

# 颱風對於蘭陽溪上游集水 區懸移質生產特性的影響

## The Influences of Typhoons and the Characteristics of Suspended Sediment Yields in the Upper Catchment of Lan-Yan Chi

林孟龍\*

林俊全\*\*

Meng-Lung Lin Jiun-Chuan Lin

### Abstract

This study focuses on the characteristics of suspended sediment of a upper catchment area under the influences of Typhoons. Data is recorded over the period between 1975 and 1996. The calculations of the total suspended sediment yields are based on the specific relationship between discharge and sediment at the gauging station. The regression model of rating curve is  $Q_s = 1.508 (Q)^{2.0798}$  and the coefficient of determination ( $R^2$ ) is 0.5286. The events of low frequency and large magnitude are the dominant transport process of suspended sediment. The daily discharge larger than 20 cm is the effective discharge between 1975-1996, while 6.47% of the total period is affected by typhoons and 59% of the total suspended sediments are removed by typhoons. Typhoons provide the main process in removing suspended sediment from

---

\* 國立臺灣大學地理環境資源研究所博士候選人

Ph. D. candidate, Institute of Geography, National Taiwan University.

\*\*國立臺灣大學地理環境資源研究所教授

Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

the upper catchment of Lan-Yan Chi.

**Keywords:** catchment, suspended load, suspended sediment yield, typhoons.

## 摘 要

颱風常常夾帶大量的豪雨，豪雨屬於短時間內的降雨集中現象，這種與歐美地區不同的降雨事件的特性，讓地形作用強度有增大的效果，過往臺灣對於颱風的相關研究並不多，尤其是在與泥沙相關的研究。本研究欲探討颱風對於蘭陽溪上游集水區懸移質生產特性的影響，利用日平均流量與日懸移質生產量的資料建立率定曲線： $Q_s = 1.508 (Q)^{2.0798}$ ，判定係數 ( $R^2$ ) 為 0.5286。經過資料分析，顯示蘭陽溪上游集水區的懸移質主要受到不常發生的低頻率、大規模流量事件的搬運。歷年颱風對於蘭陽溪上游集水區的影響不一，主要受到颱風降雨規模的影響，在蘭陽溪上游集水區從 1975 年至 1996 年的颱風期間，一共搬運了整個觀測期間懸移質生產量的 59%，但是颱風所佔的時間僅僅只佔了整個觀測期間的 6.47%，所以颱風帶來的降雨事件是影響蘭陽溪上游集水區懸移質生產量最重要的影響因素。

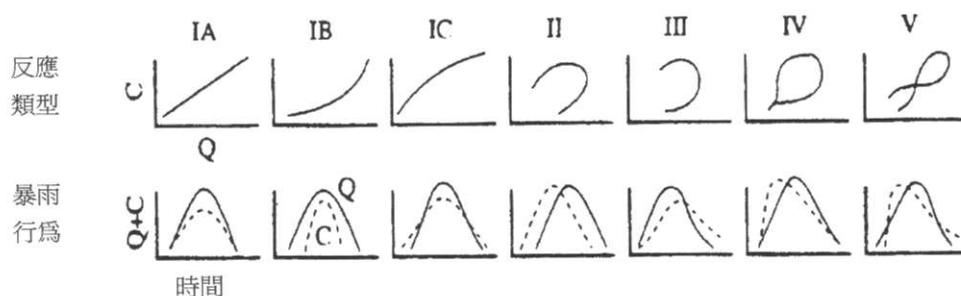
**關鍵詞：**集水區、懸移質、懸移質生產量、颱風

## 前 言

從地形的觀點，集水區物質的輸出主要有兩個部份，一為逕流 (runoff)，另一為泥沙 (sediment)。集水區中的地形作用控制了地形演育，物質的輸出呈現了侵蝕作用對於地貌的影響，尤其是集水區的泥沙輸出，更直接地代表了被風化、侵蝕的地表物質移出集水區的結果。泥沙包含了三個部份，分別為「推移質 (bed load)」、「懸移質 (suspended load)」與「溶解質 (solute)」，因為溶解質除了在以石灰岩為主的地形具有重要的角色外，在其它地質條件下，推移質與懸移質仍是主要的部份。

但懸移質生產量-流量之間的關係可能會受到不同的季節、在流量歷線的上昇翼或下降翼而有差異 (Reid *et al.*, 1997)。懸移質對於降雨與流量的反應不一，懸移質的濃度可能會在流量升高前先增加。Reid *et al.* (1997) 歸納了 9 種懸移質對於暴雨時的反應，這 9 種反應中懸移質濃度可能會提早升高、與流量成正比或稍低、延遲升高等等情形，顯示懸移質對於暴雨時的反應無法歸納為一簡單的反應 (圖 1)。

集水區中泥沙與溶解質生產量變化的資料，為地形學者提供了 (1) 流水侵蝕地表的指標 (2) 河流作用的速率 (Gregory and Walling, 1973)。懸移質對於集水區中流量的變化非常敏感，因此藉由分析、比較集水區中歷年的懸移質生產量的變化情形，瞭解蘭陽溪上游集水區的泥沙生產特性與颱風在這一之中扮演的角色為何。



資料來源：Reid *et al.*, (1997)，108 頁，5.10 圖。

圖 1 懸移質在暴雨中的反應型態

註：C：懸移質濃度、Q：流量

颱風事件對臺灣來說是非常重要的，因為颱風帶來的暴雨屬於「極端事件」，幾乎每年都會有三至四個颱風侵襲臺灣，導致「極端事件」與「非極端事件」可以在同個年度中或者是在一段觀測期間中得到不少的觀測資料以供進行比較，所以在臺灣對於颱風的研究可以增進「極端事件」對於地形作用的瞭解。在本研究中對於颱風事件將其定義為：「颱風帶來的降雨量促成河水流量的上昇，因此「颱風事件的期間」為河水流量恢復到未降雨之前的流量狀態，或者發生另一次不屬於颱風所帶來的降雨事件為止」。

