



中技社97年度春季環境與能源研討會

物質流分析於河川流域水資源 供需評估之研究



簡報人：姚凱富 研究生

中華民國97年6月11日



Institute of Environmental Engineering and Management, NTUT

簡 報 大 綱

一

前言

二

文獻回顧

三

研究方法與流程

四

結果與討論

五

結論



第一章 前言

■ 研究緣起

■ 研究目的

前言

研究緣起

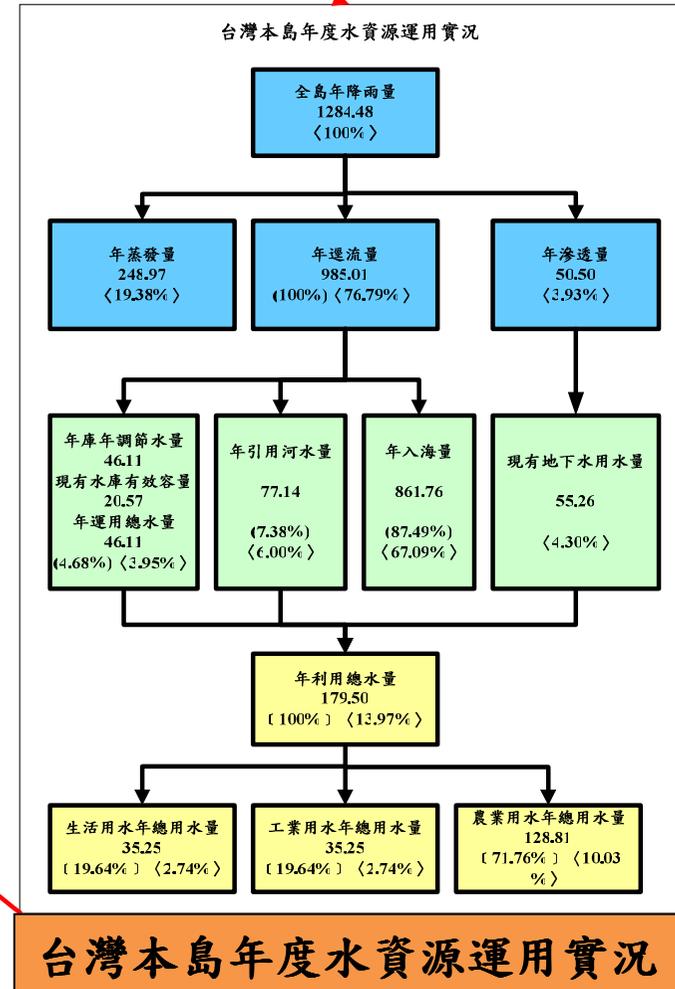
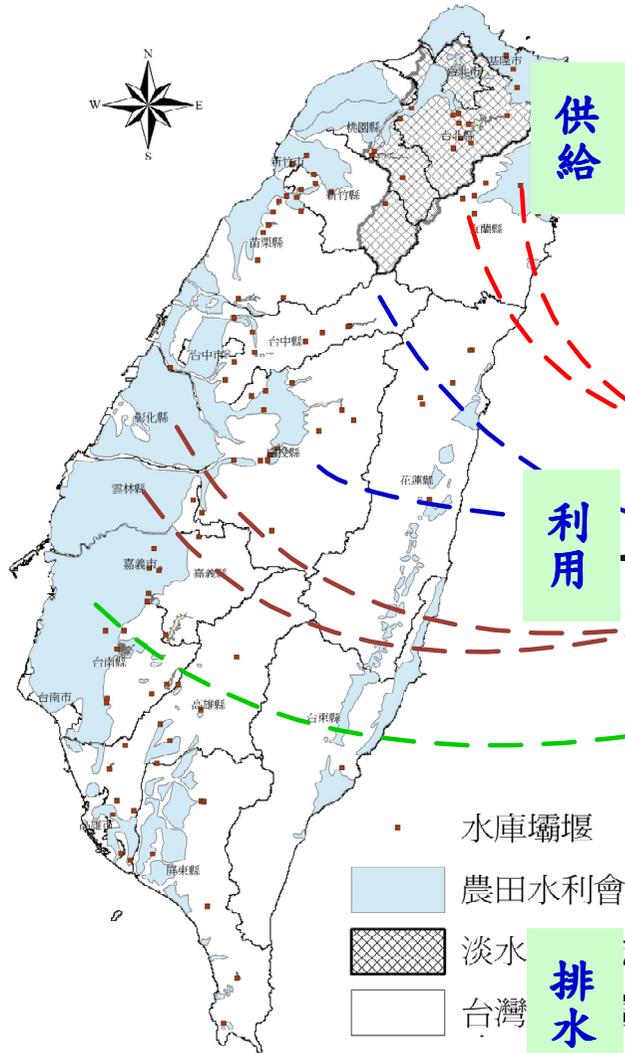
以物質流分析及繪製物質流布圖可探討社經與自然生態系統間資源利用與交互關係，也是政策管理者研擬環境管理政策工具之一。

