

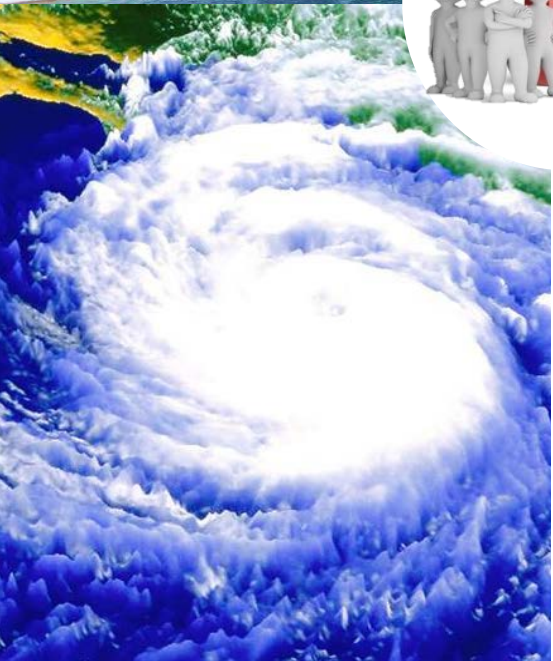


颱風來臨前預降水庫水位以促進 防洪運轉及水力發電之決策分析



周乃昉¹、吳嘉文²、
李文生³

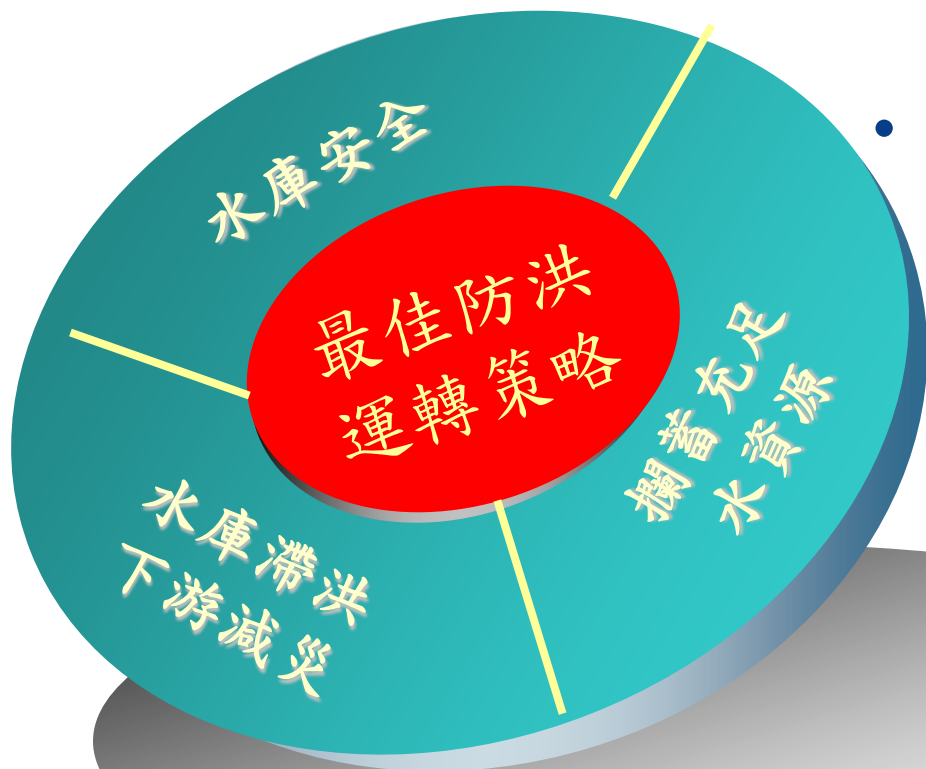
- 1.成大水利系教授
- 2.成大水利系兼任助理教授
、水科技中心研發副主任
- 3.多采科技公司副總經理



