

南海地區海-氣通量之研究

賈新興¹ 吳清吉²

中央氣象局預報中心¹

國立台灣大學大氣科學系²

摘要

本文利用 1998 年南海季風實驗(SCSMEX)期間，海洋觀測平台在 13°N、114°E 附近的海-氣觀測資料。研究南海地區季風爆發前後，海-氣通量的變化。南海季風爆發前，海面氣象場和海-氣通量的日夜變化相當清楚，南海季風爆發後，西南風明顯增強時，伴隨著顯著的對流性降水，大氣溫度和 SST 明顯降低，日夜變化的現象也消失；季風爆發時受雲量明顯增加，平均入射太陽短波輻射較季風爆發前減少約 174.5W/m²，雖然風速只增加 2 倍，但平均動量通量明顯增強為季風爆發前的 5 倍。可感熱通量增加了約 3 倍，潛熱通量則增加了約 1.4 倍。比較季風爆發前和爆發時海面淨能量通量差異時可發現，在季風爆發前平均海面淨熱通量為 181.7W/m²，有加熱海洋的效應；在季風爆發時則變為-47.5W/m²，有冷卻海洋的作用。

一、前言

南海位於台灣西南側，是世界上最大的邊緣海之一，且位於亞洲大陸和西太平洋的邊界，如此獨特的地理位置，使得南海成為南半球季風、西太平洋季風和印度季風會合的通道。Ding (1994)認為中國地區夏季降水的水氣來源的通道之一，就是經過南海地區。盧(1998)研究南海季風肇始早晚與台灣五六月梅雨季乾濕關係時發現，季風肇始偏早時，東部的五月與梅雨期偏乾的機率小；肇始偏晚時，則東部的五月和梅雨季偏濕的機會很小。陳與范(2003)則發現當南海夏季降雨顯著偏多/偏少時，侵台颱風傾向增加/減少，台灣夏季平均總雨量傾向增加/減少。1998年5月1日至6月30日的南海季風實驗(SCSMEX)的主要科學目標之一(Lau et al., 2000)，便是藉由現場詳細密集的觀測資料，研究南海季風爆發的物理過程、維持機制和變化，以期進一步可改進對季風預報的準確性。

許多研究結果顯示，額外10 Wm⁻²的能量加入，會造成模擬結果很大的差異。但是，海洋環流模式對在暖池區能量收支的估計中，卻有80 Wm⁻²的偏差(Godfrey and Lindstrom, 1989)，使得正確模擬更加困難。另外，每日、及月平均的氣象資料估算海-氣通量時的反應，也有相當大的差異(Sui et al., 2003)。對海洋環流模式而言，必須提供上邊界的海-氣通量。其中動量通量驅動海洋表面流和海洋表面的混合作用；熱通量和新鮮水通量會影響海洋混合層的發展和SST的變化，而SST又是大氣環流模式的下邊界條件。

資料分析(Nitta, 1987; Huang and Sun 1992; Lau and Weng, 2000)、Kang and Kimura(2003)的數值模擬顯示，南海SST的變化，對東亞季風的建立

和發展扮演重要的角色。Wang et al.(2004)分析11個大氣模式以AMIP預報型態的資料顯示，即使在明顯的聖嬰條件下，11個模式對東南亞和西太平洋地區夏季降水預報的能力偏低。他們認為，可能和局地地區海氣交互作用的現象有關，因為AMIP的預報型態是以SST來激發大氣的反應，但真實的情況可能是大氣影響海洋，而非海洋影響大氣。

Chen et al.(2003)利用NCEP重分析月資料，研究南海海溫年循環的機制，在不考慮海洋的動力過程時，發現短波輻射通量的加熱和因風速增加造成的蒸發冷卻機制，是造成春季後SST增暖和秋季SST冷卻的主要原因。Liu et al.(2004)更分析南海地區2000~2002年三年間發生的15個颱風衛星資料，結果發現透過海氣參數可以分析出颱風的形成以及其潛勢雨量，準確率可達93%。因此，研究南海地區季風爆發前和爆發後海氣交互作用現象，將有助於了解南海地區局地海氣交互作用的特性。文中第二部份描述所使用的資料和方法，第三部份為結果討論，最後部份為結論。

