

臺灣南端四重溪與港口溪河流等級的研究

張瑞津

壹、緒論

一、河流等級的研究

一九四五年何頓 (R. E. Horton) 提出何頓法則 (Horton's law) 後，明顯地，對於流域形態的研究，已由定性的描述邁進了定量的分析。河流等級的研究不僅提供了有價值的水文資料，同時激起了對何頓法則一連串的檢討與修正，進而發展為何頓網系 (Horton's net) 的研究，成為計量地理學研究的一股潮流。

河流等級理論發端於哈頓理論 (Huttonian theory, 1788) 經蒲雷菲爾 (Playfair's law, 1802) 的發揚，而確立於何頓法則，其法則為

第一法則 $N_{i+1} = \alpha N_i$ N_i 為 i 等級河流的數目

第二法則 $L_{i+1} = \beta L_i$ L_i 為 i 等級河流的平均長度

第三法則 $S_{i+1} = \gamma S_i$ S_i 為 i 等級河流的坡度

此三法則是說明河流等級增加時，其河流數目、河流長度、河流坡度成幾何級數的增加或減少的一種經驗法則，其在機遇論上所具有的規則性，近年來頗為一般數理統計學者與理論地理學者所重視。

對何頓法則加以實證、修正及發展的，首推史瑞拉 (A. N. Strahler) 及其門人，包括 Smith (1953)、Schumm (1954)、Melton (1957)、Chorley (1957)、Coates (1958)、Morisawa (1959) 及 Maxwell (1960) 等多人。不僅對河流等級區分的方法加以修正，進而探討流域水系與流量、侵蝕力的關係。最近薛狄格 (A. E. Scheidegger, 1957) 以機遇論或位相幾何學 (topology) 為基礎，用圖解理論 (graphy theory) 與分歧過程 (branching process) 來說明何頓法則，吳登堡 (W. J. Woldenberg, 1966) 以

生物成育理論之一的器官成長理論 (allometric growth theory) 來演譯何頓理論。

何頓法則中的第一法則 (河流數目法則) 較第二法則 (河流長度法則) 更普遍適用。近年來，關於河流數目法則的研究有下列二方面：(1) 河流數目與地質、氣候的關係：周士 (B. Chose, 1967) 曾指出岩質的差異會影響水系的發達，而米勒 (V. C. Miller, 1953) 認為吾 (1969) 以大栗川流域為例，認為水流若與地層走向及傾斜方向一致，則水系較發達。(2) 河流數目與地圖縮尺的關係：薛狄格 A. E. Scheidegger 1966) 及楊、史托二氏 (C. T. Yang, J. B. Stall, 1971) 曾以不同的地圖縮尺來解析水系，他們咸認縮尺不同，即影響河流源數，繼而影響河流等級的變化，但對於分歧比、流長比、坡度比少有影響。日人高山茂美 (1972) 以大栗川流域為研究對象，解析 $1/3,000$ 、 $1/10,000$ 、 $1/25,000$ 及 $1/50,000$ 等四種不同縮尺河流等級的變化，導出了河流數目與縮尺分母間有近似迴歸直線式的關係 ($\log N_1 = \log K - \log \sqrt{S}$ ， N_1 為一級河流數目， S 為縮尺的分母， $\log K$ 為 y 軸的截距)。

由上觀之，河流數目除受自然方面即地質、氣候等的影響，亦受地圖縮尺人為的影響，此方面的研究有待拓展。

二、臺灣河流等級的研究

河流等級的研究，在臺灣早受注意，一九六三年石再添於臺灣師範大學地理學研究法課程中已指導學生作河流等級的作業，其後石氏曾在國際水文十年通報中發表「河流等級之研究」 (一九七一)，介紹河流等級理論的演進。至於以臺灣島河川作實例，做河流等級探討的論文有下列：

臺灣文獻

(1) 石再添（一九七一）以陽明山區的雙溪川、關渡溪、北磺溪三流域為例，測知河谷等級與河谷數目在單對數圖中成直線關係，其河系、水系及谷系密度之比例成 $1:2:4$ 之關係。

(2) 石再添（一九七二）在「臺灣西南部惡地的地形學計量研究」

中，指出惡地地區之實際水流較五萬分之一地形圖上河流長三十四倍，而與其所製之水系圖相近。

(3) 李美枝（一九七二）在其碩士論文「臺灣西南部典型惡地的地形學研究」中，指出二萬五千分之一地形圖上的水系比實際河長二·五十三倍，接近大雨時的水系，水系呈樹枝狀，甚為緻密。

由上觀之，河流等級的研究，在臺灣正方興未艾，有待全面的推廣。

三、本研究的目的

本研究是以計量的方法，配合野外實察，把握下列諸問題，作臺灣南端恆春半島四重溪與港口溪河流等級的探討。

I 四重溪、港口溪兩流域，其河系、水系、谷系三者的比較如何？究屬幾等級？

II 四重溪、港口溪兩流域，其河系、水系、谷系各等級別的數目多少？長度多少？分歧率如何？長度比如何？

III 四重溪、港口溪兩流域，其河系、水系、谷系數目成何種關係？與水流長度成何種關係？

IV 地圖縮尺不同，對河流的等級及各等級別的數目有何影響？對分歧率有何影響？

貳、本論

四重溪與港口溪為臺灣南端恆春半島的二大流域（圖1），前者面積為一三〇平方公里，後者為一〇四平方公里，本研究採史瑞拉河流等級區分法，分計測與分析兩部分，作本區河谷等級的探討。

I 計測
I 描繪二萬五千分之一地形圖上四重溪流域之河流，是為河系圖

；將河流延長至等高線成V字形處，並加水流等級區分者為水系圖；將河流延長至等高線成直線之前一條等高線處，為谷系圖，如圖2-a, 2-b與2-c。

II 如上述方法作港口溪流域的河系、水系與谷系圖，是為圖3-a, 3-b與3-c。

III 描繪五萬分之一地形圖上四重溪流域之河流，是為河系圖；將河流延長至等高線成V字形處，並加水流等級區分者為水系圖；將河流延長至等高線成直線之前一條等高線處，為谷系圖，如圖4-a, 4-b與4-c。

IV 以如上述方法作港口溪流域的河系、水系與谷系圖，是為圖5-a, 5-b與5-c。

V 依史瑞拉的河流等級區分，水流細流為一級，一級水流相匯成二級；二級水流相匯為三級，以下類推。將四重溪與港口溪兩流域的河系、水系和谷系各加以等級區分，並計算各級河谷數目，分歧率、河谷總長、平均長等，製表，是為表1。