105年天氣分析與預報研討會



水庫防洪運轉欲達成之主要目標



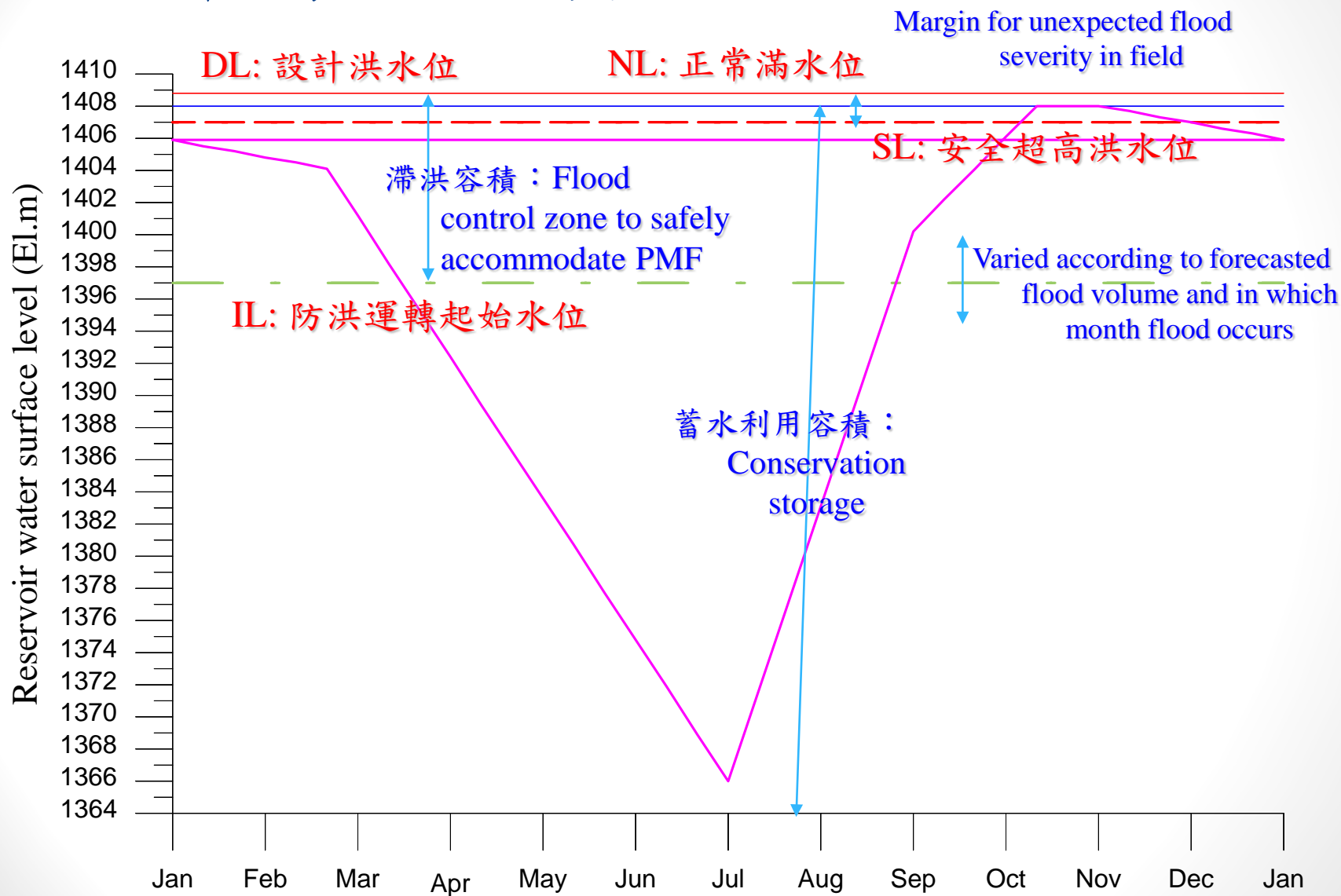
防洪運轉

- 颱風或豪雨情況，經由排洪隧道或其他放水設施放水之運轉

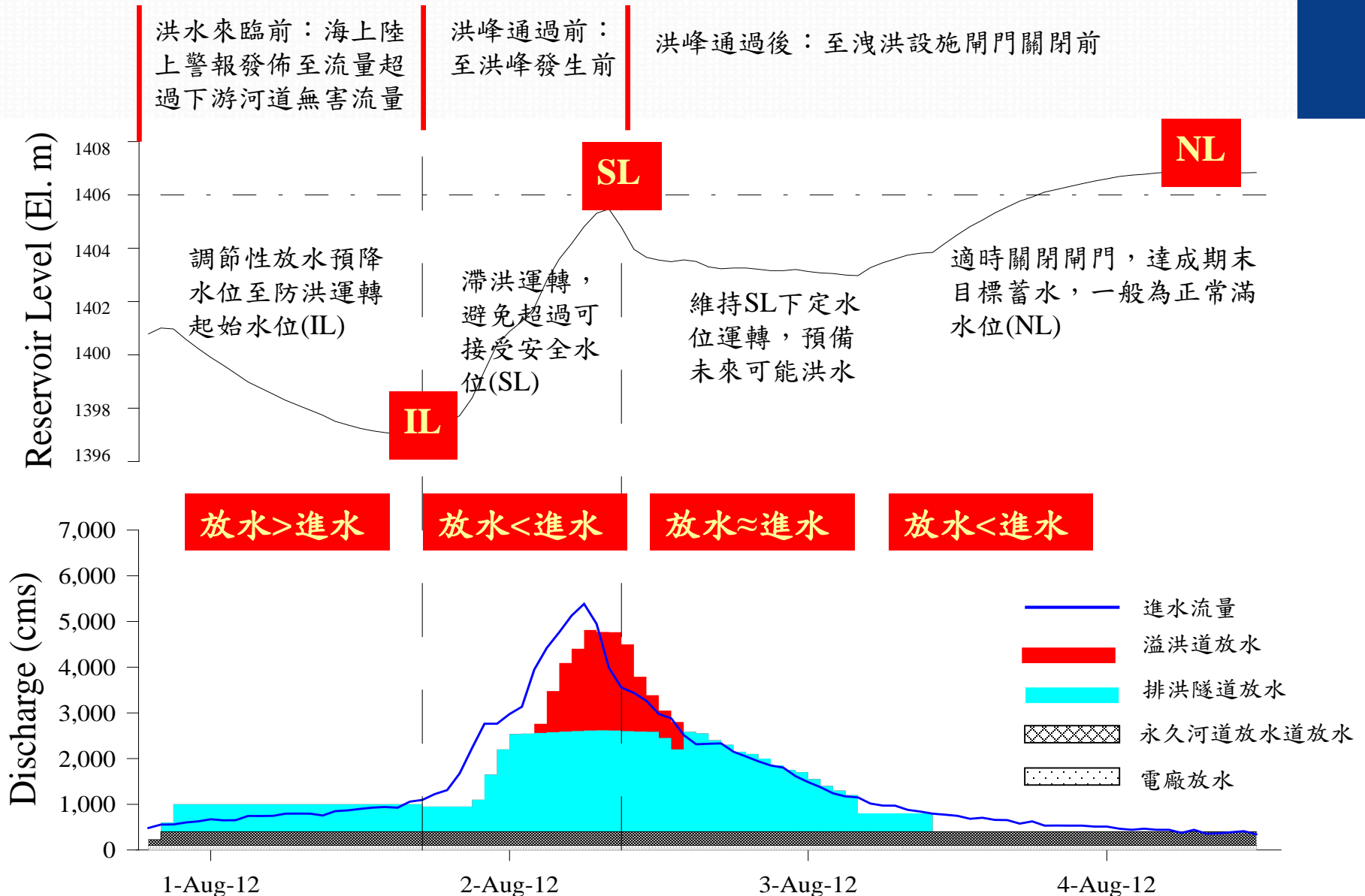
禁忌

- 危及水庫安全、造成人工洪水、期末蓄水不足致缺水
- 水庫安全
 - 洪水期間水庫水位不溢頂？
 - 設計洪水位？
 - 運轉期間允許之安全超高水位
- 水庫滯洪以對下游減災
 - 運用預留之滯洪空間調蓄洪水
- 攔蓄充足水資源
 - 適時關閉閘門，攔蓄足夠水資源，以達成期末目標蓄水，確保供應後續水資源需求

水庫蓄水容積配置



分階段之水庫防洪運轉



洪水來臨前階段：決定目標預降水位

可參考即時資訊：氣象局預測總降雨量

提供決策參考：是否需執行調節性放水、可最大化發電效益且不顯著影響供水之目標預降水位為何？

- 決策內容

- 決定目標預降水位

- 決策目標

- 儘量最大化發電效益
- 儘量確保水庫達成期末目標蓄水
 - 不顯著影響未來供水可靠度

- 不確定性

- 颱風總降雨量、颱風後水庫進水量

104年第21號颱風各地區總雨量預測

中央氣象局發布

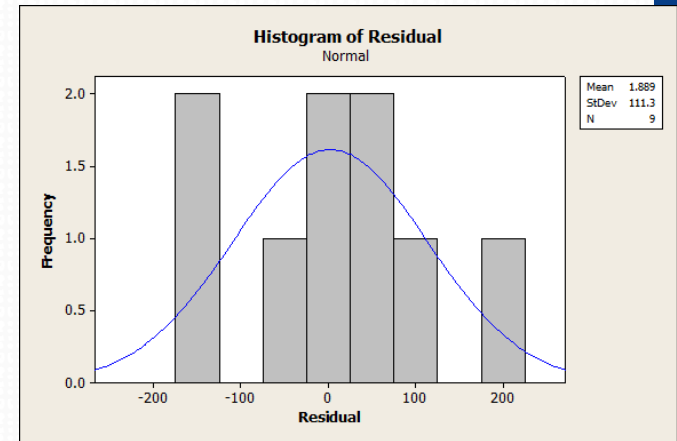
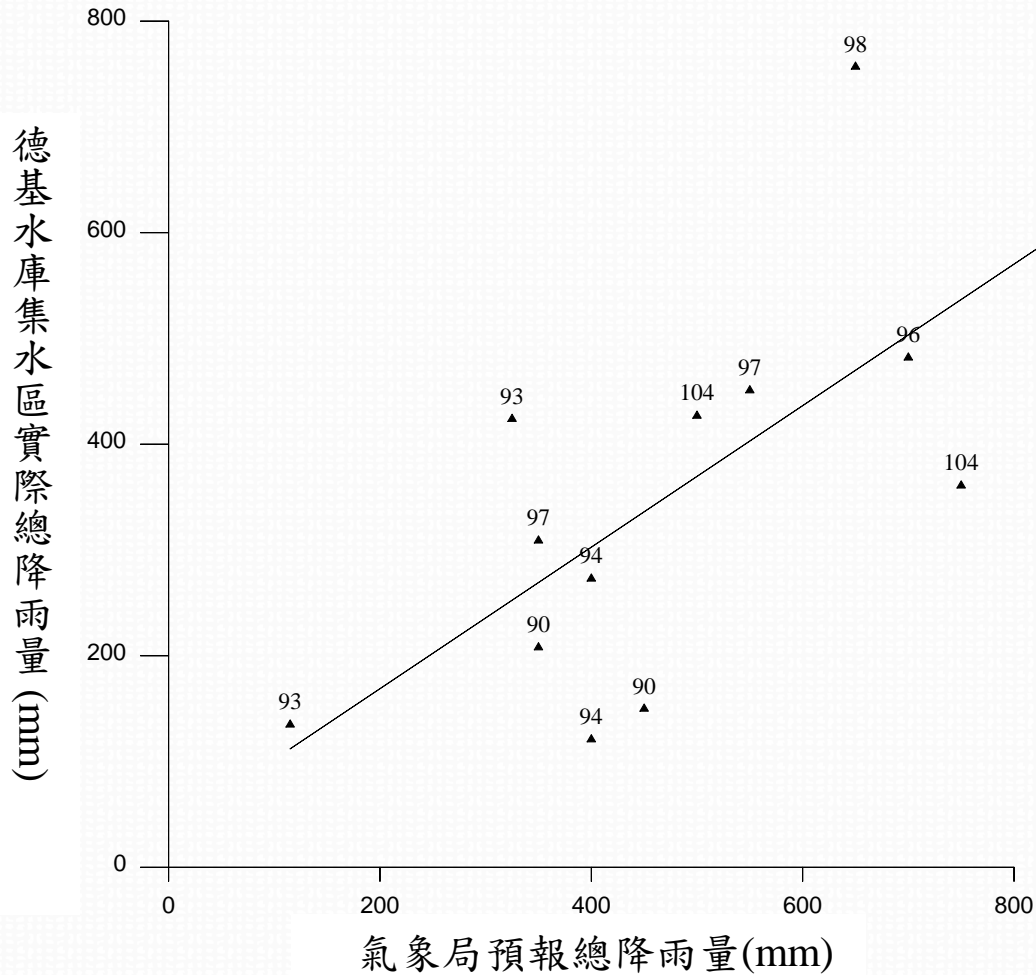
發布時間：104年09月27日19時00分

分區	總雨量(毫米)	
	平地	山區
基隆市	200-400	
台北市	300-500	500-800
新北市	300-600	600-900
桃園市	300-600	400-700
新竹市	200-400	
新竹縣	300-500	500-800
苗栗縣	300-500	500-800
臺中市	150-300	500-800
彰化縣	100-200	
南投縣	200-400	400-700
雲林縣	150-300	200-400
嘉義市	150-300	
嘉義縣	200-400	400-600
臺南市	200-400	300-500
高雄市	200-400	300-600
屏東縣	200-400	300-600
恆春半島	100-200	
宜蘭縣	400-600	600-900
花蓮縣	300-500	400-700
臺東縣	150-300	200-400
蘭嶼綠島	80-150	
連江縣	80-150	
金門縣	50-100	
澎湖縣	150-300	