二、使用資料和方法

本文使用 1998 年南海季風實驗期間，海洋觀測平台在 13°N、114°E 的密集觀測資料，這套觀測系統是由美國太平洋海洋實驗室(Pacific Marine Environmental Laboratory, 簡稱 PMEL)所發展出來的自動溫度取得系統(Autonomous Temperature Line Acquisition System, 簡稱 ATLAS)觀測平台，儀器詳細的說明可參考網頁

<http://www.pmel.noaa.gov>。ATLAS 觀測平台的資料種類包括：每 10 分鐘一次的海面氣象資料，由海面氣象觀測系統得到，由於氣象儀器故障，分析時間從 1998 年 4 月 15 日至 6 月 15 日；其中風速、

風向的觀測高度為 4m，氣溫、比濕的觀測高度為 3m，海面短波輻射通量的觀測高度為 3.5m。雨量的觀測高度為 3.5m、SST 則由海面下 1m 處測得。

因沒有直接觀測的海面長波輻射通量，故本文參考 Berliand and Berliand (1952)、Fung et al.(1984) 的方法來估計海面長波輻射通量即：

$$Q_{lw} = -\epsilon\sigma T_s(0.39 - 0.05\sqrt{e_s})(1 - 0.64C^2) - 4\epsilon\sigma T_a^3(T_s - T_a)$$
，其中 ϵ 是海面長波發射率 (0.98)、 σ 是史蒂芬波次曼常數 (5.67×10^{-8})、 e_s 是海面水蒸氣壓、 T_a 和 T_s 分別是氣溫和 SST，單位為凱氏溫標， C 則代表雲量的影響 (Clark et al. 1974)。因沒有直接觀測的雲量資料，故採用 Reed(1977)的方法，利用觀測的短波輻射量 (Q_{sol}) 和晴天短波入射量 (Q_{cls}) 的關係來反演估計雲量。 $Q_{sol} = Q_{cls}(1 - 0.62C - 0.0019A)$ ，式中 A 為太陽高度。

海氣通量的估計，則利用 TOGA COARE 所發展的整體通量計算法，TOGA-COARE 的整體通量計算法的詳細說明，可參考 Fairall et al. (2003)。賈與吳(1998, 2005)，亦曾採用 TOGA-COARE 的整體通量計算法估計熱帶西太平洋海氣通量的變化。為了解氣象場和各種通量日夜變化的性質，文中對每 10 分鐘觀測一次的氣象變數先作平均處理，得到每小時的平均值。海面的可感熱通量和潛熱通量，亦由 10 分鐘的觀測資料來估算後，再用相同的平均方法處理。

三、結果與討論

(一) 海面氣象場和渦流通量變化

1 海面氣象場

圖 1 為海洋觀測平台在 13°N 、 114°E 的密集氣象觀測資料，包括平均緯向風、平均經向風、平均風速、海面比濕、大氣比濕、大氣溫度、SST 和每小時累積降雨的變化。圖 1 顯示，從 4 月下旬左右至 5 月上旬前半，即南海季風爆發前，南海地區受太平洋高壓勢力影響，大氣低層風場主要吹的是東南風(圖 1)。之後受一波中緯度系統影響，微弱東北風持續了約 10 天左右，此時副高勢力退出南海地區。此波中緯度系統對於南海季風的爆發扮演重要的角色(Ding and Liu, 2001; Lau et al., 2002; Johnson and Ciesielski, 2002)。到了 5 月中旬，太平洋高壓勢力再度西伸至南海地區。至 5 月下旬(5 月 21 日)後，西南氣流明顯增強，每小時風速超過 8m/s 且持續至 5 月底，至 6 月初西風略為減弱但南風依然顯著。在南海季風爆發前，平均風速約在 2 至 6m/s，當季風爆發時平均風速則明顯增強至 6