VI 依據表1，在單對數表中，以兩流域之河系、水系與谷系之河谷數目為縱軸，河谷等級為橫軸，繪製河谷等級統計圖，是為圖6與圖7。

VII 依據表1，作四重溪、港口溪兩流域，不同縮尺各級河谷長度統計表，是為表2。

VIII 依據表1，作四重溪、港口溪兩流域，不同縮尺各級河谷長度統計表，是為表3。

二、分析

I 由圖2-a至圖5-c等一系列圖觀之：

A 二萬五千分之一地形圖上，四重溪流域河系為四級，水系與谷系較河系增高一級，均為五級。而港口溪流域，河系為四級，水系與谷系較河系提高二級，均為六級。

B 五萬分之一地形圖上，四重溪流域河系為四級，水系與谷系均為五級。而港口溪流域，河系為四級，水系與谷系亦均為五級。可

知二萬五千分之一地形圖上所測得河流等級與五萬分之一者同級，甚或提高一級。

II 由圖 6 與圖 7 兩流域河谷等級統計圖觀之：

A 四重溪與港口溪兩流域河谷數目與河谷等級在半對數表上大致成直線關係，可對證於何頓第一法則。河系者，其直線關係較明顯。

B 河谷等級與河谷數目在半對數表所呈現之直線關係，河谷等級愈低者，直線關係化愈明顯，等級愈高者，其直線關係有向內微偏之勢。

III 由表 1 四重溪、港口溪河谷等級統計表觀之：

A 以分歧率而言，二萬五千分之一地形圖上，四重溪、港口溪各級河谷之分歧率多在三十五之間；五萬分之一地形圖上，四重溪港口溪之分歧率亦多在三十五之間，可知本區地圖縮尺不同，對分歧率並無明顯的影響。

B 以河谷平均長而言，河谷等級與平均長的關係，並無一定的比例，即高等級的河谷平均長有時較低等級的河谷平均長為短，此被認為採用史瑞拉等級區分之缺陷。

IV 由表 2 縮尺不同之各級河谷數目統計表觀之：

A 以二萬五千分之一水系、谷系的河谷總數各為一〇〇%，計算五萬分之一水系、谷系河谷總長各佔其之百分比為 P_1 。同理，以二萬五千分之一水系、谷系中一級河谷總長各為一〇〇%，計算五萬分之一水系、谷系中一級河谷總長佔其所佔之百分比為 P_1 。由表 3 知四重溪水系之 P_1 為六七・六%，谷系為六七・八%；港口溪水系之 P_1 為六二・二%，谷系為六八・四%。四重溪水系之 P_1 為五七・一%，谷系為六二・三%；港口溪水系之 P_1 為四五・六%，谷系為五七・一%。可知不論水系或谷系，河谷總長減少的比例均較一級河谷總長減少的比例為高，達六〇%以上。

B 全流域的河谷長度以一級河谷長度所佔的比例最大，均在四五%以上，五萬分之一圖上，其比例在四五・六〇%，而二萬五千分之一圖上，其比例則較高大部分超出六〇%。不論河谷總數或河谷總長，一級河谷均佔全流域之半以上，故可推知其所造成之集水面積及流量均可影響全流域。

參、結論

本研究就臺灣南端恆春半島四重溪與港口溪，依據地形計測與野外考察的成果，作河流等級的探討而得下列五點結論：

I、四重溪流域在二萬五千分之一地圖上所測得水系、谷系之河谷等級與五萬分之一者相同，均為五級。而港口溪流域在二萬五千分之一地圖上水系、谷系之河谷等級均為六級，較五萬分之一者提高一

之低落，如港口溪水系的河谷等級在五萬分之一圖上為四級，比在二萬五千分之一圖上低落一級。

C 全流域的河谷總數以一級河谷所佔的比例最大，均在七五%

以上，五萬分之一圖上，其比例與二萬五千分之一者相似。

D 由於地圖縮尺愈大，一級河谷愈有乾谷或雨溝之特性，縮尺愈小，一級河谷可能短於實際河谷，故在何種地形區，河谷應延長到何種程度，有待更進一步的研究。

V 由表 3 縮尺不同之各級河谷長度統計表觀之：

A 以二萬五千分之一水系、谷系的河谷總長各為一〇〇%，計

算五萬分之一水系、谷系河谷總長各佔其之百分比為 P_1 。同理，以二萬五千分之一水系、谷系中一級河谷總長各為一〇〇%，計算五萬分之一水系、谷系中一級河谷總長佔其所佔之百分比為 P_1 。由表 3 知四重溪水系之 P_1 為六七・六%，谷系為六七・八%；港口溪水系之 P_1 為六二・二%，谷系為六八・四%。四重溪水系之 P_1 為五七・一%，谷系為六二・三%；港口溪水系之 P_1 為四五・六%，谷系為五七・一%。可知不論水系或谷系，河谷總長減少的比例均較一級河谷總長減少的比例為高，達六〇%以上。

級。可知地圖縮尺不同，可影響其河谷等級之高低。

II 四重溪與港口溪兩流域，河谷等級與河谷數目在單對表中成直線關係，可對證於何頓定律 (Horton's law)。但等級愈高，其直線關係有微向內偏之勢。

III 四重溪與港口溪兩流域各等級河谷之分歧率，不論在二萬五千分之一或五萬分之一地圖上，多在三~五之間，可知地圖縮尺不同，對本區兩流域之分歧率並無明顯的影響。

IV 四重溪與港口溪兩流域，不論水系或谷系，五萬分之一地圖上所測得的河谷總數為二萬五千分之一地圖所測之四〇一五〇%，河谷總長為六〇一七〇%，即河谷總數減少約五〇%。河谷總數減少太多，則影響河谷等級之低落。

V 四重溪與港口溪兩流域，一級河谷總數佔全流域河谷總數之七〇一八〇%，一級河谷總長佔全流域河谷總長之四五一六五%，由此可知一級河谷具有影響全流域水文特性之潛能。

謝辭

本研究獲行政院國家科學委員會研究補助，並承國立臺灣師範大學地理系石再添教授的悉心指導，同學陳月娥、李碧玉，以及師範大學地形考察隊全體隊員協助野外考察，地形計測、抄寫稿件，當野外考察之時，又蒙救國團以及各地軍、政、教等有關單位協助，得以順利完成，藉此衷心致謝。

