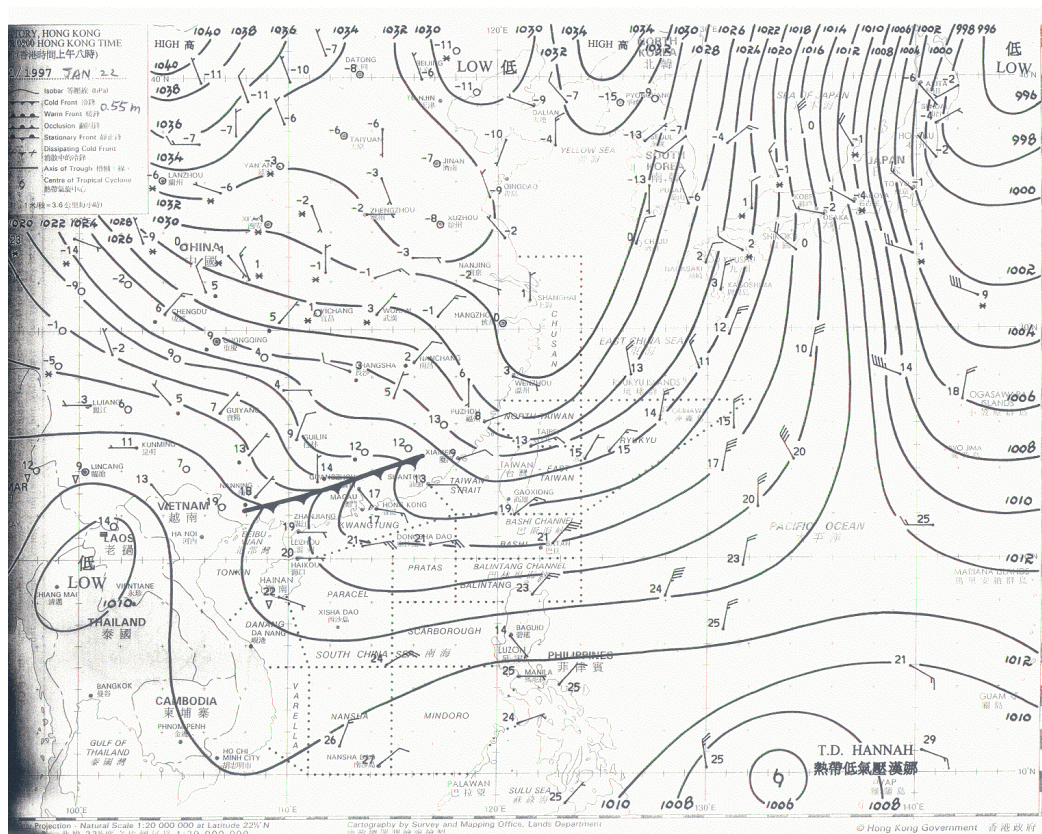


圖 8 (i) 1997 年 1 月 22 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.55 米

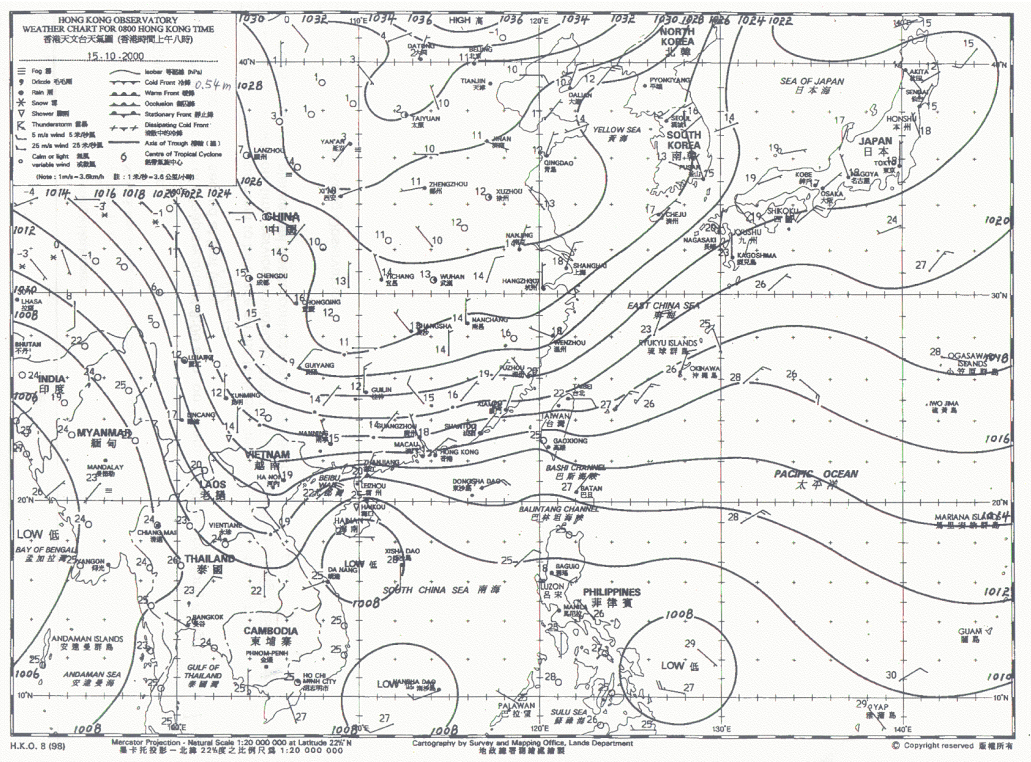


圖 8 (j) 2000 年 10 月 15 日 00UTC 天氣圖，當天鯪魚涌錄得最大水位異常 0.54 米

排列次序	日期 (年月日)	鯪魚涌日最高 水位異常 (米)	橫瀾島日 平均風速 (海里/小時)	橫瀾島日 盛行風 (度)	南海上 有低壓區 (或熱帶氣旋)
1	19991018	0.70	23.3	10	是
2	19991017	0.69	28.2	10	是
3	20010225	0.66	20.7	60	否
4	19991019	0.64	19.9	50	是
5	19961113	0.60	21.1	90	是
6	20001013	0.58	36.4	60	是
7	20001014	0.56	35.4	60	是
8	19990323	0.55	21.4	70	否
9	19970122	0.55	28.7	80	否
10	20001015	0.54	26.3	70	是

表 1 鯪魚涌錄得的十大水位異常

	橫瀾島風向					
	北		東北		東	
	南海有 低壓區	南海沒有 低壓區	南海有 低壓區	南海沒有 低壓區	南海有 低壓區	南海沒有 低壓區
平均數（米）	0.30	0.23	0.39	0.24	0.28	0.26
標準差（米）	0.18	0.14	0.17	0.13	0.14	0.12
觀察值個數	22	147	11	106	45	285
均數差（米）	0.07		0.16		0.03	
自由度	25		11		55	
臨界值（單尾）	1.71		1.80		1.67	
t - 統計值	1.88		2.90		1.03	
P 數值（單尾）	0.04		0.01		0.15	
達 5% 顯著水平	是		是		否	

表 2 橫瀾島不同風向下鰂魚涌平均最高水位異常差 t-驗證的結果
（假設樣本的方差不相等）

水位異常 (米)	橫瀾島日平均風速(海里/小時)						
	8.1-10.0	10.1-12.0	12.1-14.0	14.1-16.0	16.1-18.0	18.1-20.0	>=20.1
> 0.1	0.42	0.64	0.86	0.88	0.86	0.73	0.73
> 0.2	0.20	0.42	0.40	0.53	0.70	0.43	0.47