註：此為颱風警報期間之累積雨量，此預測將根據最新氣象資料而做調整。

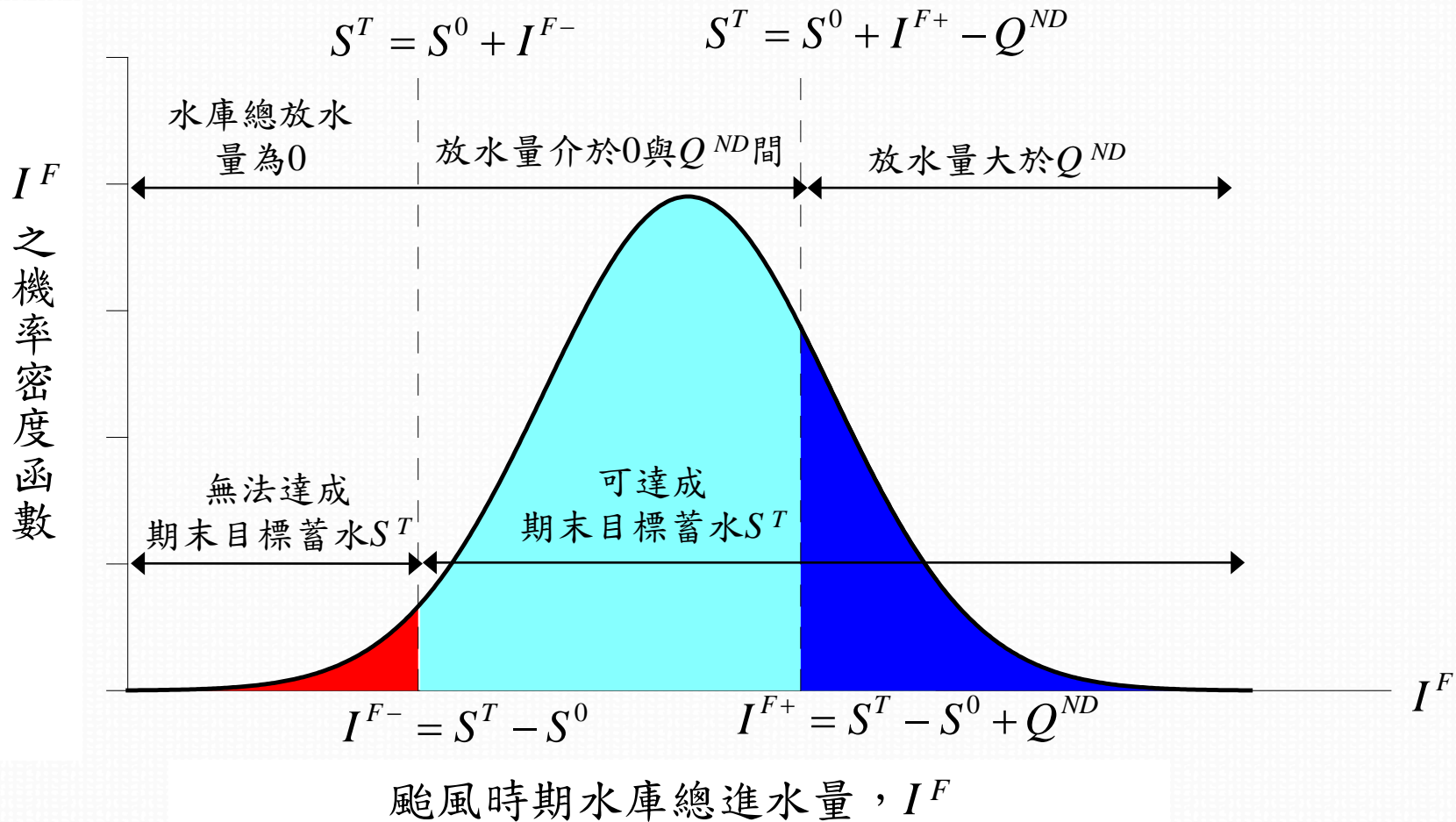
預定下次發布時間：104年09月27日22時00分

$$\text{實際降雨量} = 0.568 \cdot \text{氣象局預報平均總降雨量} + 52.92 + \varepsilon_1 \quad \varepsilon_1 \sim N(1.9, 111.3)$$



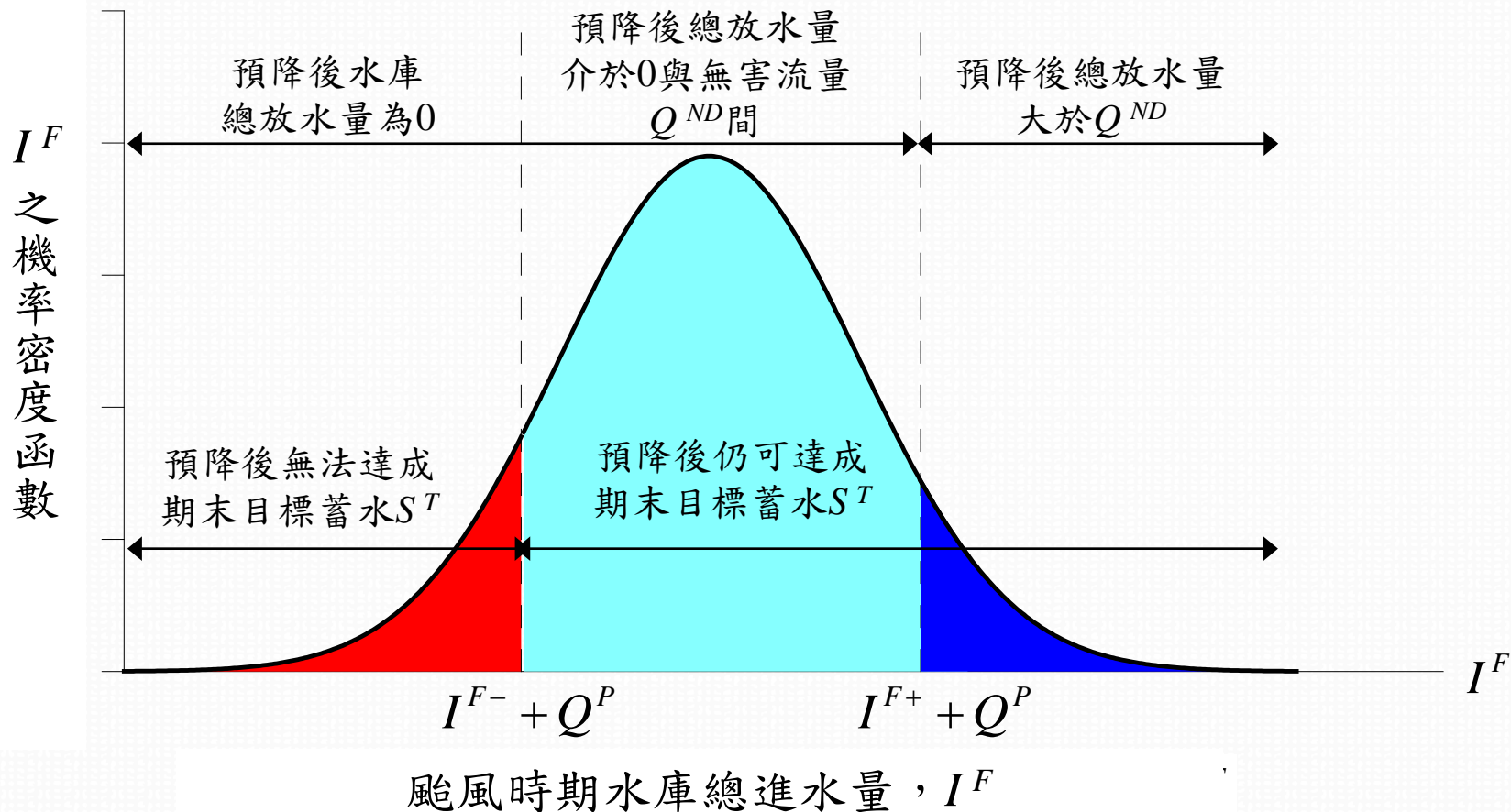
水庫進水流量不確定性 [1/2]

- 依氣象局歷年預測總降雨量與水庫集水區實際總降雨量
- 以NRCS-CN法推估可能總進水量 I^F ，建立機率密度函數
 - 假設自 S^0 開始運轉，期末蓄水 = $S^0 + I^F -$ 總放水量
 - 假設洪水期間期望之總放水量為 Q^{ND} ，期末目標蓄水為 S^T



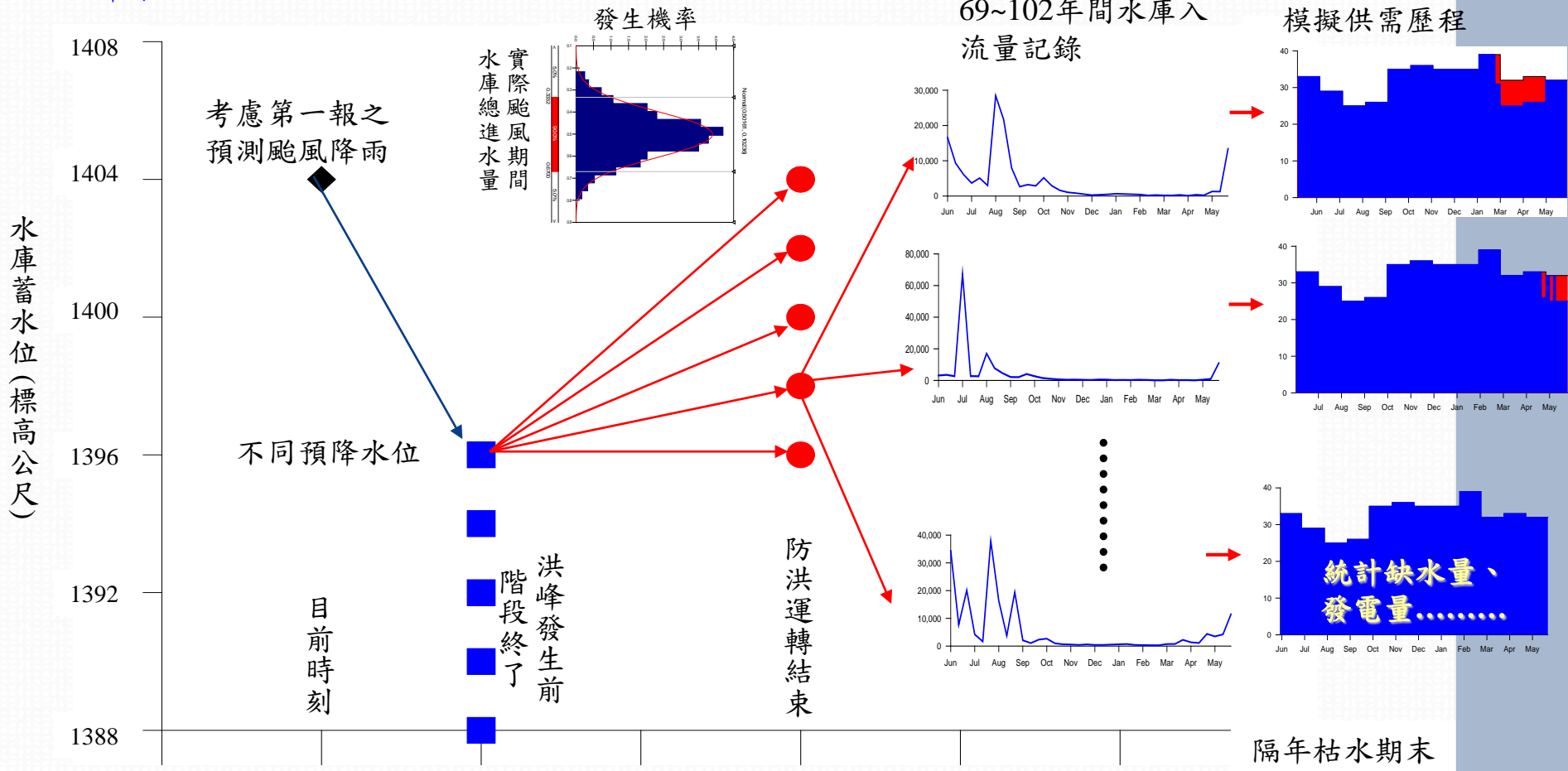
水庫進水流量不確定性 [2/2]