至 12m/s。

海面比濕的變化趨勢基本上和 SST 變化的趨勢一致，但大氣比濕的變化有較高頻的變化現象。基本上在南海季風爆發前，大氣較為乾燥平均約為 21g/g 左右。當西南氣流盛行時，帶來較潮濕的水氣，此時大氣水氣顯著增加平均約為 22g/g。圖中亦顯示，伴隨強烈的對流降雨系統所引發的下沖流，將高層乾冷空氣帶入低層大氣中，使得大氣溫度明顯下降至 25.5°C ，大氣比濕亦下降到 19g/g 左右。大氣溫度和 SST 在南海季風爆發前，具有明顯日夜變化的現象(圖 1)。大氣溫度日夜變化的振幅約在 1°C 、SST 日夜變化的振幅較大氣溫度大約為 1.5°C 。當太平洋高壓壟罩時，大氣溫度明顯偏高約可達到 30.2°C 和 SST 接近。至 5 月中旬左右，SST 明顯升高、最高可達 31.5°C ，日夜變化的振幅亦明顯增加。此時，大氣溫度的日夜變化較不顯著。南海季風爆發後，西南風明顯增強時，伴隨著顯著的對流性降水，大氣溫度和 SST 明顯降低。大氣溫度的降幅最大可達 5°C ，由最高的 30.5°C 降至約 25.5°C 。SST 的降幅從季風爆發前的最高 31.5°C 降至 29°C 左右。同時，日夜變化的現象也消失。季風爆發結束後(約在 6 月 1 日)，SST 漸漸回升，日夜變化的現象亦恢復，但爆發前和爆發後平均的 SST 相差了約 0.5°C 。爆發前/後平均大氣溫度的變化和 SST 變化的情形類似。

本文進一步將觀測資料分成季風爆發前(1998 年 5 月 15 日至 5 月 21 日)和季風爆發時(1998 年 5 月 24 日至 5 月 30 日)作進一步的討論。1998 年南海季風爆發的時間，根據 Ding and Liu(2001)的研究認為，南海北部的爆發時間是在 5 月第 4 候，南海季風全面的爆發時間則落在 5 月第 5 候。本文南海季風爆發的時間是根據海洋觀測平台在 13°N 、 114°E 的低層密集觀測風速資料來定義，當低層風向轉為西南風、風速大於 6m/s、至少持續 3 天且伴隨明顯的降雨現象，即為南海季風爆發。根據本文定義，南海季風爆發的時間在 5 月 24 至 30 日，和 Ding and Liu(2001)所定義的南海全面爆發的時間相當一致。

2 南海季風爆發前和爆發時的比較

表一為全部期間、季風爆發前和季風爆發時，海面氣象觀測資料和海氣渦流通量的基本統計性質。由表一可知，在季風爆發時受雲量明顯增加，平均入射太陽短波輻射值約為 $174.5\text{W}/\text{m}^2$ ，較季風爆發前減少，淨輻射通量的差異主要來自於太陽入射短波輻射通量的減少，平均入射長波輻射的量差

異不大。平均風速在季風爆發時明顯增加至 7.2m/s，是季風爆發前的兩倍，風速增加主要是受東西風分量的增加。在季風爆發前平均 SST 約為 30.8°C，當季風爆發後 SST 明顯下降至 30.0°C，兩者相差將近 1°C 左右。大氣溫度的變化和 SST 的變化類似，季風爆發前和爆發時大氣溫度的差異亦將近 1°C。因為大氣溫度和 SST 在季風爆發前和爆發時均下降約 1°C，使得海氣溫差的差別不是太大。

當季風爆發時，雖然風速只增加 2 倍，但平均動量通量明顯增強為季風爆發前的 5 倍。可感熱通量除了明顯受風速影響外，也和低層大氣的穩定度(海氣溫差)有關。當季風爆發時，可感熱通量增加了約 3 倍，潛熱通量則增加了約 1.4 倍。海面淨熱通量(H_N)可表示為 $H_N = R_N - H_L - H_S$ ，式中 R_N 為淨輻射通量、 H_L 為潛熱通量、 H_S 為可感熱通量。 $H_N > 0$ 時，表示淨熱通量加熱海洋； $H_N < 0$ 時，淨熱通量冷卻海洋。南海季風爆發前，平均的 H_N 呈現明顯的日夜變化(圖略)。在白天時 $H_N > 0$ ，主要是由於 R_N 的貢獻；夜間由於輻射冷卻使得 $H_N < 0$ 。白天最大的 H_N 約為 900W/m²。晚上 H_N 的值約為 -150W/m²，變化較小。此時，可感熱通量的變化不大，平均值約為 50W/m²，潛熱通量的變化亦類似，平均值約在 100 W/m²。在季風爆發前， H_N 的貢獻主要來自 R_N 。當季風爆發時， H_N 日夜變化的現象明顯減弱，受到雲量增加和明顯降雨現象，使得 R_N 明顯減弱。但比較季風爆發前和爆發時海面淨能量通量差異時可發現，在季風爆發前平均 H_N 為 181.7W/m²，有加熱海洋的效應；在季風爆發時則變為 -47.5W/m²，有冷卻海洋的作用。造成兩者的差異，最主要的原因是，因為雲量增加使得太陽短波輻射通量明顯減弱有關。