參考文獻

- 張瑞津 (Chang, J.C.) (1975) 臺灣山地區與丘陵區河谷等級的計量研究，地理研究報告，第1期，第1至1—168頁。
- Chose, B. et. al. (1967) Quantitative Geomorphology of the Drainage in the Central Luni Basin in Western Rajasthan : Zeitschr. f. Geomorph., Bd. 11, S. 140—160.
- Horton, R. E. (1945) Erosional Development of Streams and their Drainage Basins : Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 56, pp. 275—370.
- 畫圓音韻 (Ju'en, S.) (1969) 大栗川流域の地形面積分布と水文地質、首都圈に於ける河川及び地下水の水收支に関する水文學研究報告，Zo. 2, pp. 8—10。
- Miller, V. C. (1953) A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area : Va. and Tenn. Tech. Rept., 20, Columbia University, Dept. of Geol ONR, Geography Branch, N. Y.
- 李美枝 (Lee, M. C.) (1972) 台東玉里溪典型階地的地形學研究——以左鎮以上菜寮溪與崇德以上的仁溪兩流域為例——，國立臺灣師範大學地理研究所論文，第1—113頁。
- Scheidegger, A. E. (1965) The Algebra of Stream Order Numbers : U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 525—B, pp. 187—189.
- Scheidegger, A. E. (1966) Effect of Map Scale on Stream Order : Bull. Inst. Assoc. Soc. Hydrol., Vol. 11, pp. 56—61.
- Strahler, A. E. (1952) Dynamic Basin of Geomorphology : Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 63, pp. 923—938.
- 石再添 (Shih, T. T.) (1971) 賴明山管理局區域的地形計測，中國地理學會會刊，第11期，第十九—112頁。
- 石再添 (1972) 臺灣西南部惡地的地形學計量研究，臺灣文獻，第111卷，第1期，第1—138頁。
- 高山茂夫 (Takayama, S.) (1972) 地形圖の縮尺が水流の次數區分及影響の影響 : 地理學報，Vol. 45, pp. 112—119.
- Yang, C. T. and Stall, J. B. (1971) Note on the Map Scale Effect in the Study of Stream Morphology : Water Resources Research, Vol. 7, pp. 709—712.