WWC及EU強調各國建置流域性水資源(水質與水量)監測評估系統，為國際發展趨勢。

多年來台灣以四大區作為河川流域水資源治理與調配依據。如自來水區處以流域別劃分。

前言

水資源運用監測：用水端、縣市



前言

1. 若以**行政區域**為統計基礎，**無法與流域水體水資源供需結合**(蕭代基等，2003)。
2. 流域水資源供需帳建立，有益於具**效率之流域管理**(UNSD, 2006)
3. 建立流域水資源供需帳，可直接用於**國民所得帳編彙系統**或進行**環境永續性評估**之應用(Lange, 2007)

前言

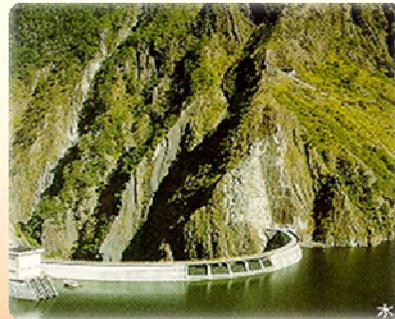
研究目的

以河川流域為單位檢視水資源與標的用水間
資源流向與流量分析

1. 建立河川流域為系統之水資源供需流佈分析方法論，包含建置項目、建置資料取得之來源與方法，以及資料處理與轉換流程。
2. 綜合性描述水資源自環境流入後、經供水/輪灌系統或自行取水者抽取利用、及至各標的用水間，各階段節點水資源流向與流量。
3. 協助水利署流域水資源收支平衡帳表建置。

第二章 文獻回顧

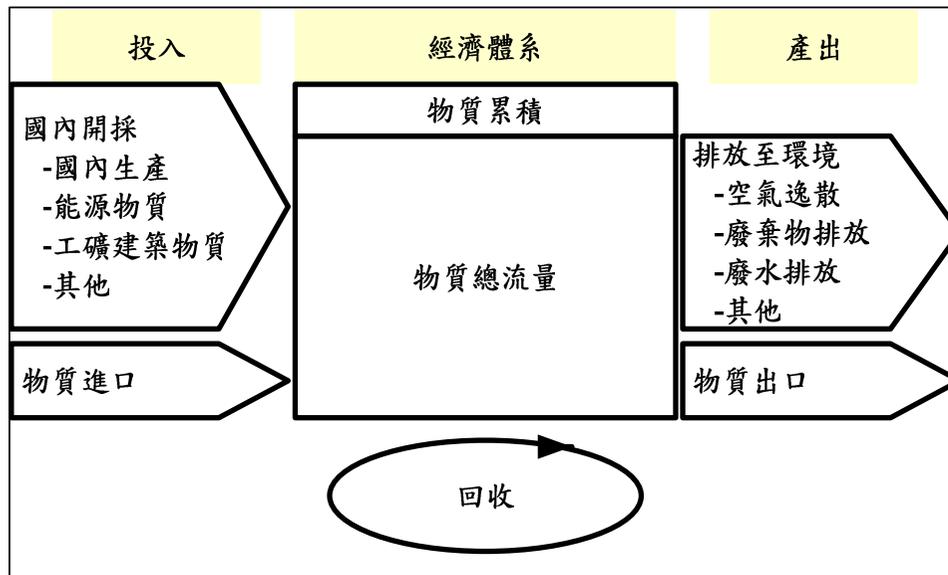
- 物質流分析理論特性
- 國際間流域管理與水資源帳建置情勢
- 物質流分析於水與河川流域應用回顧