若要以「懸移質生產量 (suspended sediment yield) 的變化」為指標時，需要仔細的審核與評估，並且具有長時期的資料，用以減低估計時產生的誤差與錯誤，才有可能解析出長時期的趨勢，提供人類瞭解真實世界的變化 (Walling, 1995)。因此本研究採用 1975 至 1996 年的資料，希望能藉由長時期的觀測資料，降低個別年度差異太大導致對於颱風現象瞭解的偏差。

## 研究方法

本研究的研究方法共分為三個部份：(1) 建立懸移質率定曲線；(2) 估算懸移質生產量；(3) 對颱風事件的分析。

### (一) 建立懸移質率定曲線

本研究蒐集經濟部水資源局的水文年報自 1974 年至 1996 年的流量與輸沙資料，藉由集水區目前記錄年限最久與最完整的水文、輸沙資料，建立本集水區的流量與懸移質生產量的率定曲線。

由於在水文年報的記錄中，懸移質的資料並非屬於每日觀測資料，每年約只有 30 筆資料，因此必須先建立日平均流量與日懸移質生產量的率定曲線，才能進一步的推算本集水區的日懸移質生產量資料，以得到懸移質生產量的數值。

本研究蒐集家源橋測站的流量資料，起迄年為 1974 至 1998 年。由於 1974 年有部份流量資料漏失，在分析率定曲線時，只需要特定日期的流量資料，因此如果 1974 年同時具有「日輸沙量」與「平

均流量」的資料，則予以納入分析；在進行分析時若需要一個完整年份的流量資料時，則不將 1974 年的資料納入分析與討論。1997 與 1998 年的資料，用於檢證迴歸模型。

### 1. 建立迴歸模型

本研究利用乘冪迴歸模型與指數迴歸模型分析資料，主要原因是乘冪迴歸模型為比較常用的率定曲線，而指數迴歸模型適合應用在流量差異很大的融雪環境。後者可能會適合本集水區在颱風來臨時，暴雨流量與基流流量差異很大的狀況。因此利用這兩個迴歸模型來分析日平均流量與懸移質生產量的數量關係，希望能瞭解日平均流量與懸移質生產量的關係、影響方向與程度，並利用流量與乘冪方程式對懸移質生產量作一預測：

(1) 乘冪迴歸式 (Biedenharn and Thorne, 1994; Chikita, 1996; Gregory and Walling, 1973; Lu *et al.*, 1997) :

$$Q_s = \alpha (Q)^\beta$$

(2) 指數迴歸式 (Barsch *et al.*, 1994a; Barsch *et al.*, 1994b) :

$$Q_s = \alpha * e^{\beta Q}$$

其中， $Q_s$  為日輸沙量 (Ton/day)， $Q$  為日平均流量 (cms)， $\alpha$  與  $\beta$  為係數。

有許多因子可能會影響到流量與懸移質之間的關係 (例如上昇翼與下降翼、高流量與低流量) 等等，因此針對上昇翼與下降翼、高流量與低流量進行比較，以尋找出最適合蘭陽溪上游集水區 (家源橋以上) 的率定曲線。

上昇翼與下降翼一般的定義是針對單場暴雨事件的水文歷線而言，本研究的流量資料為日平均流量，無法討論單場暴雨事件的水文歷線，在時間尺度上並不符合上昇翼或者下降翼的一般定義。因為前人文獻中並未出現以日平均流量的資料來討論上昇翼與下降翼，因此在本研究中嘗試進行分析，希望能評估是否在本研究區中區分上昇翼與下降翼對於求取率定曲線有較好的結果。

在本研究中，將上昇翼定義為日平均流量大於前一日的日平均流量，下降翼定義為日平均流量小於前一日的日平均流量。在本研究中，高流量與低流量的定義，是以所有流量資料中佔比例為 10% 與 90% 的分界為高流量與低流量的分界。

### 2. 評判迴歸模型

在估計完成後，必須進行統計上的檢定，以判定所估計的迴歸模型是否可以接受。在檢定時則考慮：(1) 檢視迴歸方程式的配合度；(2) 對迴歸係數作檢定或區間估計 (林惠玲、陳正倉，1999)。

本研究以「判定係數 (coefficient of determination,  $R^2$ )」來衡量迴歸方程式的配適度，同時衡量迴歸方程式的解釋能力 (林惠玲、陳正倉，1999)。若觀察值都落在迴歸線上，則  $R^2$  為 1；若自變數與依變數沒有關係，則  $R^2$  為 0，表示估計的迴歸式不能用來作為預測之用，應予放棄。通常  $R^2$  值介在 0~1 之間，當  $R^2$  越大時，表示迴歸模型的解釋能力愈強，模型的配適度越大。

## (二) 估算懸移質生產量

得到本集水區的率定曲線後，藉由歷年的日平均流量資料來推算懸移質生產量。利用 Biedenharn and Thorne (1994) 的方法來估算本集水區歷年的懸移質生產量。

1. 將日平均流量資料分組，需決定適合的組距。以嘗錯法 (trial and error method) 來決定組距，

適合的組距需要可以突顯「有效流量 (dominant discharge or effective discharge)」。

2. 在資料記錄期內，計算每個組別中的流量事件個數。
3. 決定最適合表現本集水區中日平均流量與懸移質關係的率定曲線。
4. 透過率定曲線計算在每組的流量狀態下可搬運的懸移質生產量。每組的懸移質生產量為每組次數與每組流量狀態下可搬運的懸移質生產量相乘所得。