- 預先洩放水量 Q^P 後起始運轉蓄水降為 $S^P = S^0 - Q^P$
 - 預降操作可避免放水量超過 Q^{ND} ，但也降低達成期末目標蓄水機會
 - 無法達成期末蓄水對後續供水、發電有何影響？



不同水位對應之未來缺水風險

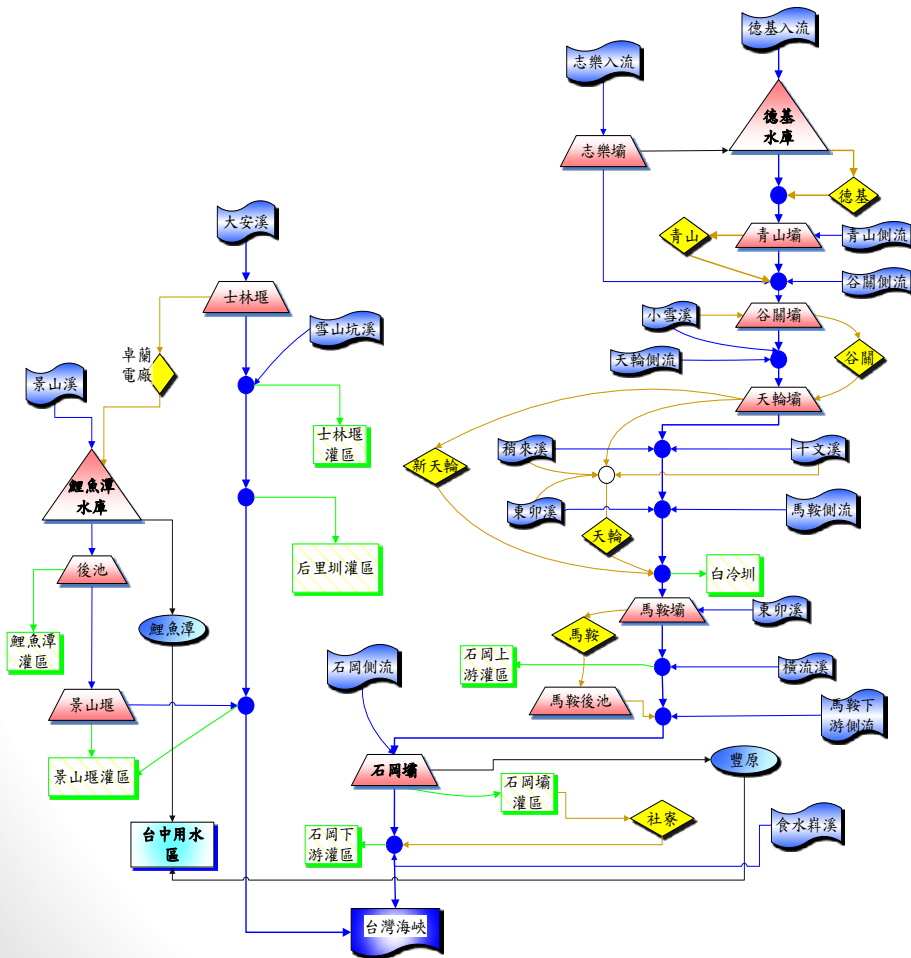
- 對每一候選預降水位，建立氣象局預報總降雨量與未來減供水率、水庫發電量之條件機率密度函數
- 決策分析：在減供水率之機率可接受下，建議最大化至枯水期末之期望發電量之目標預降水位



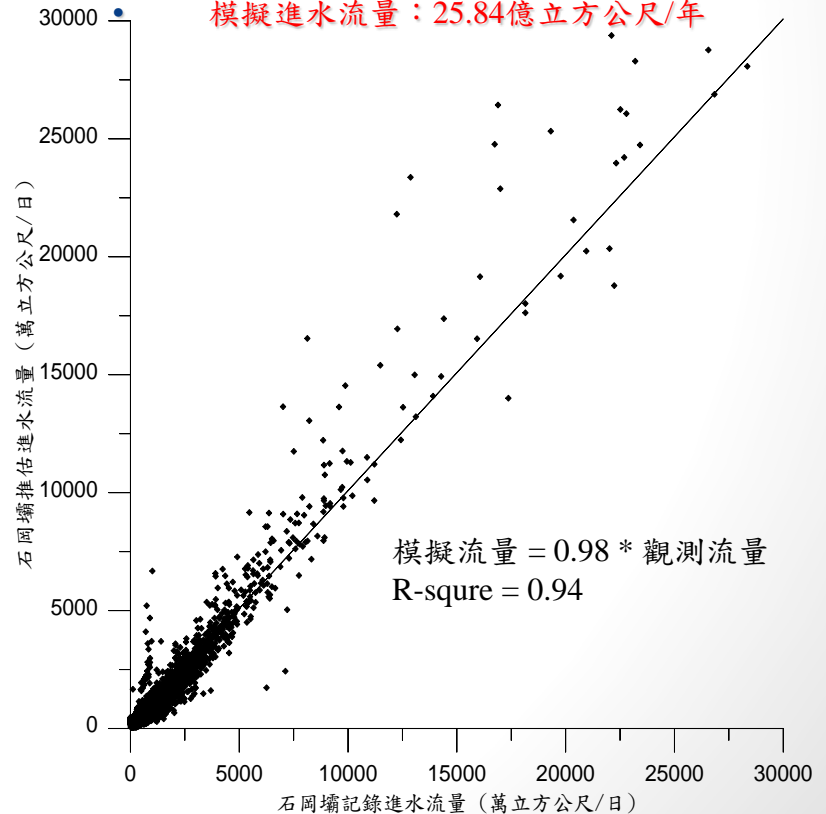
水源供需運用模擬工具：

WRASIM模式建置之大安大甲溪流流域水資源系統

(大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃、大安大甲溪水資源聯合運用輸水工程計畫-因應二階環評及穩定供水替代方案對策研擬、鯉魚潭水庫運用規線檢討)



- 模式驗證：石岡壩觀測與模擬流量
- 民國69~102年
- 觀測進水流量：26.32億立方公尺/年
- 模擬進水流量：25.84億立方公尺/年



不同預降水位之缺水風險評估

— 計算各預降水位是否符合決策準則

- 準則：預降後缺水增量百分比大於可接受門檻之發生機率應小

— 缺水增量百分比

- $d^R = \text{因預降而致之缺水增量} / \text{未預降情境下枯水季總獲供量}$

— 缺水增量：直接關係經濟損失

- 預降應避免顯著影響到供水
- 預降後缺水增量比例與發生機率為主要關切的影響

— 可接受門檻

- 例：缺水增量比例小於1~3%、發生機會低於3%
- 為可利用水資源管理手段調節之範圍

缺水增量百分比

旬數	各旬至枯水期 末總需水量(m ³)	缺水增量百分比：0.01		缺水增量百分比：0.03		缺水增量百分比： 0.05	
		增加缺水量(萬 m ³)	增加缺水 日數	增加缺水量 (萬m ³)	增加缺水 日數	增加缺水量 (萬m ³)	增加缺水 日數
六月上旬	65,148	651	3.72	1954	11.17	3257	18.61
六月中旬	63,382	634	3.62	1901	10.87	3169	18.11
六月下旬	61,617	616	3.52	1849	10.56	3081	17.60
七月上旬	59,852	599	3.42	1796	10.26	2993	17.10
七月中旬	57,962	580	3.31	1739	9.94	2898	16.56
七月下旬	56,072	561	3.20	1682	9.61	2804	16.02
八月上旬	53,993	540	3.09	1620	9.26	2700	15.43
八月中旬	56,072	561	3.20	1682	9.61	2804	16.02
八月下旬	50,070	501	2.86	1502	8.58	2504	14.31
九月上旬	47,913	479	2.74	1437	8.21	2396	13.69
九月中旬	45,952	460	2.63	1379	7.88	2298	13.13
九月下旬	43,990	440	2.51	1320	7.54	2200	12.57
十月上旬	42,029	420	2.40	1261	7.20	2101	12.01
十月中旬	40,068	401	2.29	1202	6.87	2003	11.45
十月下旬	38,106	381	2.18	1143	6.53	1905	10.89
十一月上旬	35,949	359	2.05	1078	6.16	1797	10.27