四、結論

在南海季風爆發前，海面氣象場和海-氣通量的日夜變化相當清楚，大氣溫度日夜變化的振幅約在 1°C。SST 日夜變化的振幅較大氣溫度大，約為 1.5°C。當太平洋高壓籠罩時，大氣溫度明顯偏高約可達到 30.2°C 和 SST 接近。南海季風爆發後，西南風明顯增強時，伴隨著顯著的對流性降水，大氣溫度和 SST 明顯降低。大氣溫度的降幅最大可達 5°C，由最高的 30.5°C 降至約 25.5°C。SST 的降幅從季風爆發前的最高 31.5°C 降至 29°C 左右。同時，日夜變化的現象也消失。

受雲量明顯增加，平均入射太陽短波輻射較季風爆發前減少。雖然風速只增加 2 倍，但平均動量通量明顯增強為季風爆發前的 5 倍。可感熱通量增

加了約 3 倍，潛熱通量則增加了約 1.4 倍。比較季風爆發前和爆發時海面淨能量通量差異時可發現，在季風爆發前平均海面淨熱通量為 181.7W/m²，有加熱海洋的效應；在季風爆發時則變為 -47.5W/m²，有冷卻海洋的作用。

參考文獻：

- 陳昭銘、范惠菱，2003：南海夏季降雨年際變化與侵台颱風之關係，*大氣科學*，**31**，221-238。
- 賈新興、吳清吉，2005：熱帶西太平洋海-氣通量之研究，投稿大氣科學。
- 賈新興、吳清吉，1998：熱帶西太平洋海-氣通量和一維海洋混合層之模擬，*大氣科學*，**26**，157-179。
- 盧孟明，1998：南海夏季風肇始早晚與台灣梅雨季(五、六月)乾濕關係之探討，*大氣科學*，**26**，205-225。
- Berliand, M. E., and T. G. Berliand, 1952: Measurement of the effective radiation of the earth with varying cloud amounts (in Russian). *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geofiz.*, **1**, 64-78.
- Clark, N. E., L. Eber, R. M. Laurs, J. A. Renner and J. F. T. Saur, 1974: Heat exchange between ocean and atmosphere in the eastern North Pacific FOR 1961-1971. noaa Tech. Rep. NMFS SSRF-682, U.S. Department of Commerce, Washington, DC, 108 pp.
- Chen, J. M., C. P. Chang and T. Li, 2003: Notes and correspondence: Annual Cycle of the South China Sea surface temperature using the NCEP/NCAR reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 879-884.
- Ding, Y. H., 1994: Monsoon over China, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp419.
- Ding, Y. H., and L. Yanju, 2001: Onset and the evolution of the summer monsoon over the South China Sea during SCSMEX field experiment in 1998. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 255-275.
- Fairall, C. W., E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev and J. B. Edson, 2003: Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm, *J. Climate*, **16**, 571-591.
- Fung, I. Y., D. E. Harrison, and A. A. Lacis, 1984: On the variability of the net longwave radiation at the