### (三) 颱風對懸移質生產特性的分析

針對颱風對於懸移質生產特性的影響，本研究擬從：「歷年颱風期間與非颱風期間的懸移質生產量」、「不同懸移質生產類型的比較」、「分析不同懸移質一流量分布型態的懸移質生產特性」等三方面進行分析，希望能藉由這三方面的比較，瞭解蘭陽溪上游集水區的懸移質生產特性受到颱風的影響為何。因為 Ashmore and Day (1988) 將懸移質-流量的關係分成四種不同的類型，在進行累積懸移質搬運分析與搬運有效性分析時，先將歷年資料依不同類型予以歸類，再從每一型中挑選一個出來進行比較、分析。

## 研究區概況

本研究區位於臺灣宜蘭縣的西南部 (圖 2)。集水區的出口位於土場附近的家源橋，集水面積為 261.3km<sup>2</sup>。在蘭陽溪的主流多成瓣狀河道的型態，可以見到大小顆粒混雜的河道堆積物。在集水區出口 (家源橋) 處，有一水文測站，所記錄的水文資料年份為 1974 年迄今。

就地質特性而言，蘭陽溪上游集水區以四稜砂岩、乾溝層與廬山層為主 (何春葆, 1994)。四稜砂岩以砂岩層為主，夾有板岩；乾溝層以硬頁岩、板岩、頁岩為主；廬山層以硬頁岩、板岩、千枚岩與硬砂岩互層為主。故本集水區的岩性多屬於砂岩、頁岩、板岩，地質較為破碎、軟弱，提供懸移質豐富的來源 (圖 3)。

本研究區的月平均流量在 8、9、10 月有較大的數值，在 6 月與 11 月稍大於其它的月份，其餘的 7 個月份月平均流量的差異不大。平均年雨量超過 2,000 公釐，降雨受到地形與東北季風、梅雨、颱風的影響。東北季風盛行期間，多為連續性的降雨，且降雨強度較小。除東北季風外，5、6 月間的梅雨，也是降雨的另一個來源。

集水區的最低點-「家源橋」，其高度為 384 公尺。本區地勢起伏甚大，由高度為 3,536 公尺的本區最高點-南湖北山至高度為 384 公尺的本區最低點-家源橋，兩者之間的高差為 3,152 公尺，本集水區的平均坡降約為 96.95‰，本集水區內在短短的幾十公里間驟減了 3,000 公尺左右的高度。

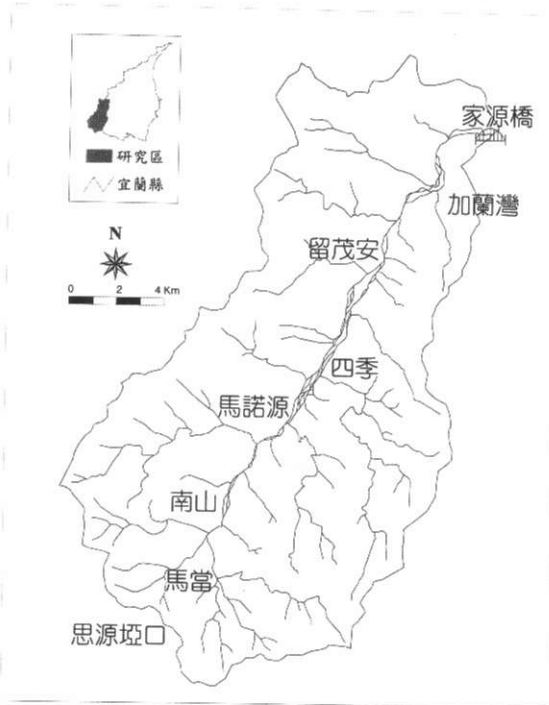


圖 2 蘭陽溪上游集水區 (家源橋以上) 相對位置圖

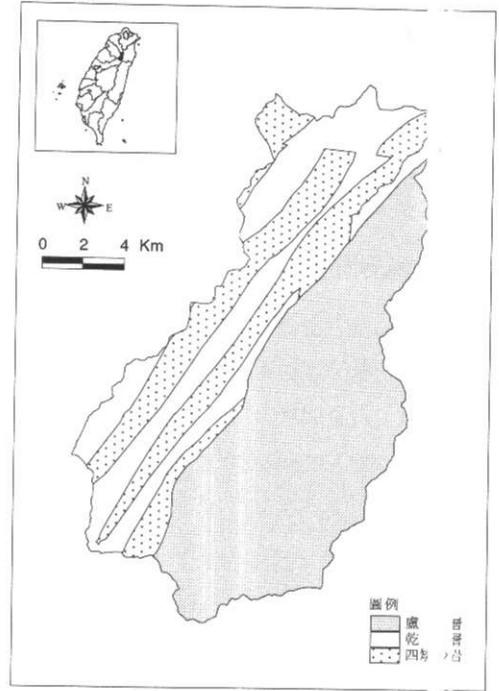


圖 3 蘭陽溪上游集水區地質簡圖

## 探討懸移質率定曲線

蘭陽溪上游集水區的輸沙特性屬於搬運限制型 (transport-limited)，而非供給限制型 (supply-limited)。在蘭陽溪上游集水區，只要有流水，就會搬運懸移質，即使再小的日平均流量 都會搬運懸移質，顯示集水區中的泥沙搬運受到的是流量大小的控制，而非來源供應物多寡的控制。在搬運限制的河流，才能利用流量-懸移質率定曲線來推估懸移質生產量。因為本研究區屬於搬運限制的河流，因此可藉由流量-懸移質率定曲線來推估懸移質生產量。