不同預降水位之缺水風險評估

一 相對於既定之防洪運轉起始蓄水 S^I ，估算各預降蓄水所對應之缺水增量百分比之機率密度函數

- 忽略當旬水庫進水量與未來水庫進水過程之序率性
- 假設颱風過後至當旬結束期間的水庫進水量變異較小，可由歷年相同旬內未發生颱風時期的平均進水量近似估計

$$f_{d^R}(d^R = x | S^I, S^P) = \int f_{P|P^F}(P = y | P^F) \cdot$$

已知預報颱風總降雨量 P^F ，實際颱風總降雨量 P 之條件機率密度函數

將水庫蓄水自 S^I 增加預降至 S^P 時，系統自目前至隔年枯水季末之缺水增量百分比的機率密度函數

$$f_{d^R}[d^R = x | S_{S^I}^E(y, \bar{I}^R), S_{S^P}^E(y, \bar{I}^R)] \cdot dy$$

本旬末蓄水自 SE_{S^I} 降至 SE_{S^P} 時之缺水率條件機率密度函數

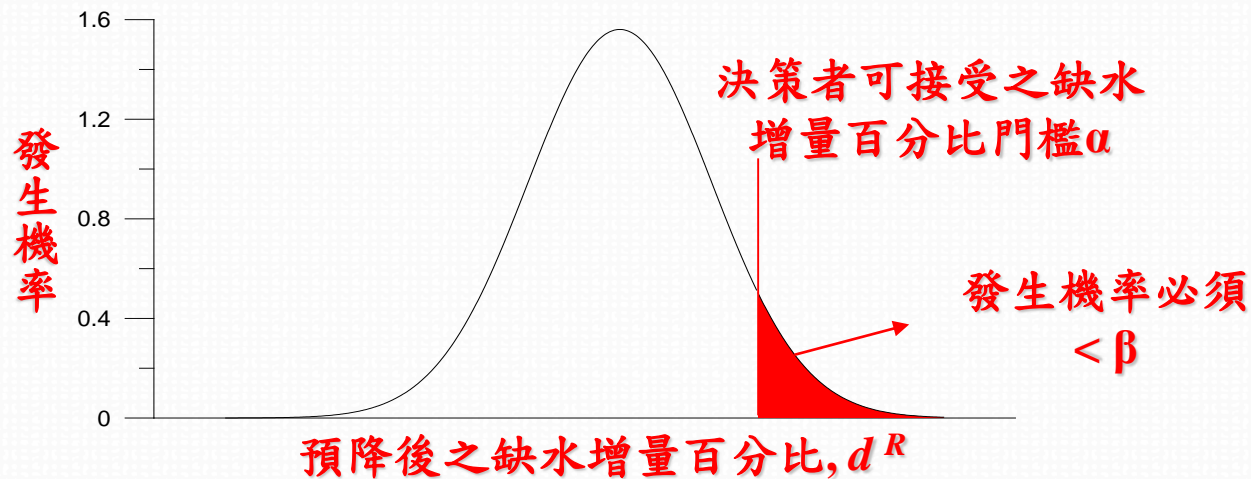
颱風來臨前目標預降水位評估

- 目標：最大化期望發電量

Maximize 預降過程之發電量 +
防洪運轉期間期望發電量 +
洪水過後至枯水期末之期望發電量

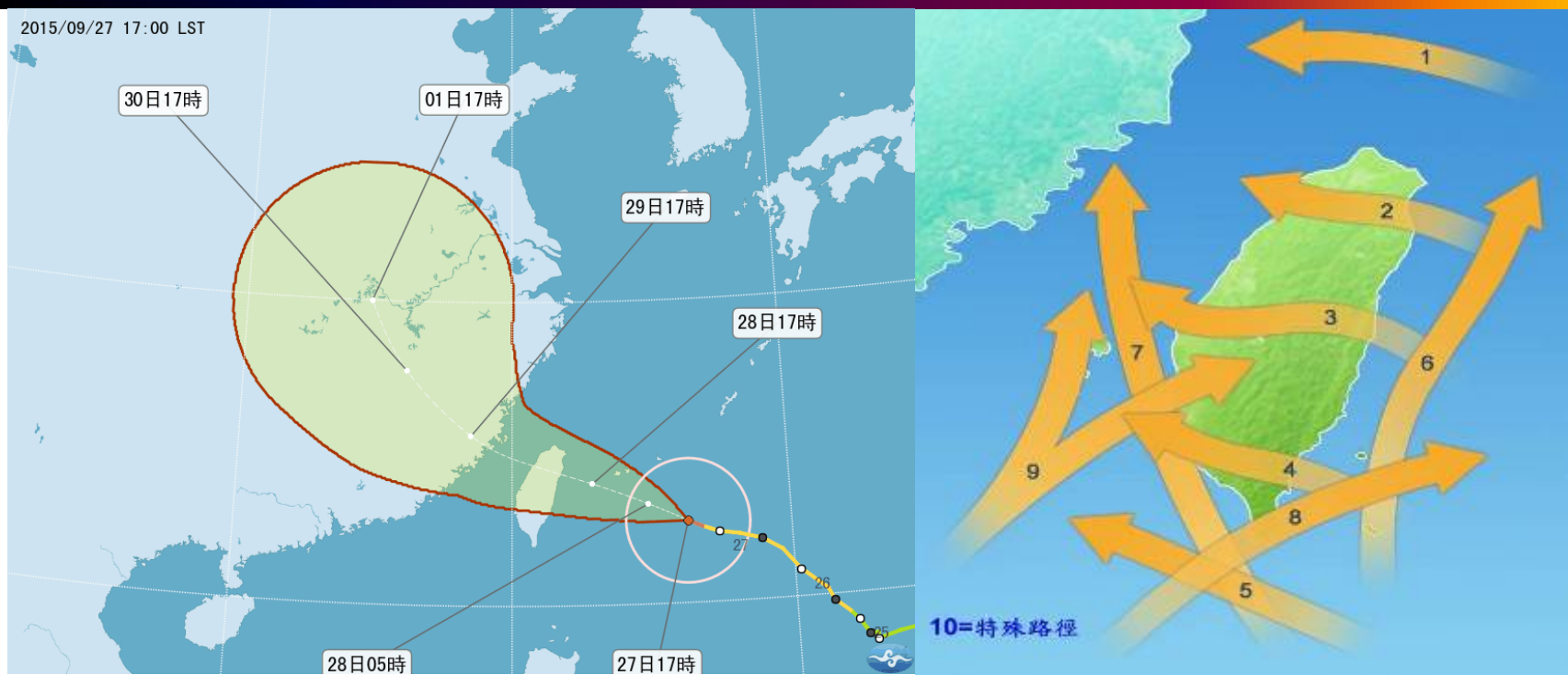
- 限制：預降後缺水增量百分比大於可接受門檻之機率應小於 β

$$1 - F_{d^R}(d^R \leq \alpha | S^I, S^P) \leq \beta$$



德基水庫預降決策、運轉策略建議

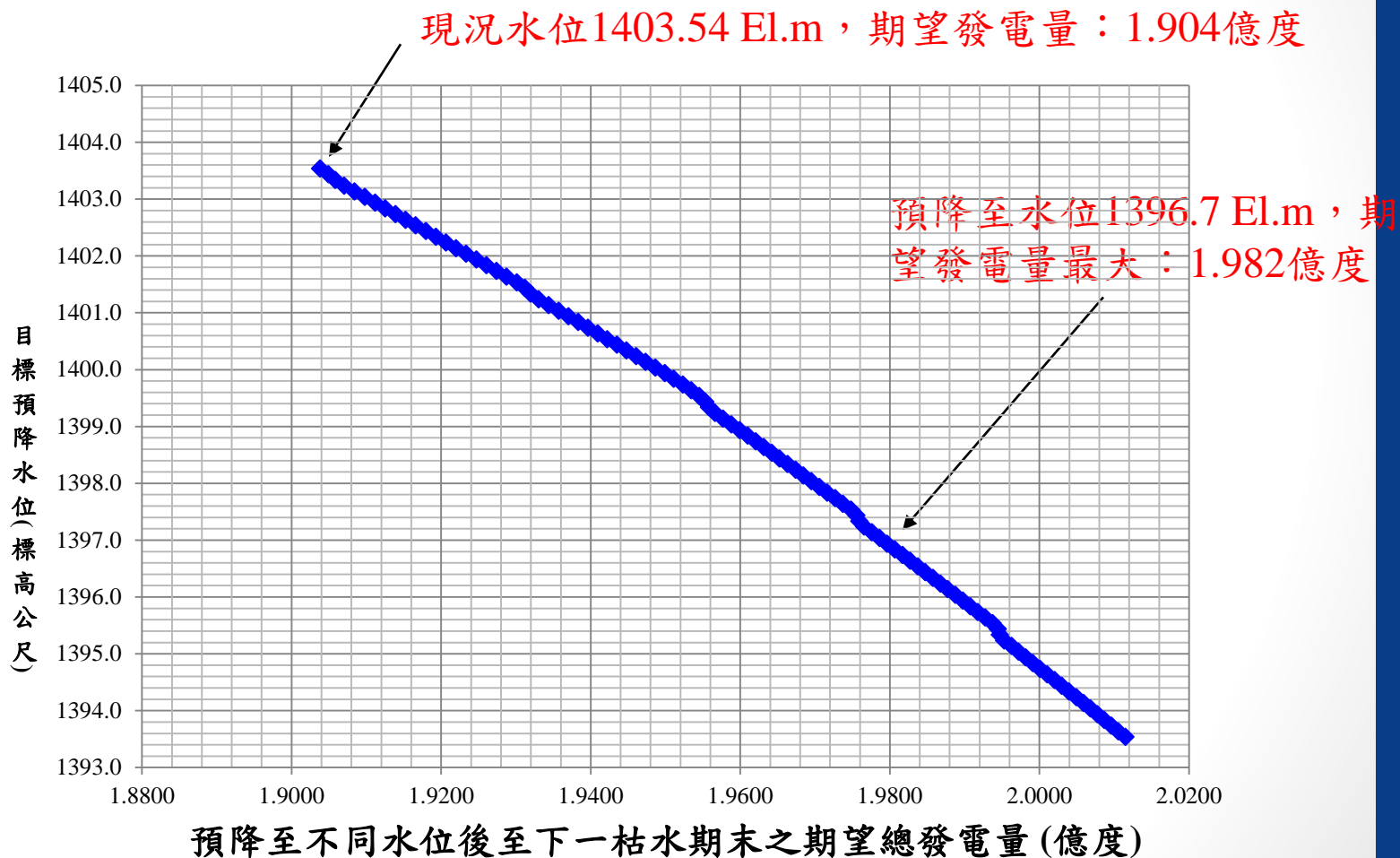
2015/09/27/1900_杜鵑颱風