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

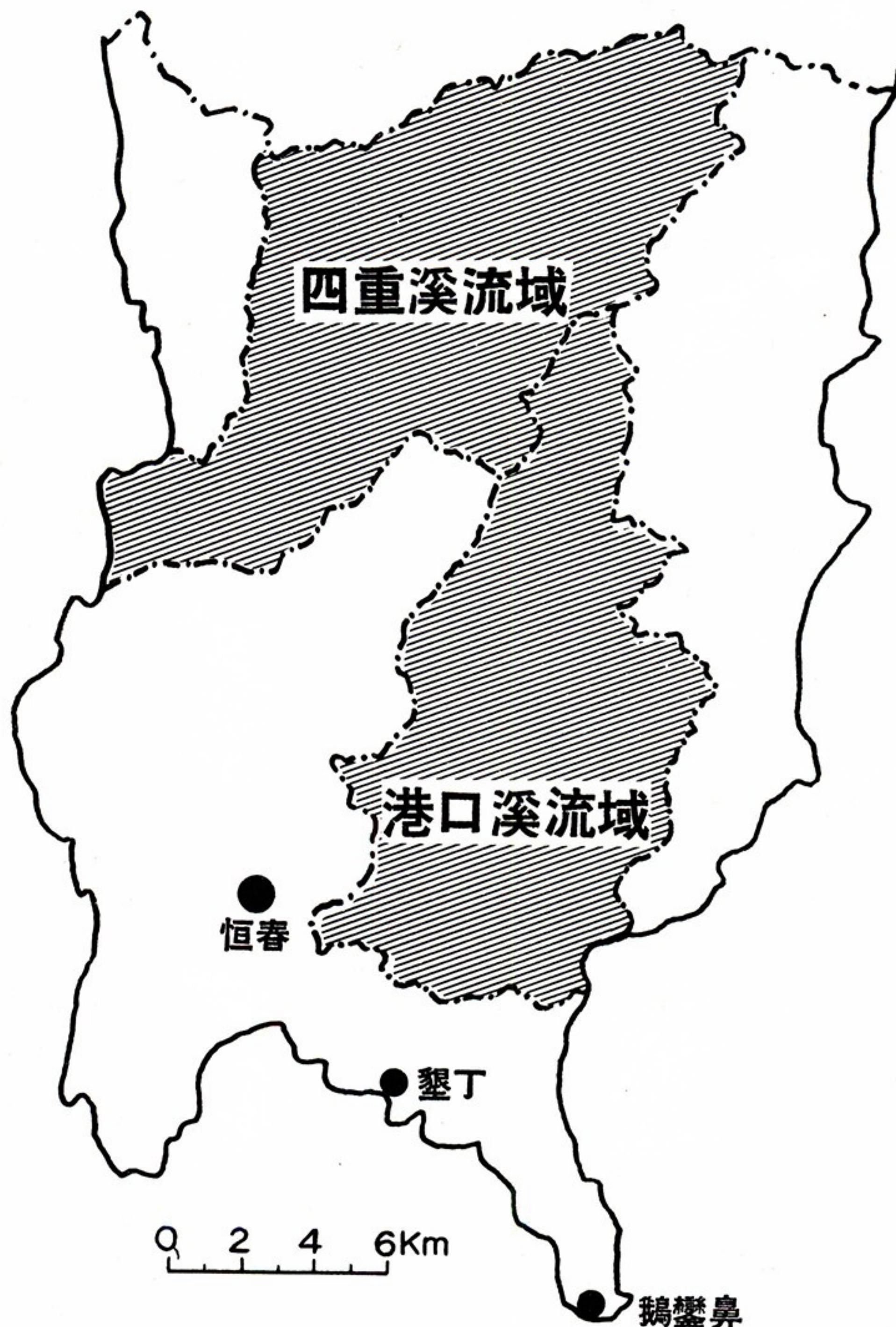


圖1 研究區域圖

一 獻 文 湾 臺 一

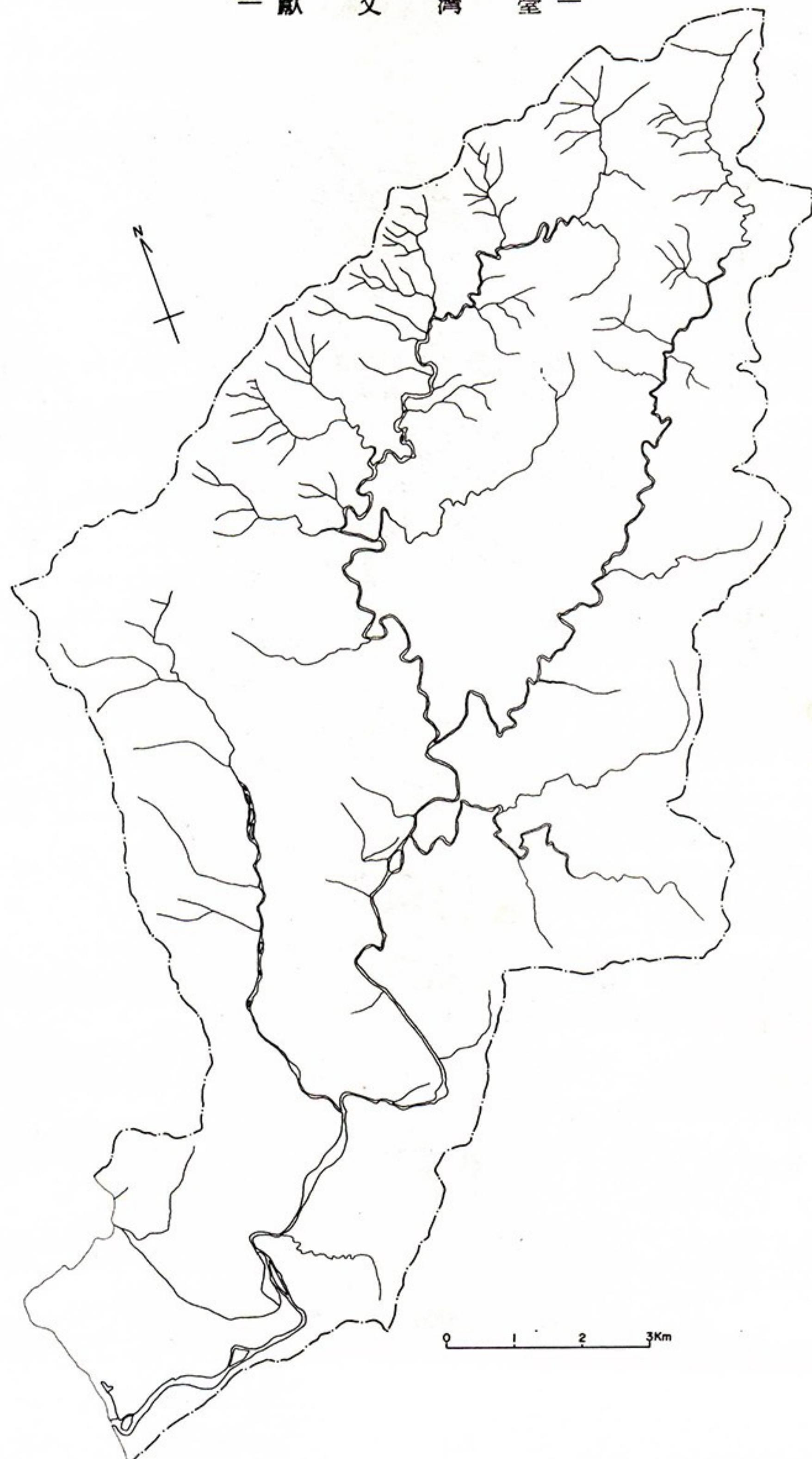


圖2-a 四重溪河系圖

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

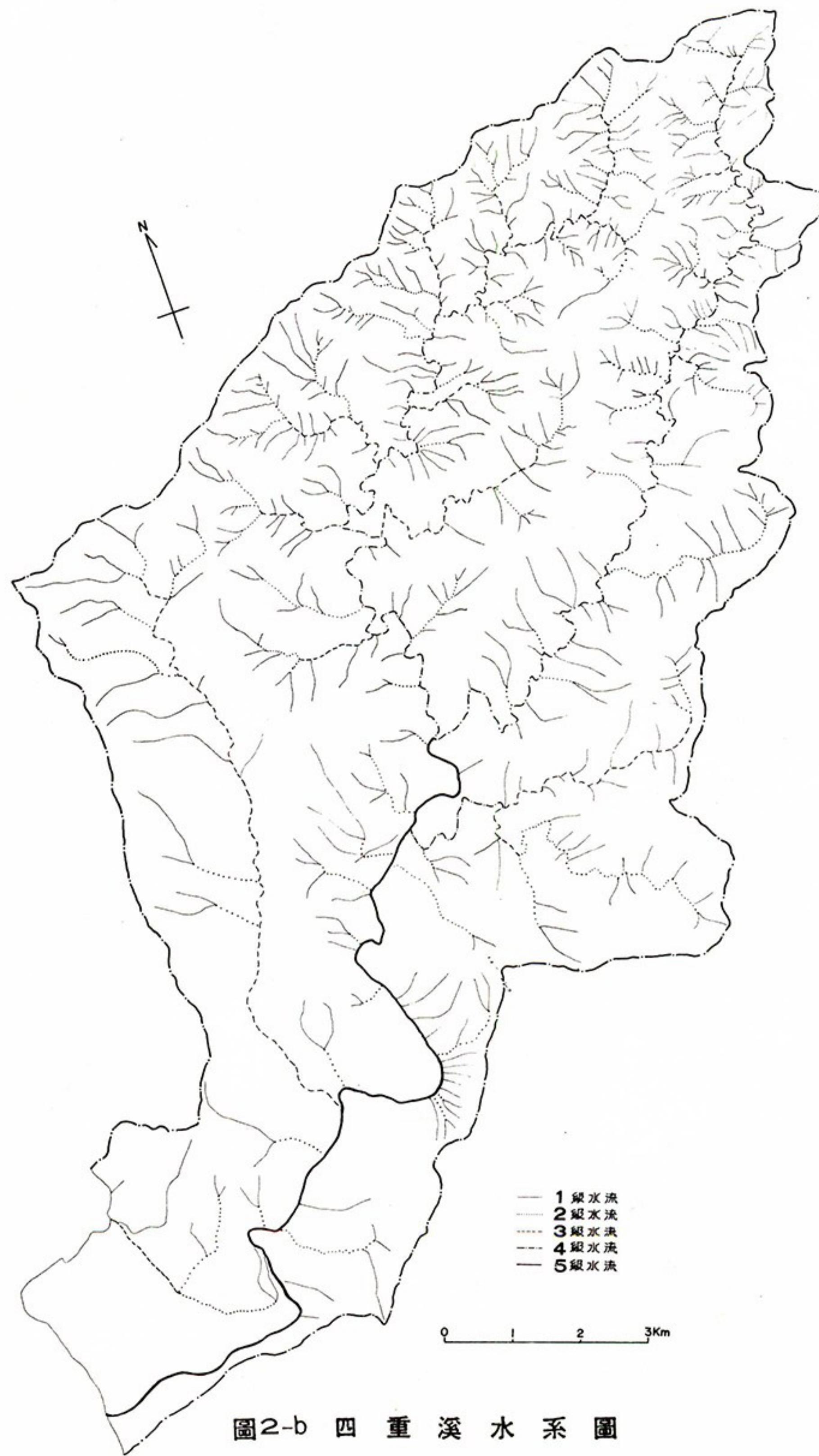


圖2-b 四重溪水系圖

— 獻 文 湾 臺 —

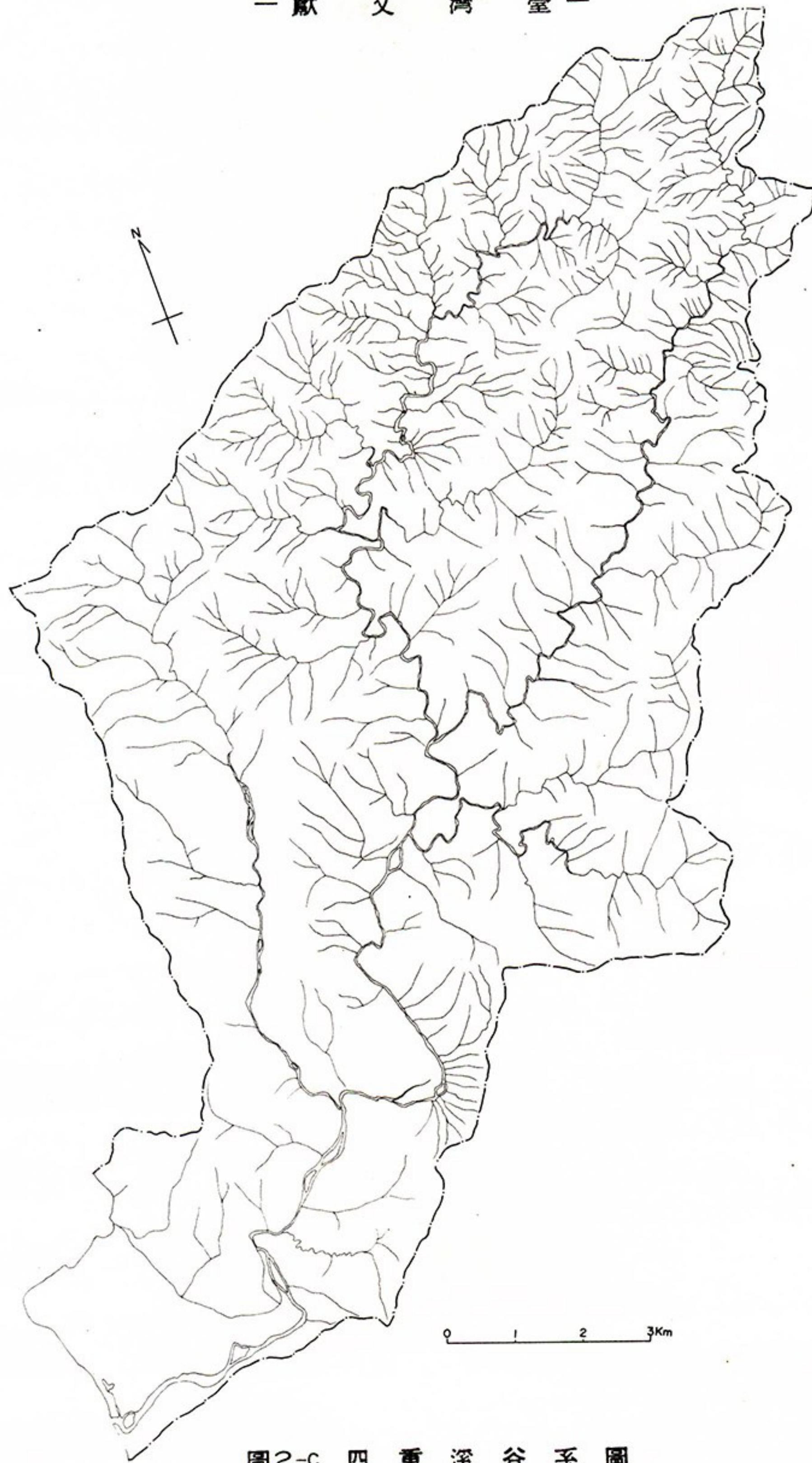


圖2-c 四重溪谷系圖

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

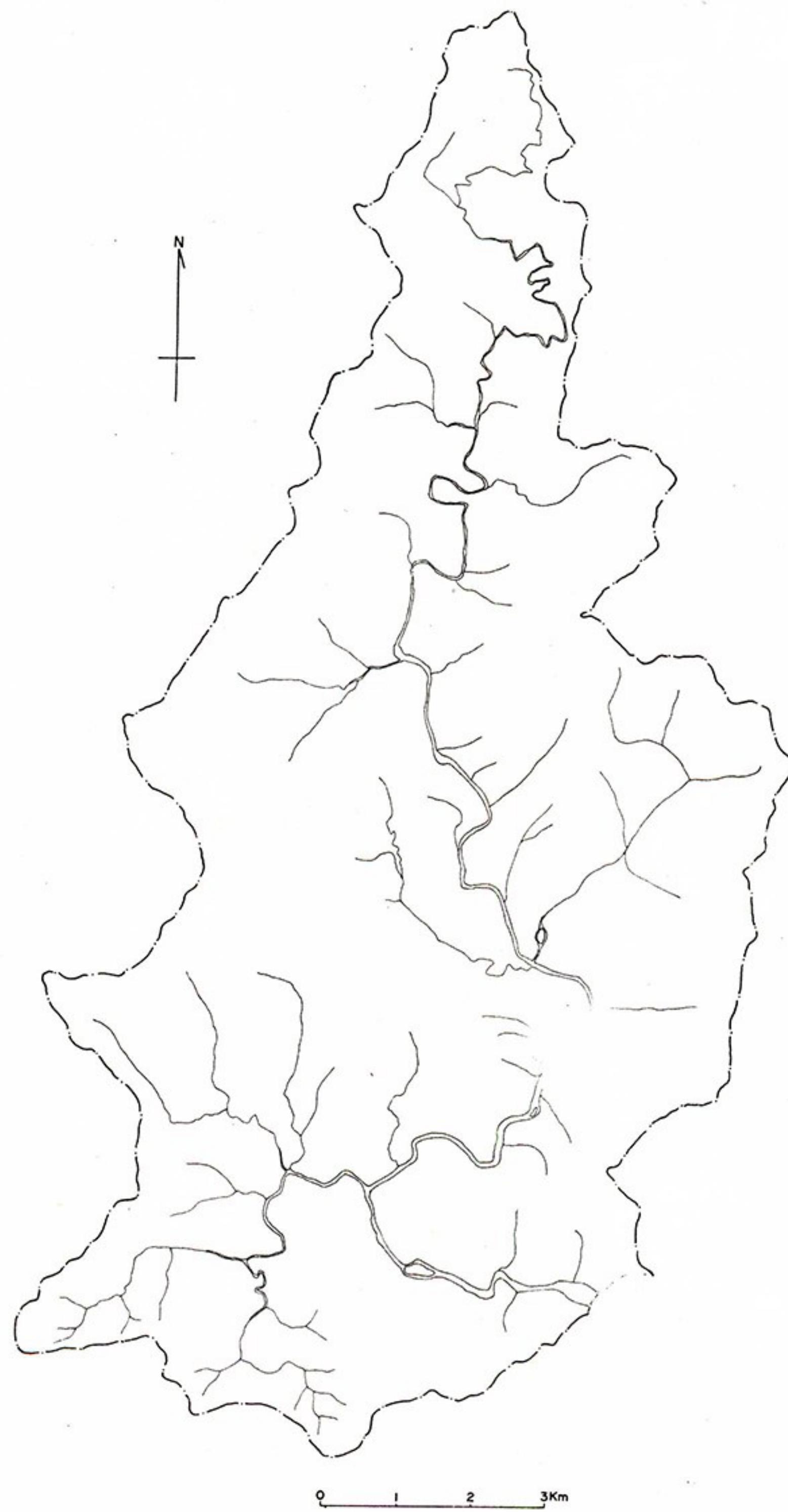


圖3-a 港 口 溪 河 系 圖

— 獻 文 灣 臺 —



圖3-b 港 口 溪 水 系 圖

— 究研的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

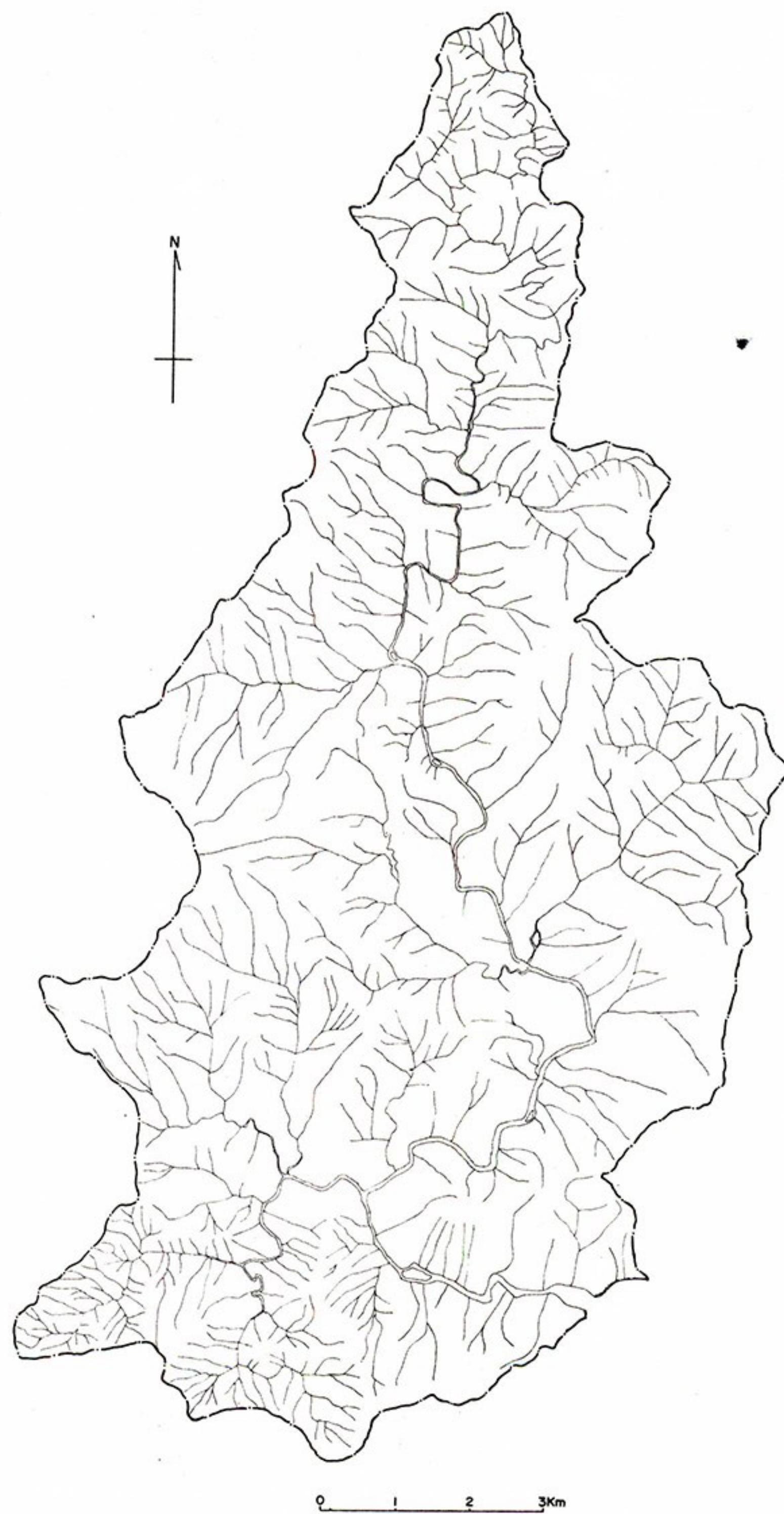


圖3-c 港口溪谷系圖

一 獻 文 湾 臺 一



圖 4-a 四重溪河系圖

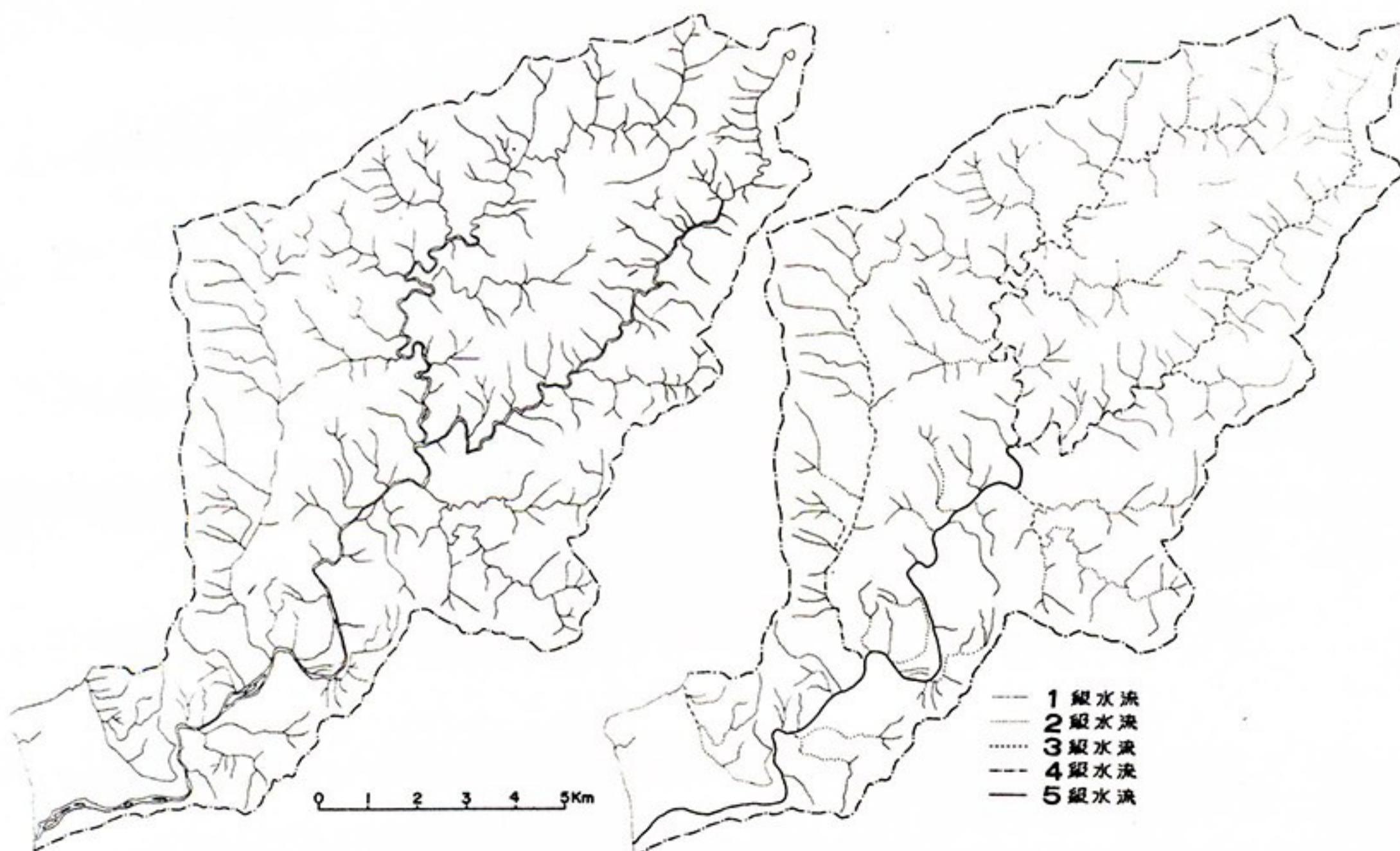


圖 4-c 四重溪谷系圖

圖 4-b 四重溪水系圖