### (一) 迴歸方程式的比較

本研究以 1974 至 1996 年期間的日平均流量資料與日輸沙量資料來計算率定曲線，比較了兩種不同的率定曲線迴歸方程式 (表 1)。

表 1 不同迴歸式的係數與  $R^2$ 

	$\alpha$	$\beta$	$R^2$
乘幂迴歸式	1.508	2.0798	0.5286
指數迴歸式	100.21	0.0495	0.3309

兩者比較之下，乘幂迴歸方程式的  $R^2$  為 0.5286，而指數迴歸方程式的  $R^2$  則為 0.3309，乘幂迴歸方程式對於變異的解釋程度較高。顯示乘幂迴歸方程式比指數迴歸方程式更適合用來描述蘭陽溪上游集水區（家源橋以上）的日平均流量與日輸沙量之間的關係，接下來各因子的比較，則以乘幂迴歸式為分析的公式。

根據分析結果（表 2），將資料區分「上升翼」、「下降翼」在判定係數上與不區分的結果相仿，另區分為「高流量」與「低流量」後，判定係數反而更差，基於實際計算結果的比較後，本研究認為不需要將資料區分為「上升翼」與「下降翼」或「高流量」與「低流量」，以所有的資料來計算日平均流量與日輸沙量之間的率定曲線即可。

表 2 不同因子的乘幂迴歸式的係數與  $R^2$

	$\alpha$	$\beta$	$R^2$
上昇翼	1.319	2.147	0.5886
下降翼	1.147	2.257	0.5698
高流量 (>30cms)	10.581	1.775	0.2988
低流量 (<30cms)	2.533	1.8375	0.3466

## (二) 迴歸模型的評判

乘幂迴歸方程式： $Q_s=1.508 (Q)^{2.0798}$ ，其判定係數為 0.5286。表示所求得的乘幂迴歸方程式對於 1974 年至 1996 年的資料，解釋程度為 52.86%。

本研究以 1997 年與 1998 年的日平均流量與日輸沙量的資料，進行乘幂迴歸方程式的檢證（圖 4）。在 1997 年與 1998 年的 60 筆資料中，共有 9 筆資料超過正、負 1 個標準差的區間範圍外。在 1997 年與 1998 年的資料中，共有 85% 的資料落在正、負 1 個標準差的區間內。

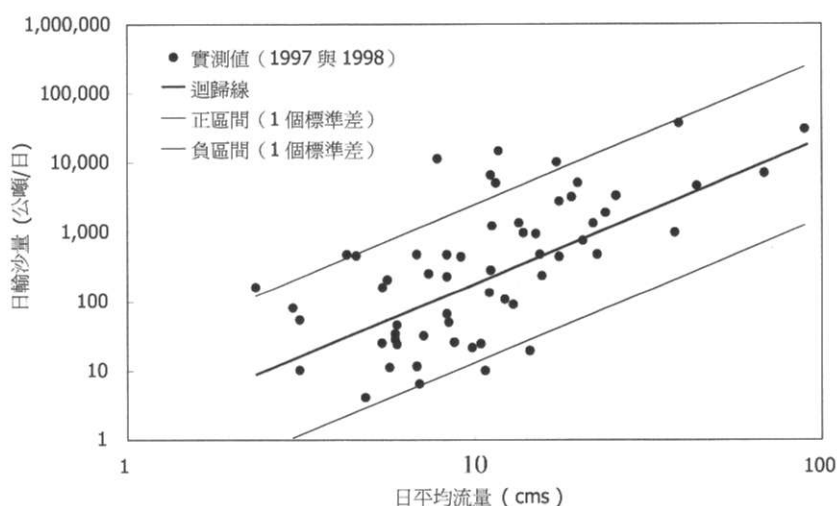


圖 4 乘幂迴歸方程式與正、負 1 個標準區間，以 1997 年與 1998 年的懸移質資料進行檢證

## 懸移質生產量的估算與分析

### (一) 估算懸移質生產量

本研究採用 Biedenharn and Thorne (1994) 的方法估算本集水區歷年的懸移質生產量。

- 決定組距：考量組距必須表現大部份流量的變化，因為大多數的日平均流量歸屬於小於 30cms 的狀態，在這樣的情形下，組距必須小於 30cms。考量日平均流量的最大值為 640cms，若以組距定的太小，會讓資料在日平均流量數值較高的分組之中，有太多缺乏資料的分組，因此將組距定為 10cms。若將組距定為 10cms，則在 0~30cms 的部份可分為三組，對於不同年份的流量可呈現較細緻的變化，又可兼具高日平均流量部分，讓缺資料的分組數降到可接受的情形。
- 依據之前對於率定曲線探討的結果，本研究採用下式來推估不同流量狀態下的懸移質生產量。

$$Q_s = 1.508 (Q)^{2.0798}$$

- 透過本研究得到的率定曲線計算在每組的流量狀態下可搬運的懸移質生產量，以每組的上限作為整組的流量。

### (二) 歷年懸移質生產量的分析

從地形的觀點，在尋找環境問題的解答時，「有效流量」扮演了一個很重要的角色，例如營養物、微量金屬與污染物流入河流系統 (Sichingabula, 1999) 而被搬運、傳遞。除此之外，瞭解懸移質的粒徑分佈也相當重要，因為會影響吸附作用。Sichingabula (1999) 定義有效流量為：「不同流量狀態中，搬運懸移質比例最大者，為有效流量 (effective discharge)」。

蘭陽溪上游集水區在 1975 年至 1996 年之間，20cms 的流量狀態對於懸移質的搬運比其它任何流量狀態來的有效，因為 20cms 的流量狀態搬運的懸移質佔了總懸移質生產量的 9.97%，所佔的比例大於其它所有的流量狀態 (圖 5)，因此從整個觀測期間分析，20cms 的流量狀態是這段觀測期間的有效流量。