成大水利海洋研究發展文教基金會
中華民國一〇六年四月十四日星期五

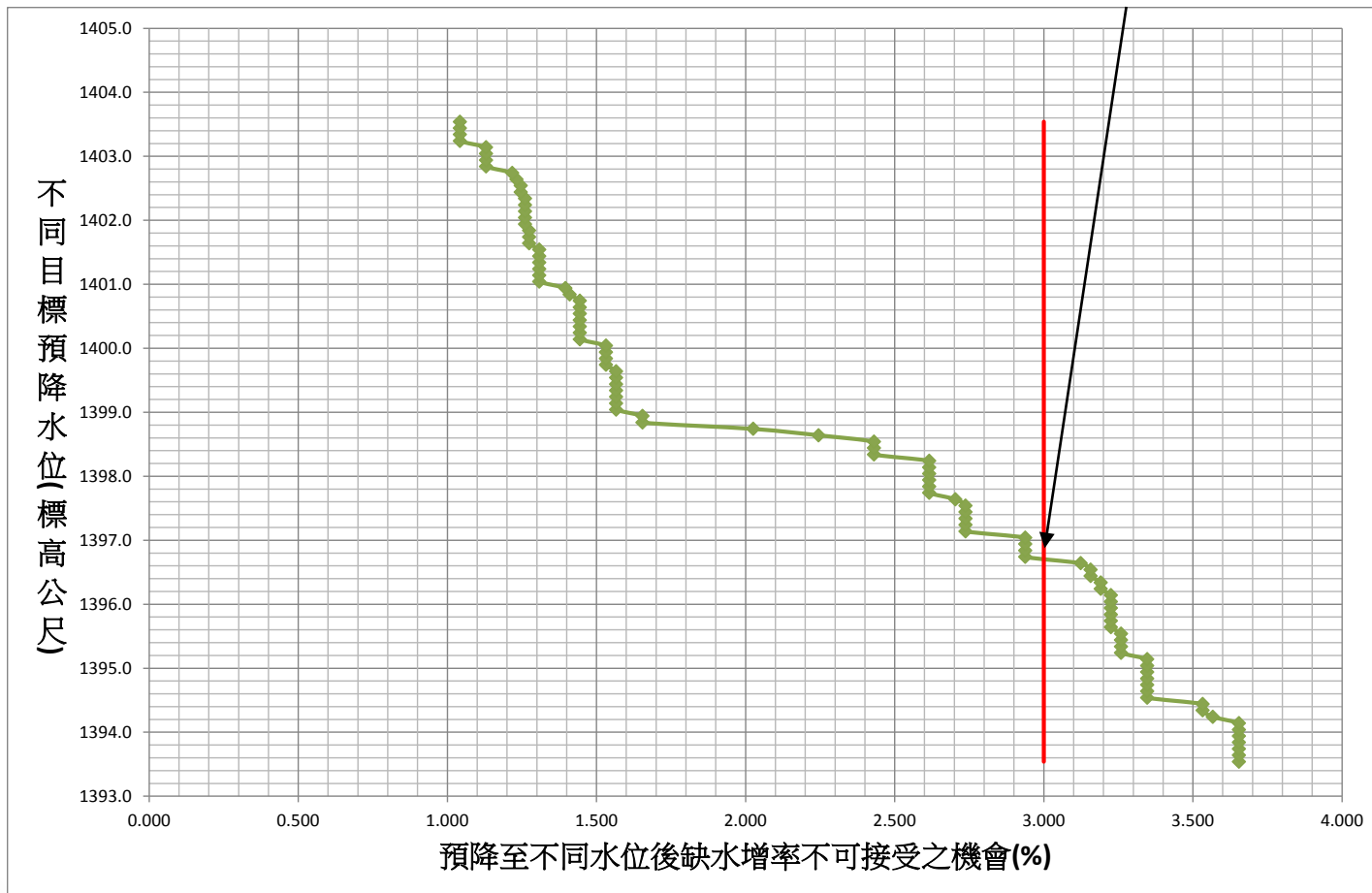


預降至不同水位後 至明年枯水期末之期望發電量



預降至不同水位後 缺水增量比例不可接受之機會

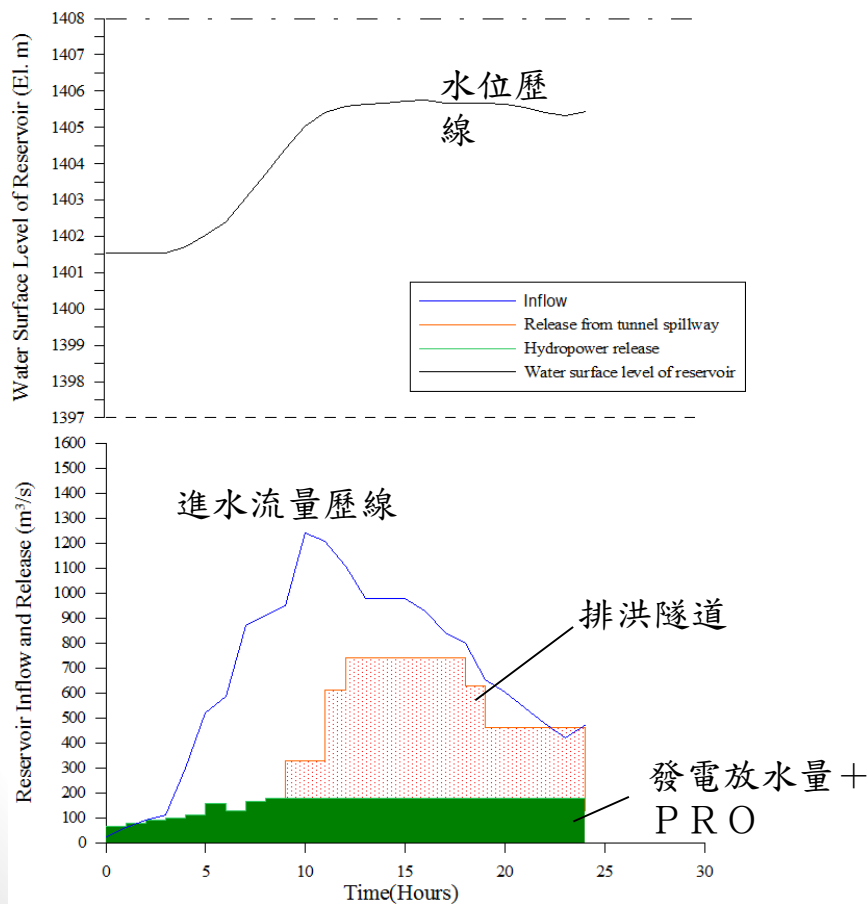
預降至1396.7 El.m後，缺水增量比例大於0.01的發生機會為2.94%



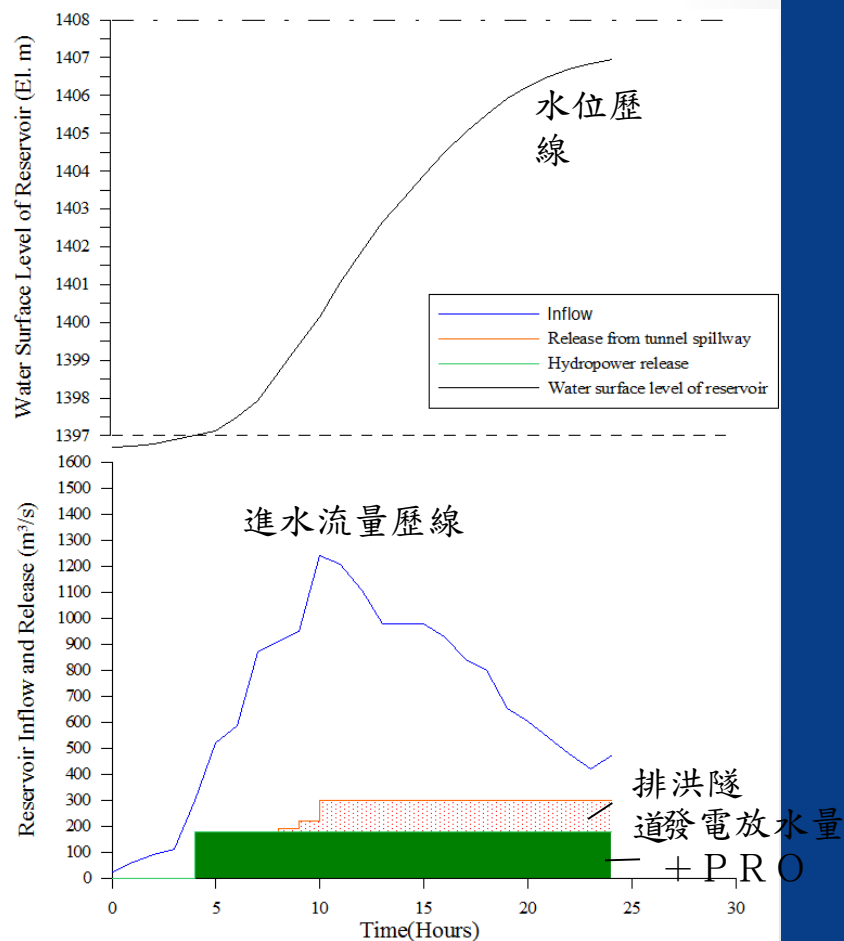
104年杜鵑颱風德基水庫預降分析

- 德基水庫9/27 19:00水位**1,403.5 El.m**
 - 氣象局預報台中山區總降雨量為500mm，降至**El. 1396.7 m**後，期望發電量自1.904增至1.982億度，缺水增量比例大於0.01的發生機會為2.94%

● 水庫實際運轉紀錄

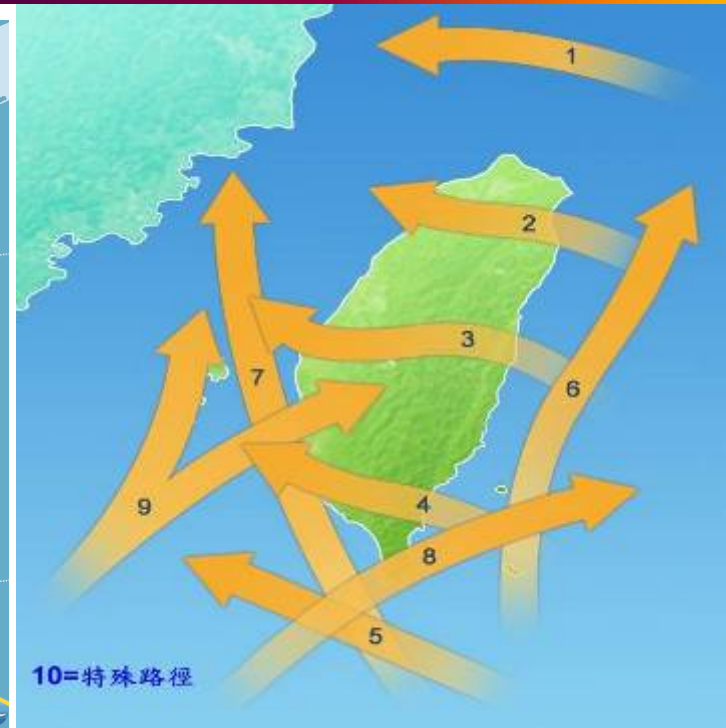
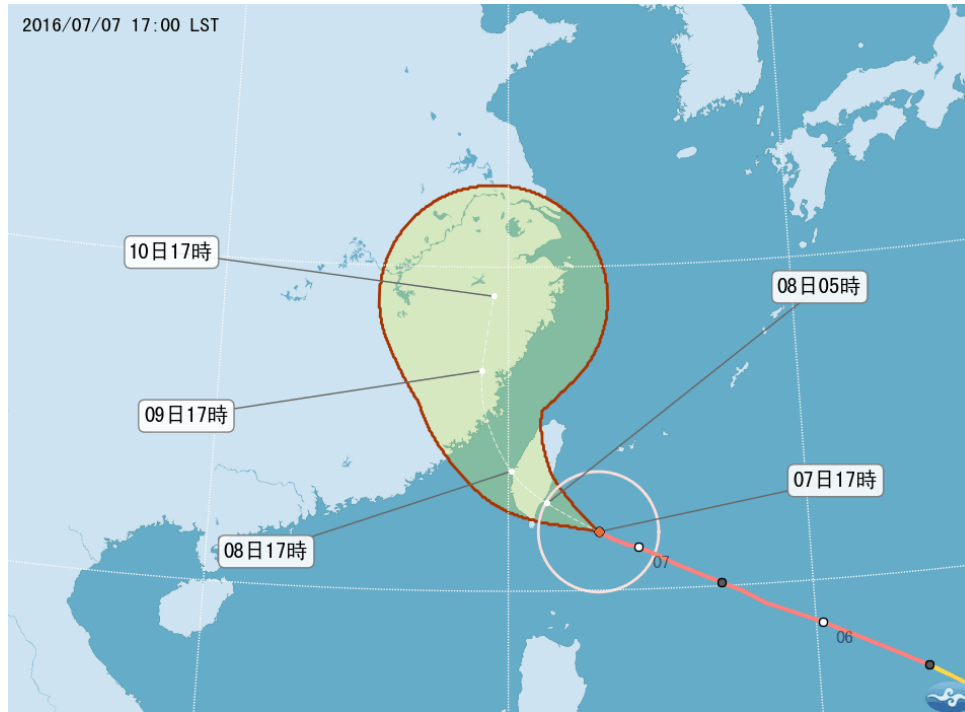


● 模擬降至1,396.7 El.m之運轉



德基水庫防洪運轉：運轉策略建議

2016/07/07/1700_尼伯特颱風



成大水利海洋研究發展文教基金會
中華民國一〇六年四月十四日星期五



研判與建議

- 氣象局預報台中山區總降雨量為500 mm。預降決策建議自7/7 07:00水庫水位標高1,394.70公尺降至標高1,391.6公尺
- 德基電廠期望發電量自3.0218億度增至3.0483億度，缺水增量比例大於0.01的發生機會為2.77%
- 待預降之蓄水量：948萬m³