> 0.3	0.05	0.16	0.16	0.22	0.40	0.17	0.34
> 0.4	-	0.05	0.04	0.01	0.17	0.04	0.16
> 0.5	-	-	-	-	-	-	0.02
> 0.6	-	-	-	-	-	-	-
觀察值個數	42	71	84	86	63	45	36

表 3 橫瀾島吹北風時鰂魚涌水位異常概率表

水位異常 (米)	橫瀾島日平均風速(海里/小時)						
	8.1-10.0	10.1-12.0	12.1-14.0	14.1-16.0	16.1-18.0	18.1-20.0	>=20.1
> 0.1	0.35	0.53	0.58	0.75	0.82	0.95	0.96
> 0.2	0.07	0.20	0.20	0.42	0.48	0.66	0.88
> 0.3	0.02	0.03	0.05	0.18	0.20	0.37	0.55
> 0.4	-	-	-	0.04	0.02	0.15	0.16
> 0.5	-	-	-	-	-	0.03	0.05
> 0.6	-	-	-	-	-	-	0.02
觀察值個數	108	90	99	84	61	30	15

表 4 橫瀾島吹東北風時鰂魚涌水位異常概率表

水位異常 (米)	橫瀾島日平均風速(海里/小時)						
	8.1-10.0	10.1-12.0	12.1-14.0	14.1-16.0	16.1-18.0	18.1-20.0	>=20.1
> 0.1	0.40	0.49	0.65	0.66	0.86	0.92	0.99
> 0.2	0.16	0.16	0.35	0.30	0.51	0.70	0.84
> 0.3	0.04	0.03	0.10	0.07	0.16	0.33	0.50
> 0.4	-	-	-	0.01	0.07	0.08	0.23
> 0.5	-	-	-	-	-	-	0.04
> 0.6	-	-	-	-	-	-	-
觀察值個數	53	54	92	92	102	81	100

表 5 橫瀾島吹東風時鰂魚涌水位異常概率表

		觀測值		
		個案	2.7 米及以上	2.7 米及以下
預測值	2.7 米及以上	2	5	
	2.7 米及以下	0	77	

表 6 根據中等風險值為基礎的預測列聯表

		觀測值		
		個案	2.7 米及以上	2.7 米及以下
預測值	2.7 米及以上	2	1	
	2.7 米及以下	0	81	

表 7 根據高風險值為基礎的預測列聯表

	根據中等風險值為基礎的預測 ($P > 0.33$)	根據高風險值為基礎的預測 ($P > 0.66$)
命中率	1.00	1.00
虛報率	0.71	0.33

表 8 根據中和高風險值預測的命中率和虛報率