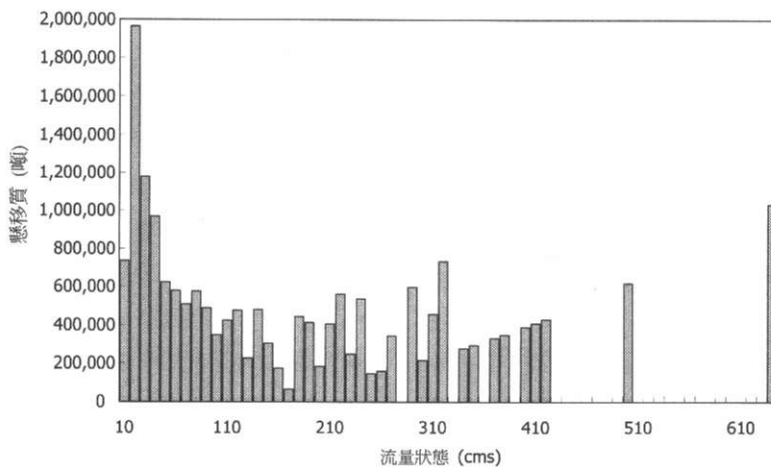


圖 5 1975~1996 年間不同流量狀態下的懸移質生產量之分布



分析 1975 年至 1996 年的資料大部份的流量狀態 (約 90%) 低於 30cms，但是低於 30cms 的流量狀態在 22 年間，其搬運量只佔總搬運量的 19.69%。這顯示了一個清楚的結果，在蘭陽溪上游集水區中，不常發生的高流量事件 (約 10%) 對於懸移質生產量的影響重大。

上一段突顯了常常發生的低流量狀態對於整個觀測期間的懸移質生產量的比例，這一段要說明在蘭陽溪上游集水區發生的極端事件究竟具有多麼重要的影響性？可由 500cms 與 640cms 這兩次的流量事件來呈顯，500cms 的流量狀態僅僅佔了所有流量的 0.01%，搬運的懸移質佔了總懸移質生產量的 3.14%；而 640cms 的流量狀態也僅佔了所有流量的 0.01%，搬運的懸移質佔了總懸移質生產量的 5.25%。根據這樣的資料顯示，在 500cms 與 640cms 的這兩天中，搬運的懸移質佔了 22 年間總懸移質生產量的 8.39%。

接下來可以進一步地將資料稍加整理，以「佔據的時間」與「搬運的懸移質」繪製成圖來進行分析 (圖 6)，從圖中可以清晰地看到一個現象：「在整個觀測期間 (1975-1996)，蘭陽溪上游集水區的懸移質生產量是在短時間內就升高到接近總量的 80%」。這代表大部分的懸移質生產量是在短時間內被移出集水區，也就是說極端事件應該在懸移質生產上扮演重要的角色。以實際的數值來說明，佔 22 年所有時間 82.55% 的流量狀態，只搬運了總懸移質生產量的 13.71%；僅佔 22 年所有時間 5.49% 的流量狀態，卻搬運了總懸移質生產量的 78.21%。

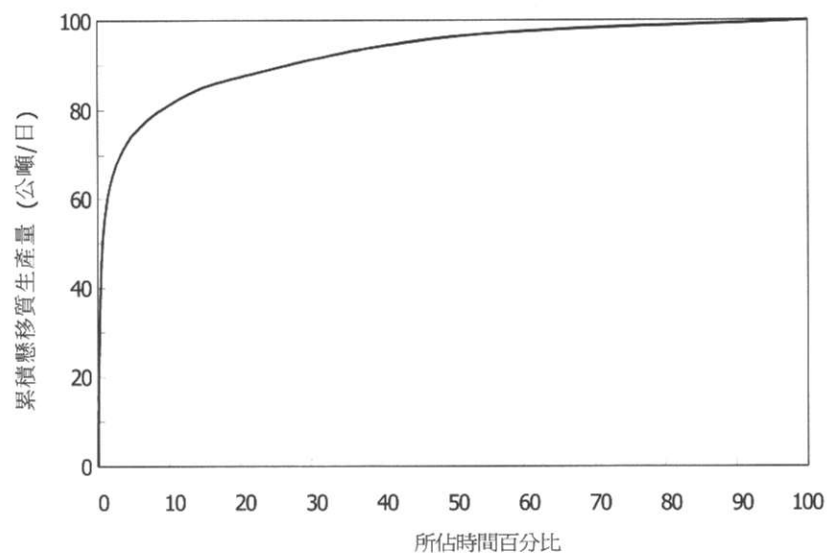


圖 6 1975~1996 年間以下累積懸移質生產量與所佔時間百分比

## 颱風對懸移質生產特性的分析

### (一) 歷年颱風期間與非颱風期間的懸移質生產量

歷年的懸移質生產量變化劇烈(圖 7)，這樣的資料顯示懸移質生產量歷年來並非在固定範圍內變動，因此蘭陽溪上游集水區的懸移質生產量非常不穩定。若從時間序列上分析，歷年的懸移質生產量也沒有週期性變化的趨勢、也沒有朝某一個方向的變化趨勢。分析歷年的「颱風佔每年的懸移質生產量的比例」後，發現這樣的比例變動很大，歷年颱風佔全年的懸移質生產量比例分布從 1983 年的 0.11% 到 1992 年的 93.06% (圖 7)。此結果顯示颱風對本集水區的影響，每年的影響程度變異很大，比較每個年度的颱風期間懸移質生產量與非颱風期間年懸移質生產量之間的關係後，瞭解不同年份之間颱風對於蘭陽溪上游集水區的影響程度不同。