 - 電廠以 100 cms放水，需27 小時可完成洩降
 - 電廠以 50 cms放水，需50 小時可完成洩降

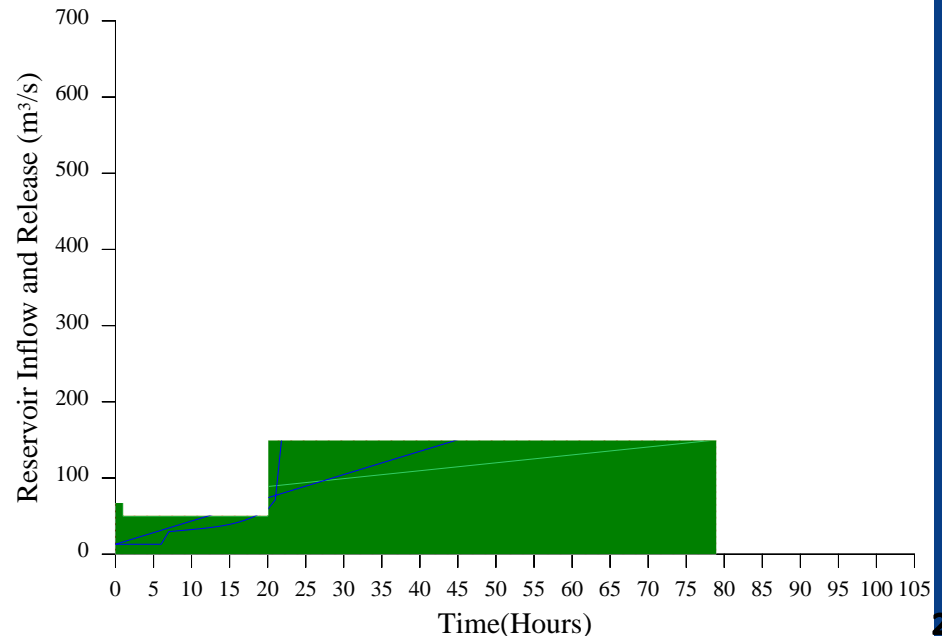
運轉策略

- 預降水位至標高1,391.6公尺
 - 維持電廠放水量：150 cms
 - 無須開啟排洪隧道與PRO
 - 期末蓄水位：El. 1,406.10 m
- 水庫實際運轉紀錄

- 氣象局ETQPF模式7/7 14:00預報未來3日總雨量 239.6 mm，模擬洪峰流量 634秒立方公尺

德基壩水文資料

日	德基水庫	德基有效	水庫		水庫	
	水位	蓄水容量	總進水量		總出水量	
期	(m)	(10 ⁴ m ³)	(CMS)	(10 ⁴ m ³)/日	(CMS)	(10 ⁴ m ³)/日
5	1395.92	10473.30	21.7	187.408	50.6	436.887
6	1394.67	10073.67	18.5	160.175	64.8	559.805
7	1392.31	9346.91	17.0	147.147	101.1	873.901
8	1389.81	8610.01	13.2	114.026	98.5	850.932
9	1393.57	9730.70	133.1	1149.747	3.4	29.058
10	1395.76	10421.83	87.0	751.913	7.0	60.773
11	1397.03	10838.14	59.0	509.969	10.8	93.667
12	1397.80	11096.55	48.5	419.469	18.6	161.059
13	1398.51	11338.26	42.4	365.998	14.4	124.284