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

圖5-c 港口溪谷系圖

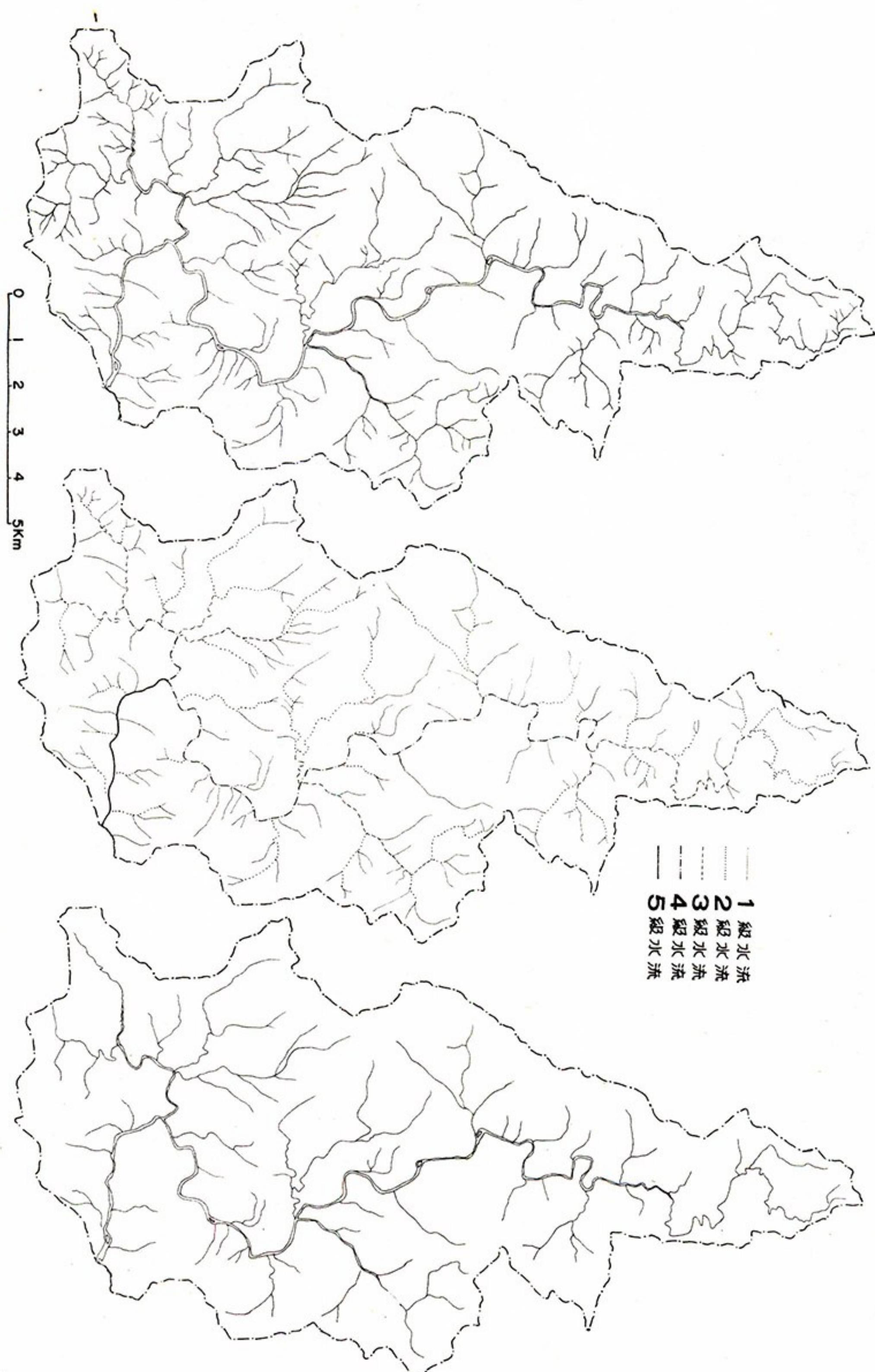


圖5-b 港口溪水系圖

圖5-a 港口溪河系圖

— 文 獻 —

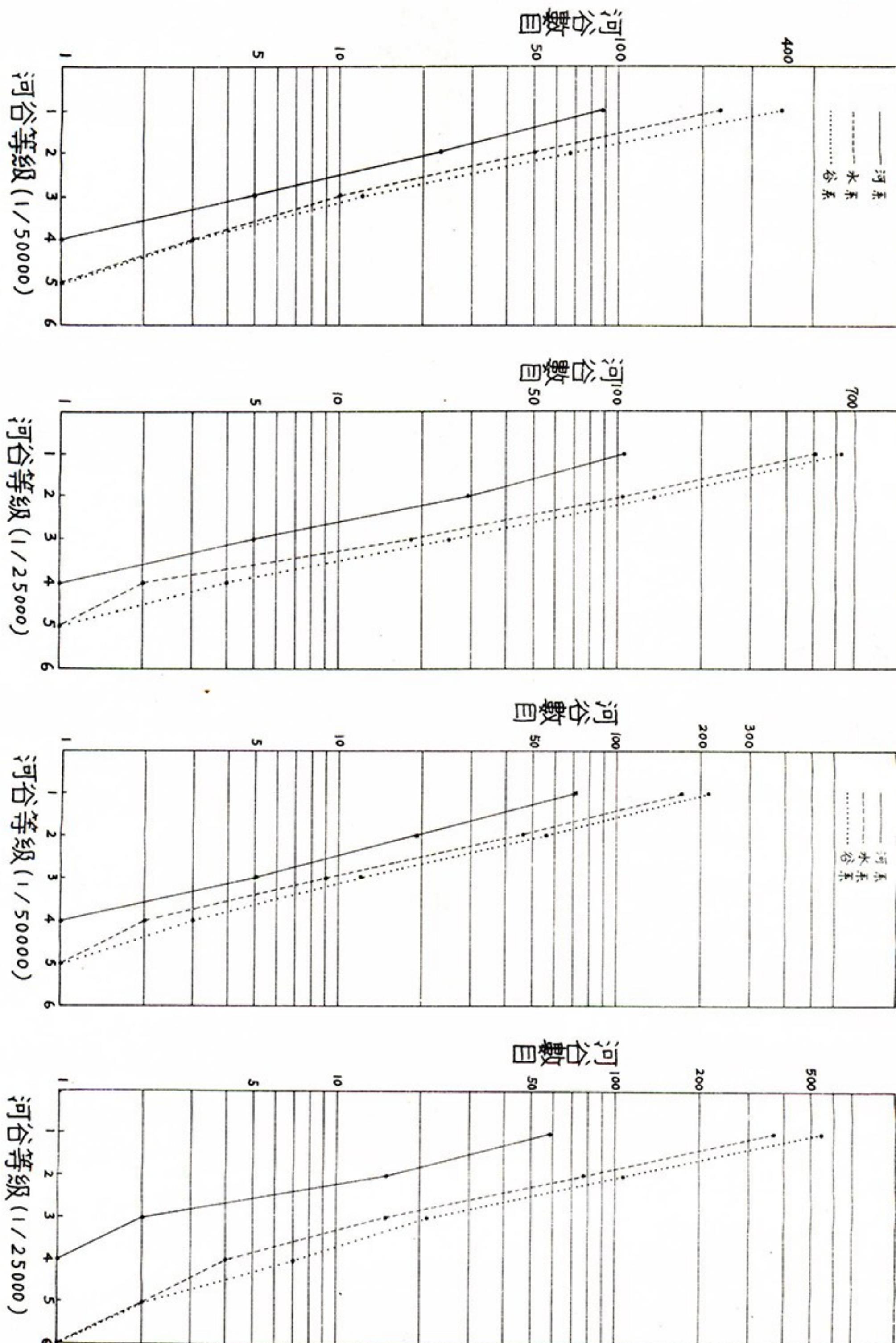


圖6 四重溪河谷等級統計圖

圖7 港口溪河谷等級統計圖

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

表1. 四重溪、港口溪河谷等級統計表

(1/25,000)

(1/50,000)

流域	河谷等級	河谷數目	分歧率 (1/α)	河谷總長 (km)	平均長 (km)	流域	河谷等級	河谷數目	分歧率 (1/α)	河谷總長 (km)	平均長 (km)	
四 重 溪	河 系	1	105	3.62	78.55	0.75	四 重	1	87	3.78	93.00	1.07
		2	29	5.80	30.60	1.06		2	23	4.60	43.50	1.89
		3	5	5.00	31.35	6.27		3	5	5.00	21.50	4.30
		4	1	27.35	27.35			4	1		16.50	16.50
	水 系	1	505	4.86	188.25	0.37	重 系	1	230	4.60	107.50	0.05
		2	104	5.78	61.38	0.59		2	50	5.00	58.00	1.16
		3	18	9.00	36.50	2.03		3	10	3.33	28.50	2.85