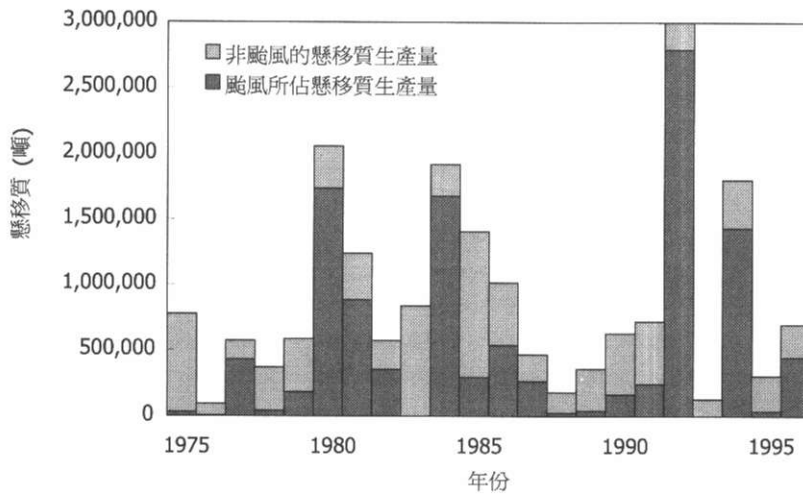


圖 7 比較颱風期間與非颱風期間的年懸移質生產量

解析颱風事件對於懸移質生產量的影響時，歷年颱風生產的懸移質生產量佔了 22 年觀測期間總懸移質生產量的 59%。但是颱風在 22 年的觀測期間，只佔了 6.47% 的時間。長期來看若缺少颱風的影響，懸移質生產量會減少 59%，依據颱風期間與非颱風期間總懸移質生產量 (1975~1996 年) 的數據分析，顯示颱風帶來的豪雨對於蘭陽溪上游集水區的懸移質生產量具有重要的貢獻。

### (二) 不同懸移質生產類型的比較

Ashmore and Day (1988) 的研究中發現，Saskatchewan 河流在不同流量狀態下的懸移質分布型態，並非如同 Wolman and Miller (1960) 的假設一樣，不屬於簡單的單峰型態。Ashmore and Day (1988) 認

為可能會出現多峰、左偏或者右偏等四種情形。在 Sickingabula (1999) 的研究中，也證實了這樣的情形。Sickingabula (1999) 並將 Ashmore and Day (1988) 所找出的四種型態予以定義。

1. I 型：單峰型態，以適當規模和頻率的流量事件為有效流量。
2. II 型：多峰型態，此種型態來自於不同流量狀態，搬運了相類似數量的懸移質，因此會有數個峰值。
3. III 型：以低頻率、大規模的流量事件為有效流量。
4. IV 型：以高頻率、小規模的流量事件為有效流量。

依據 Ashmore and Day (1988) 對於懸移質-流量分布型態的分類，將蘭陽溪上游集水區（家源橋以上）的歷年懸移質-流量分布型態予以分析，並將 22 年的資料以此分類方法來歸類（表 3）。

蘭陽溪上游集水區歷年的懸移質-流量分布型態以 I、II、III、IV 型出現較多，I 型出現很少只有 1 次、II 型有 6 次、III 型有 9 次、IV 型也有 6 次。這樣的結果顯示蘭陽溪上游集水區的懸移質-流量分布型態的變化很大，每年可能出現的分布型態並不固定。

表 3 不同年份的懸移質-流量分布型態

年份	型態	年份	型態	年份	型態	年份	型態
1975	II	1981	III	1987	II	1993	IV
1976	IV	1982	II	1988	IV	1994	III
1977	III	1983	II	1989	IV	1995	IV
1978	IV	1984	III	1990	I	1996	III
1979	II	1985	III	1991	II		
1980	III	1986	III	1992	III		

### (三) 分析不同懸移質—流量分布型態的懸移質生產特性

#### 1. 不同流量狀態與以下累積懸移質生產量的關係

因為蘭陽溪上游集水區的懸移質搬運型態以 II、III、IV 型為主，因此從每一型中尋找出一個年份的資料做為代表。

從不同流量狀態與以下累積懸移質生產量的曲線可以發現，三個年份的懸移質生產特性有顯著的不同。1980 年（III 型）的懸移質累積曲線在低流量狀態以平緩、穩定的斜率上昇，到了中、高流量狀態時，則以突進式的變化為主，原因在於受到低頻率、大規模的懸移質搬運事件所影響；1987 年（II 型）在 100cms 之前的流量狀態約搬運了 60%，在 100cms 之後的流量狀態約搬運了 40%，顯示此年份的懸移質搬運，屬於比較分散的情形；1990 年屬於 I 型，在此不予討論；1993 年（IV 型）的懸移質搬運則是以低流量狀態為主，完全為 30cms 以下的流量狀態主導，屬於非常典型的 IV 型。