- ocean surface. *Rev. Geophys, Space Phys.*, **22**, 177-193.
- Godfrey, J. S., and E. J. Lindstrom, 1989: The heat budget of the western equatorial Pacific surface mixed layer., *J. Geophys. Res.*, **94**, 8007-8017.
- Huang, R. H. and F. Y. Sun, 1992: Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 243-256.
- Johnson, R. H. and P. E. Ciesielski, 2002: Characteristics of the 1998 summer monsoon onset over the northern South China Sea. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 561-578.
- Kang, S. D., and F. Kimura, 2003: Effect of tropical SST on Northwest Pacific subtropical anticyclone. Part I: Linear Rossby wave propagation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 1225-1242.
- Lau K. M. et al., 2000: A report of the field operations and early results of the South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1261-1269
- Lau K.-M., and H. Weng, 2000: Remote forcing of US summertime droughts and floods by the Asian monsoon? *GEWEX news*, 10, May Issue, 5-6.
- Lau K.-M., X. Li, and H. T. Wu, 2002: Evolution of the large scale circulation, cloud structure and regional water cycle associated with the South China Sea monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 1129-1147.
- Liu G.-R. , T.-H. Kuo, Y.-C. Chen, T.-H. Lin, and C.-K. Liang, 2004: Drought forecasting with sea-atmospheric parameters retrieved from satellite observations, submit to TAO.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **41**, 373-390.
- Reed, R., 1977: On estimating insolation over the ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 482-485.
- Sui, C.-H., X. Li, M. M. Rienecker, K.-M. Lau, I. Laszlo and R. T. Pinker, 2003: The role of daily surface forcing in the upper ocean over the tropical Pacific: A numerical study. *J. Climate*, **16**, 756-766.
- Tao, S.Y., and L. X. Chen: A review of recent research of the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Eds. C. P. Chang and T.N. Krishnamuti, Oxford University Press, 60-92.
- Wang, B., I. S. Kang and J. Y. Lee, 2004: Ensemble simulations of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs, *J. Climate*, **17**, 803-818.

表 1 SCSMEX 海面氣象觀測資料基本統計量，全部期間：1998 年 4 月 15 日至 6 月 15 日，第一期：5 月 15 日至 21 日，第二期：5 月 24 日至 30 日。

變數	期間	平均值	標準差	最小值	最大值
淨短波輻射($W m^{-2}$)	全部期間	254.6	341.1	0.0	1039.6
	第一期	282.7	359.3	0.0	1019.6
	第二期	108.2	192.6	0.0	934.1
淨長波輻射($W m^{-2}$)	全部期間	-33.4	3.4	-56.7	-27.7
	第一期	-32.1	1.7	-39.0	-28.0
	第二期	-36.1	6.5	-56.7	-28.4
淨輻射通量 ($W m^{-2}$)	全部期間	221.2	342.0	-55.0	1003.5
	第一期	250.7	360.0	-35.6	988.6
	第二期	72.1	193.8	-55.0	901.6
風速(m/s)	全部期間	4.9	1.7	0.8	12.1
	第一期	3.6	1.0	0.9	6.5
	第二期	7.2	1.6	4.0	12.1
東西風分量(m/s)	全部期間	-1.4	3.3	-6.6	11.0
	第一期	-1.4	1.4	-4.7	1.8
	第二期	5.0	1.8	1.3	11.0
南北風分量(m/s)	全部期間	2.3	2.9	-5.7	9.5
	第一期	2.9	1.1	-0.2	5.7
	第二期	4.2	2.9	-5.4	8.7
海面溫度($^{\circ}C$)	全部期間	30.2	0.4	29.1	31.5
	第一期	30.8	0.3	30.3	31.5
	第二期	30.0	0.2	29.6	30.5
氣溫($^{\circ}C$)	全部期間	29.5	0.6	25.5	30.8
	第一期	29.9	0.3	28.8	30.8
	第二期	29.0	1.1	25.5	30.3
風應力($N m^{-2}$)	全部期間	0.02	0.028	8.7e-5	0.54
	第一期	0.01	0.012	3.4e-5	0.06
	第二期	0.05	0.062	0.005	0.54
海面淨熱通量($W m^{-2}$)	全部期間	140.7	341.9	-340.5	924.8
	第一期	181.7	360.8	-150.6	922.1
	第二期	-47.5	189.5	-340.5	784.5
可感熱通量($W m^{-2}$)	全部期間	3.8	5.1	-2.3	63.8
	第一期	3.2	1.5	0.6	8.9
	第二期	10.6	12.9	-0.7	63.8
潛熱通量($W m^{-2}$)	全部期間	76.7	35.8	2.6	252.8
	第一期	68.0	24.1	17.6	116.9
	第二期	92.5	47.9	30.5	252.8
海氣溫差($^{\circ}C$)	全部期間	0.7	0.5	-0.4	4.5
	第一期	0.8	0.3	0.2	2.2
	第二期	1.2	1.1	-0.05	4.5
海氣比濕差(g/kg)	全部期間	5.6	1.2	2.0	9.3
	第一期	6.4	1.0	4.6	8.9
	第二期	4.5	1.3	2.2	7.1