		4	2	2.00	33.25	16.63		4	3	3.00	16.25	5.42
		5	1	16.13	16.13			5	1		16.50	16.50
港 口	谷 系	1	626	4.64	293.75	0.47	溪 系	1	283	4.22	183.00	0.65
		2	135	5.40	71.35	0.53		2	67	5.58	62.50	0.93
		3	25	6.25	43.63	1.75		3	12	4.00	30.50	2.54
		4	4	4.00	23.25	5.81		4	3	3.00	19.25	6.42
		5	1	27.55	27.55			5	1		16.25	16.25
	水 系	1	58	3.87	56.75	0.98	港	1	71	3.74	76.50	1.08
		2	15	7.50	21.50	1.43		2	19	3.80	33.50	1.76
		3	2	2.00	20.75	10.38		3	5	5.00	7.00	1.40
		4	1		7.00	7.00		4	1		21.00	21.00
		1	368	4.78	191.00	0.52		1	171	3.72	87.10	0.51
		2	77	5.13	46.75	0.61		2	46	5.11	50.00	1.09
溪	水 系	3	15	3.75	19.90	1.33		3	9	4.50	22.00	2.44
		4	4	2.00	23.88	5.97		4	2	2.00	20.00	10.00
		5	2	2.00	9.00	4.50		5	1		4.00	4.00
		6	1	2.00	4.00	4.00		6	—	—	—	—