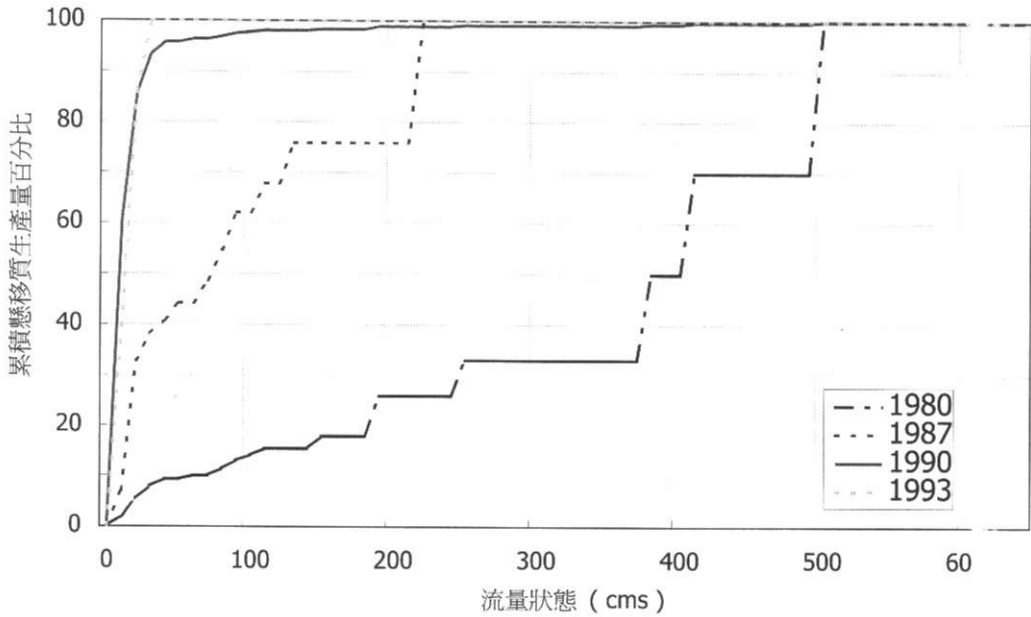


圖 8 1980 年、1987 年、1990 年與 1993 年不同流量狀態與以下累積懸移質生產量的比較

## 2. 單一颱風事件的探討

在 1980 年、1987 年與 1993 年之間，颱風事件的最大流量所搬運的懸移質佔全部事件的懸移質比例並不相似 (表 4)，仍必須依據每次颱風事件的降雨特性而定，若雨量集中則比例會提高，若雨量分散則比例會降低，對單一颱風事件每個颱風的雨量差異很大，並非能從單一颱風顯現颱風對全年或者數十年間懸移質生產特性的影響。

表 4 颱風事件中最大日平均流量搬運比例

年份	颱風事件	$S/S_t$
1980	諾瑞斯颱風	51.48
1980	珀西颱風	39.21
1987	傑魯得颱風	28.19
1987	琳恩颱風	89.87
1993	塔莎颱風	0.71
1993	楊希颱風	0.14

註： $S/S_t$  為「颱風事件最大日平均流量的日懸移質生產量」/「颱風事件的總懸移質生產量比例」。

## 3. 颱風事件最大日平均流量與全年有效流量之探討

以 1980 年、1987 年與 1993 年為例，這三個年份低於 30cms 的流量狀態出現的次數最多，分別是

93.38%、95.45%與 97.84%。1980 年 (III 型) 的有效流量為 500cms (圖 8)，1987 年 (II 型) 的有效流量為 220cms (圖 9)，1993 年 (IV 型) 的有效流量為 20cms (圖 10)。前兩者都受到颱風事件最大流量的影響 (表 4)，全年的有效流量與颱風事件的最大流量一致，1993 年的有效流量則以小規模、高頻率的流量事件 (20cms) 為主。

若以颱風事件所搬運的懸移質與全年的懸移質生產量進行比較，則 1980 年為 84.57%，30cms 以下的流量狀態佔了 7.82% (16 萬噸)；1987 年為 55.48%，30cms 以下的流量狀態則佔了 38.14% (18 萬噸)；1993 年在 30cms 以下的流量狀態佔了 100% (13 萬噸)。這顯示了颱風規模的大小，深深的影響懸移質生產量的多寡。

30cms 以下的流量狀態在 1980 年、1987 年與 1993 年的懸移質生產量相差不大，但是所佔的比例則相差懸殊。這樣的結果表示 III 型 (1980 年) 的懸移質生產量主要受到颱風的影響，且大量的懸移質是在颱風期間被移出蘭陽溪上游集水區；II 型 (1987 年) 的懸移質生產量同時受到颱風與規模小、高頻率的流量事件所影響；IV 型 (1993 年) 的懸移質搬運沒有受到颱風的影響，全年的懸移質生產皆以規模小、高頻率的流量事件 (低於 30cms 的流量狀態) 影響。

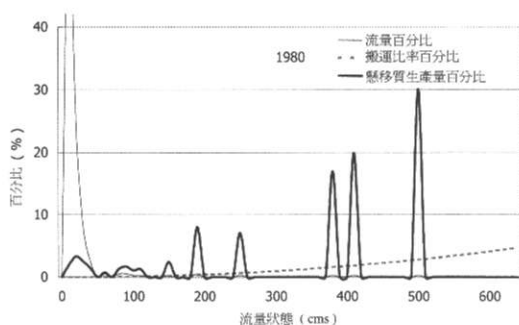


圖 8 1980 年的搬運有效性 (III 型)

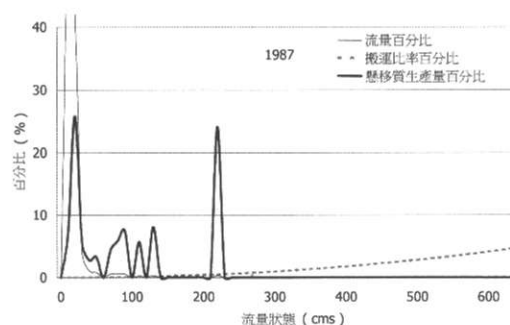


圖 9 1987 年的搬運有效性 (II 型)

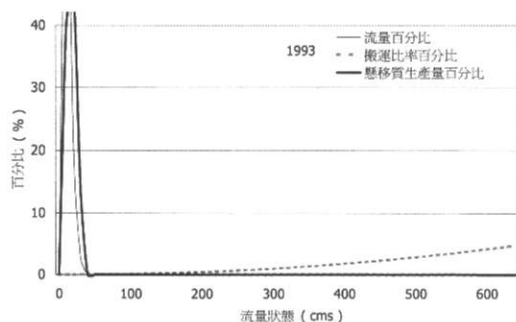


圖 10 1993 年的搬運有效性 (IV 型)