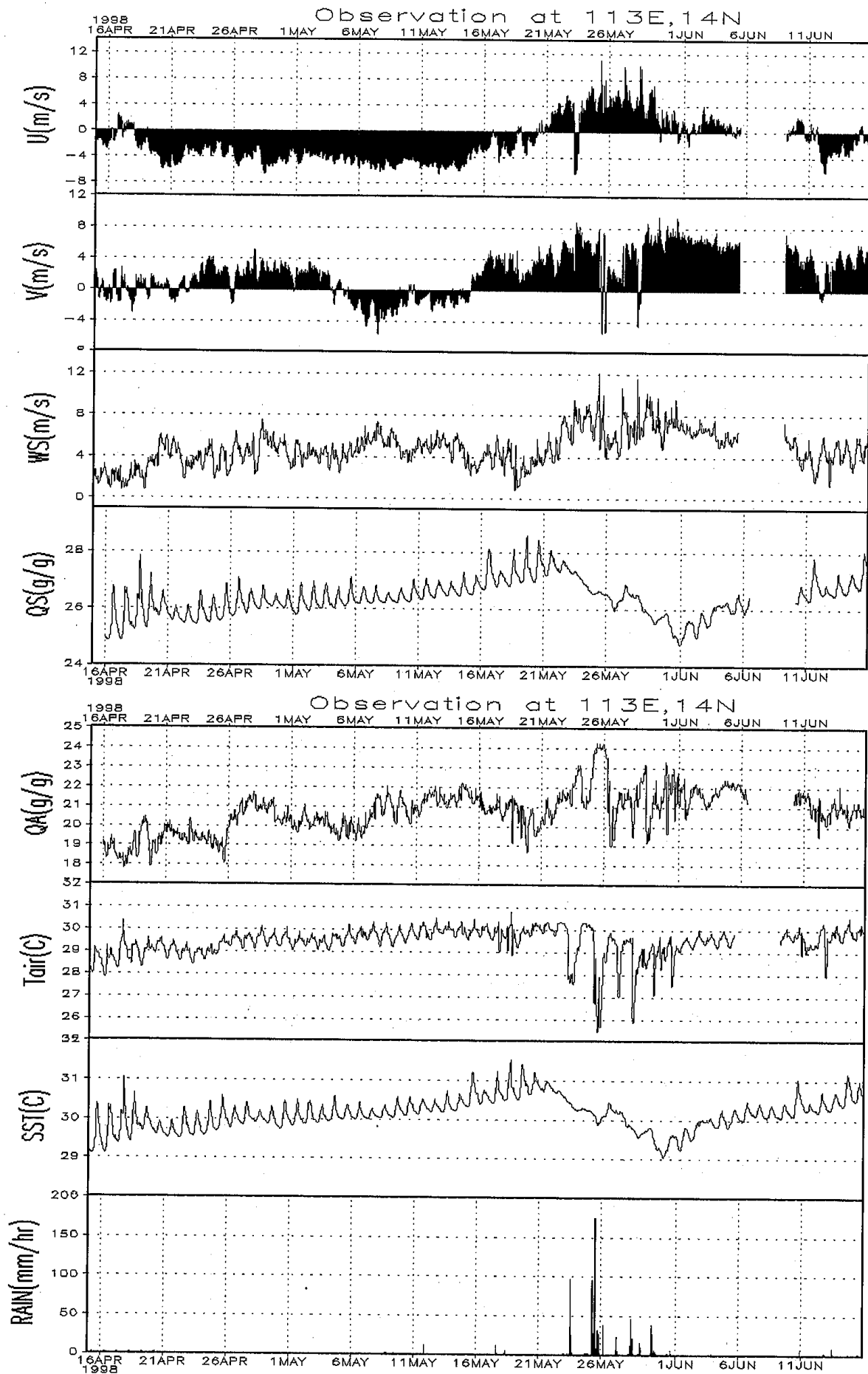


圖 1 為海洋觀測平台在 13°N、114°E 的密集氣象觀測資料，包括平均緯向風、平均經向風、平均風速、海面比濕、大氣比濕、大氣溫度、SST 和每小時累積降雨的變化。