	谷 系	1	540	5.09	218.75	0.41	溪 系	1	214	3.82	125.00	0.58
		2	106	5.05	59.60	0.56		2	56	4.67	53.00	0.95
		3	21	3.00	22.00	1.05		3	12	4.00	27.50	2.29
		4	7	3.50	27.58	3.94		4	3	3.00	18.00	6.00
		5	2	2.00	9.20	4.60		5	1		10.00	10.00
		6	1	2.00	4.15	4.15		6	—	—	—	—

$$\alpha = \frac{N_{i+1}}{N_i} - N_i \text{ 為 } i \text{ 等級的河谷數目}$$

— 獻 文 灣 臺 —

表2. 縮尺不同之各級河谷數目統計表

河 谷 等 級	四 重 溪		港 口 溪	
	水 系	谷 系	水 系	谷 系
(1/25,000)	N ₁	505	625	368
	N ₂	104	135	77
	N ₃	18	25	15
	N ₄	2	4	4
	N ₅	1	1	2
	N ₆	—	—	1
	Σ N	630	791	467
	N ₁ : ΣN (%)	80.2	82.2	78.8
	P _T (%)	100	100	100
	P _i (%)	100	100	100
<hr/>				
(1/50,000)	N ₁	230	283	171
	N ₂	50	67	46
	N ₃	10	12	9
	N ₄	3	3	2
	N ₅	1	1	1
	Σ N	294	366	229
	N ₁ : ΣN (%)	78.2	77.3	74.7