## 結 論

### (一) 本集水區的懸移質-流量率定曲線

本集水區的懸移質搬運屬於「搬運限制 (transport limited)」，而非「供給限制 (supply limited)」，可利用懸移質-流量率定曲線來推估懸移質生產量。

在比較、分析後，發現本集水區的懸移質-流量率定曲線適合使用乘幂迴歸方程式 ( $Q_s = \alpha(Q)^{\beta}$ )，指數迴歸方程式 ( $Q_s = \alpha * e^{\beta Q}$ ) 並不適用於本集水區。求取本集水區的懸移質-率定曲線，以所有觀測期間的懸移質與流量資料一起計算，所得的結果可以接受，也較為簡便。

### (二) 颱風對於本集水區懸移質生產特性的影響

在 22 年的觀測期間，颱風搬運的懸移質佔了整個觀測期間的 59%，但是只佔了 6.47% 的時間。此結果突顯了颱風在本集水區懸移質生產特性的重要性。

蘭陽溪上游集水區的懸移質-流量分布型態，並不穩定。I 型出現很少只有 1 次，II 型有 6 次，III 型有 9 次，IV 型也有 6 次，從時間序列上來分析發現每年的搬運型態改變劇烈。

分析 II 型、III 型、IV 型的特性後，II 型同時受到颱風事件與小規模、高頻率的流量事件所影響；III 型主要受到颱風事件的影響；IV 型主要受到小規模、高頻率的流量事件所影響。II 型與 III 型之間的差異在於，颱風事件的規模不同，前者較小、後者較大。II 型與 III 型的有效流量與颱風事件中的最大流量一致，顯示 II 型與 III 型的懸移質生產特性受到颱風的影響，而甚少颱風出現的 IV 型的有效流量則以小規模、高頻率的流量事件 (20cms) 為主。所以，颱風對於本集水區 II 型與 III 型年份的懸移質生產具有重要的影響。

## 建 議

因本集水區的資料以日資料來進行分析，所以在流量歷線的上昇翼與下降翼對於懸移質的探討差異不大，未來可嘗試以更小的時間單位進行分析。例如探討單場暴雨的水文歷線與懸移質濃度之間的變化。

颱風對於蘭陽溪上游集水區的懸移質生產特性影響重大，未來可針對不同河段與具有不同環境因子的河流來探討颱風對於懸移質生產特性的影響。

## 誌 謝

感謝在本文進行期間曾經提意見、並溫暖支持的每位朋友。特別對兩位匿名評審在審查過程詳盡地審閱，給予眾多的評論、修正意見與中肯的建議，特此申謝。

## 引用文獻

- 何春蓀 (1994) 臺灣地質概論，臺北，中央地質調查所。
- 林惠玲、陳正倉 (1999) 統計學：方法與應用上冊，臺北，雙葉書廊有限公司。
- Ashmore, P. E. and Day, T. J. (1988) Effective discharge for suspended sediment transport in streams of the Saskatchewan River Basin, *Water Resources Research*, 24: 864-870.
- Barch, D., Happoldt, H., Mäusbacher R., Schrott, L. and Schukraft, G. (1994a) Discharge and fluvial sediment transport in a semi-arid high mountain catchment, Agua Negra, San Juan, Argentina, Ergenzinger. In: P. and Schmidt, K. H. (eds), *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*, Berlin: Springer Verlag, 213-224.
- Barsch, D., Gude, M., Mäusbacher, R., Schukraft, G. and Schulte, A. (1994b) Sediment transport and discharge in an arctic catchment (Liefdefjorden, NW Spitsbergen), Ergenzinger. In: P. and Schmidt, K. H. (eds), *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*, Berlin: Springer Verlag, 225-237.
- Biedenbarn, D. S. and Thorne, C. R. (1994) Magnitude-frequency analysis of sediment transport in the lower Mississippi River, *Regulated Rivers: Research and Management*, 9: 237-251.
- Chikita, K. (1996) Suspended sediment discharge from snowmelt: Ikushunbetsu River, Hokkaido, Japan, *Journal of Hydrology*, 186: 295-313.
- Gregory, K. L. and Walling D. E. (1973) *Drainage Basin Form and Process: A geomorphological approach*, London: Edward Arnold Ltd. Press.
- Knighton D. (1998) *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Reid, I., Bathurst, J. C., Carling, P. A., Walling, D. E. and Webb, B. W. (1997) Sediment erosion, transport and deposition, In: Thorne, C. R., Hey, R. D. and Newson, M. D. (eds), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, UK: John Wiley and Sons Ltd., 95-135.
- Luk, S. H., diCenzo, P.D., and Liu X.Z. (1997) Water and sediment yield from a small catchment in the hilly granitic region, South China, *Catena*, 29: 177-189.
- Rondeau, B., Cossa, D., Gagnon, P. and Bilodeau, L. (2000) Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada, *Hydrological Processes*, 14: 21-36.
- Sichingabula, H. M. (1999) Magnitude-frequency characteristics of effective discharge for suspended sediment transport, Fraser River, British Columbia, Canada, *Hydrological Processes*, 13 (9) :1361-1380.
- Walling, D. E. (1995) Suspended sediment yields in a changing environment, In: A. Gurnell and G. Petts (eds), *Changing River Channels*, New York: John Wiley and Sons Ltd, 149-176.
- Wolman, M. G. and Miller, J. P. (1960) Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes, *Journal of Geology*, 68: 54-74.

91年6月17日 收稿

92年3月3日 修正

92年4月10日 接受