結論建議

- 水庫防洪運轉
 - 以掌握總進水體積為主
 - 最重要因素：預報颱風路徑
 - 洪水期間即時更新
 - 不必拘泥理論上的“最佳解”
 - 確保水庫安全、不造成人為洪水、可達成期末蓄水
 - 勿過度緊張、急著放水
 - 各階段之目標水位決定
 - 目標預降水位、可接受之安全超高水位
 - 水力排砂課題
 - 附屬防洪運轉，由防洪運轉的需要決定放水量
 - 配合現地觀測含砂濃度決定底層出水工的洩水時機與水量



簡報結束 敬請指教

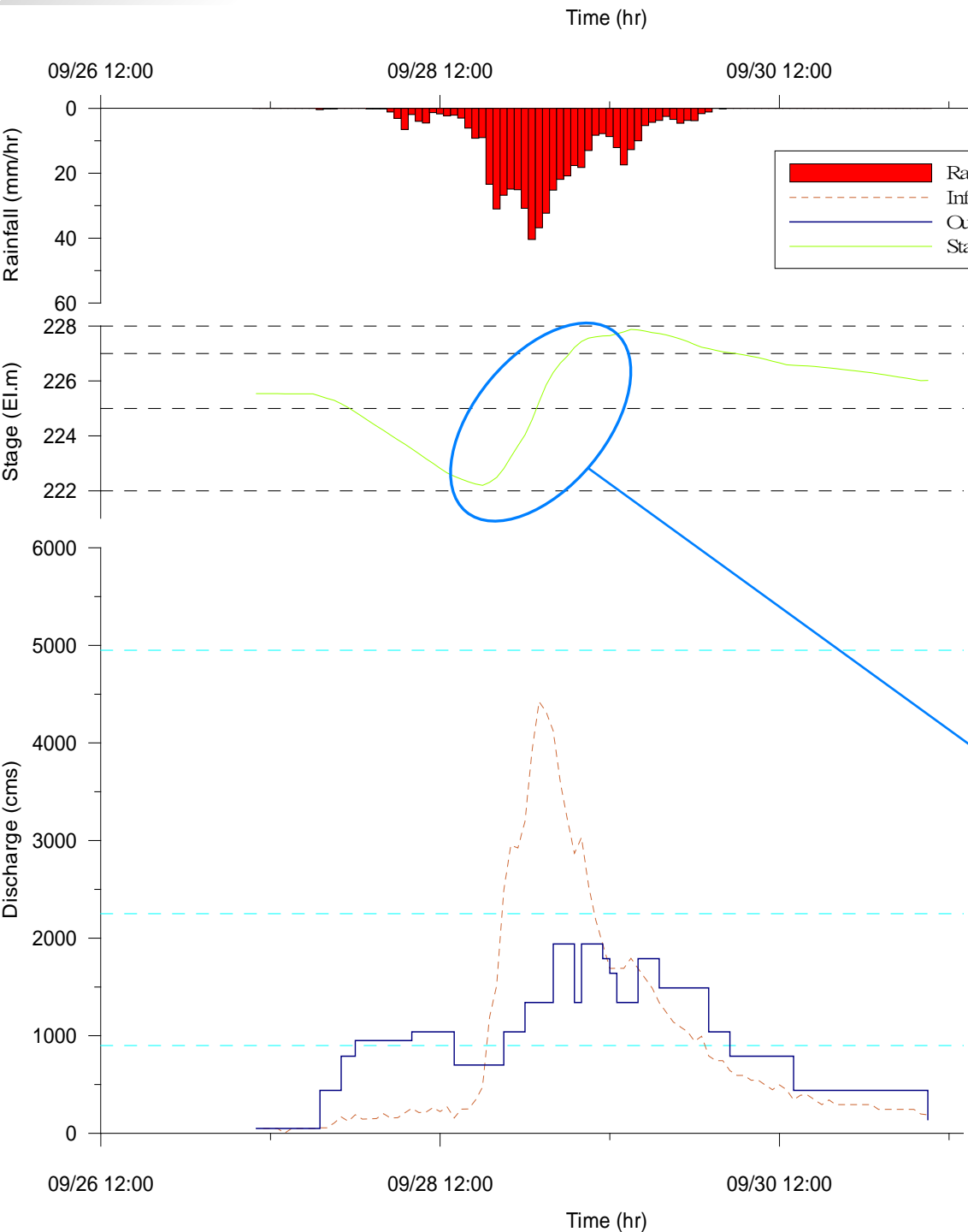
chiawenwu1977@gmail.com



成大水利海洋研究發展文教基金會
中華民國一〇六年四月十四日星期五

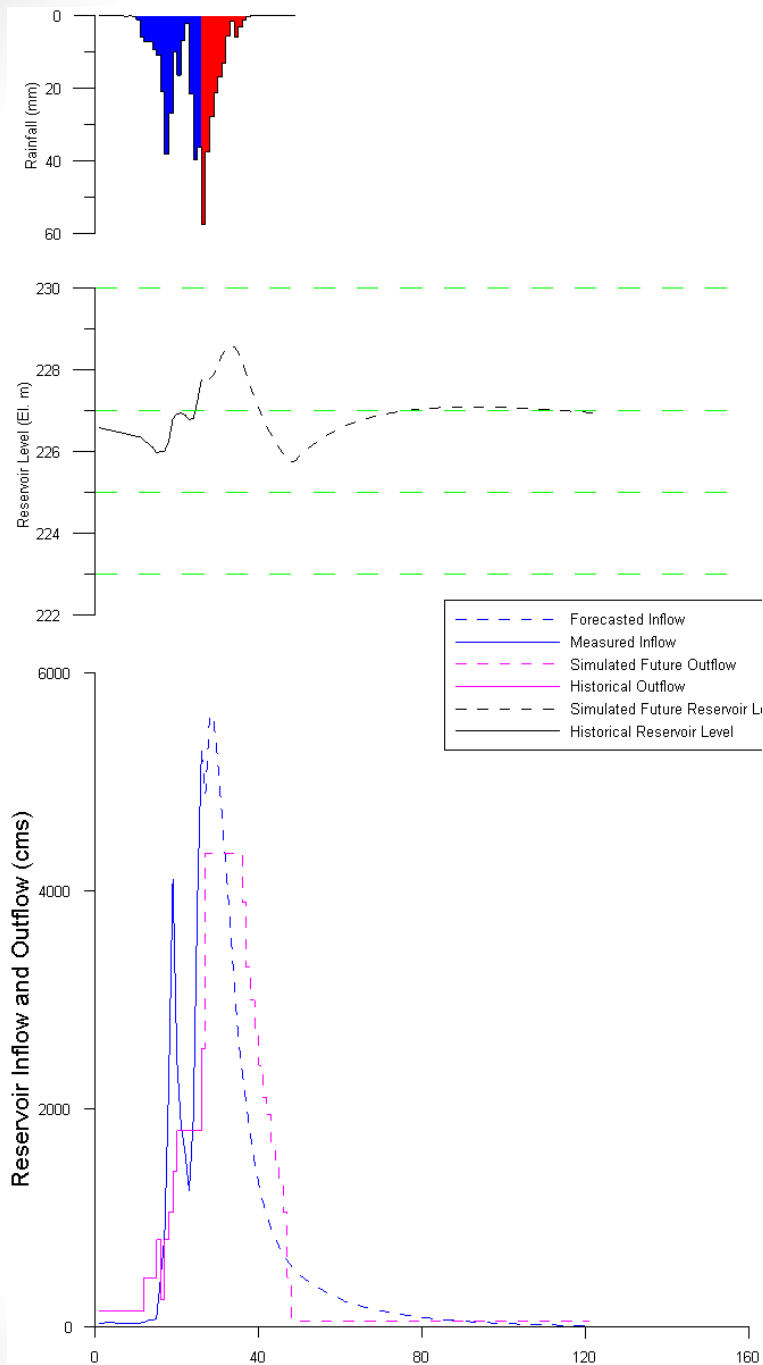


薈蜜颱風曾文水庫預降



- 侵襲期間
 - 2008年9/27~30
- 氣象局於9月28日1時預報台南山區總降雨量：900 mm
- 本團隊建議目標預降水位：221.0 El.m
- 水庫實際預降水位：222.2 m
 - 受預降水位操作之影響，水庫放水洪峰降至1,940 cms
 - 較進水洪峰降低2,483 cms
 - 至水庫進水歷線開始退水之期間共調蓄了9,715 萬m³之進水量
 - 佔此段時間內總進水量之47%

梅姬颱風 曾文水庫操作



- 侵襲期間
 - 2016年9/25~28
- 氣象局於9月26日12時預報台南山區總降雨量：150~300 mm
- 本團隊建議目標預降水位：225.50 El.m
- 水庫實際預降水位：226.0 m
 - 水庫尖峰入流量：5280 cms
 - 水庫最大放水流量：4350 cms
 - 洪水過程中最高洪水位：228.01 El.m

洪水期間水庫即時放水量決策支援

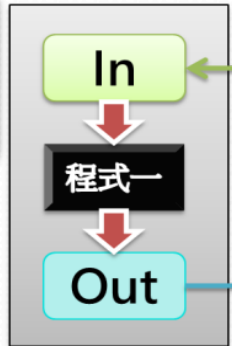
水庫入流推估

- 颱洪時期依據預報降雨
- 推算水庫進流量



即時水情呈現

- 即時演算水庫進流量



設施流量推算

- 設定閘門開度
- 即時演算各設施流量



放水策略建議

- 未來逐時放水策略建議

閘門開度建議

- 未來1小時閘門開度建議

頻率：10mins