	P _T (%)	46.7	46.3	49.0
	P _i (%)	45.6	45.2	46.5

— 研究的級等流河溪口港與溪重四端南灣臺 —

表3. 縮尺不同之各級河谷長度統計表

河 谷 等 級	四 重 溪		港 口 溪		
	水 系	谷 系	水 系	谷 系	
(1/25,000)	L ₁	188.25	293.75	191.00	218.75
	L ₂	61.38	71.35	46.75	59.60
	L ₃	36.50	43.63	19.90	22.00
	L ₄	33.25	23.25	23.88	27.58
	L ₅	16.13	27.55	9.00	9.20
	L ₆	—	—	4.00	4.15
	Σ L	335.51	459.53	294.53	341.28
	L ₁ : ΣL (%)	56.1	63.9	64.8	64.1
	P _T (%)	100	100	100	100
	P _i (%)	100	100	100	100
<hr/>					
(1/50,000)	L ₁	107.50	183.00	87.10	125.00
	L ₂	58.00	62.50	50.00	53.00
	L ₃	28.50	30.50	22.00	27.50
	L ₄	16.25	19.25	20.00	18.00
	L ₅	16.50	16.25	4.00	10.00
	Σ L	226.75	311.50	183.10	233.50
	L ₁ : ΣL (%)	47.4	58.8	47.6	53.5
	P _T (%)	67.6	67.8	62.2	68.4
	P _i (%)	57.1	62.3	45.6	57.1