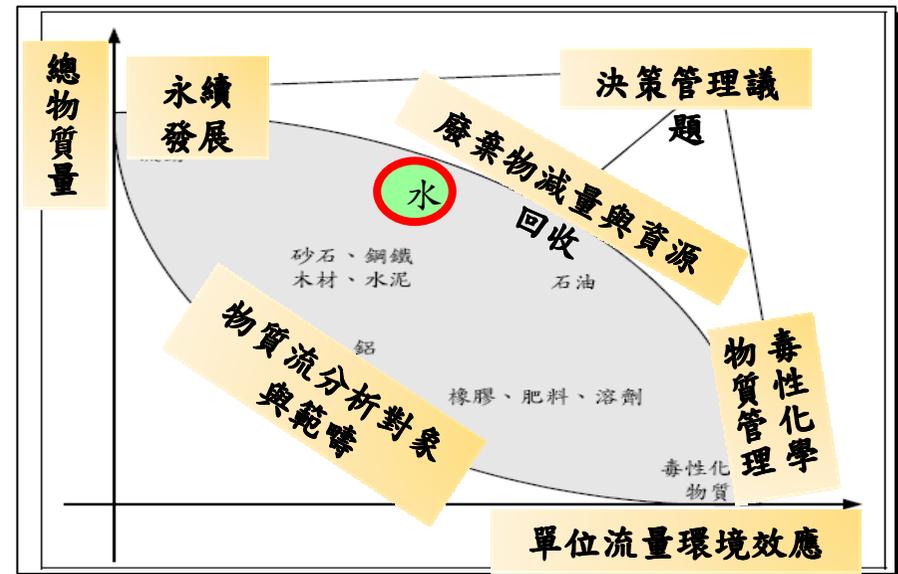
物質流分析理論特性—範疇議題

物質流分析定義

◆ 系統性追蹤自然資源經由開採、生產、製造組裝、使用、資源化再利用、最終處置及逸散於環境等過程之方法程序。通常以質量為單位定量出物質在實體經濟中使用之流向(Bringezu, 2000; WRI, 1997, 2005; 於幼華, 2005)。



資料來源：Eurostat, 2001



資料來源：Tjahjadi et al., 1999; 李育明, 2004

物質流分析理論特性—物質流分析類型與範疇

項目		單一物質	單一群集物質	所有群集物質
社經系統範圍 (包含推動物 流之驅動力)	產品、公司企業	—	—	小尺度物質流分析，適用於產品或公司行號(例如LCA、單位服務物質使用強度)
	部門間之活動範圍	—	—	中尺度物質流分析著重於部分或活動範圍內之物質流平衡研究
	總體經濟活動/區域	部分巨大物質流分析(例如特定元素物質流分析SFA)	部分巨大物質流分析(例如國家生質量物質流分析)	巨大物質流分析(例如TMRO、MFA-BIF等)

資料來源：Daniels *et al.*(2002)

物質流分析理論特性—優點及限制

✚ 優點 (Templet, 1995, 廖本富, 2001, WRI, 2005)

- 皆以重量為計算單位，具普及度高及溝通性佳之優點。
- 可持續性地建立經濟體內物質開採、使用及廢棄等流佈與流向調查。
- 提升物質使用效率與降低有害物質，以供研擬維護人體健康及降低生態系統污染負荷之政策。
- 可供政策執行中對物質管理前後效率之比較。

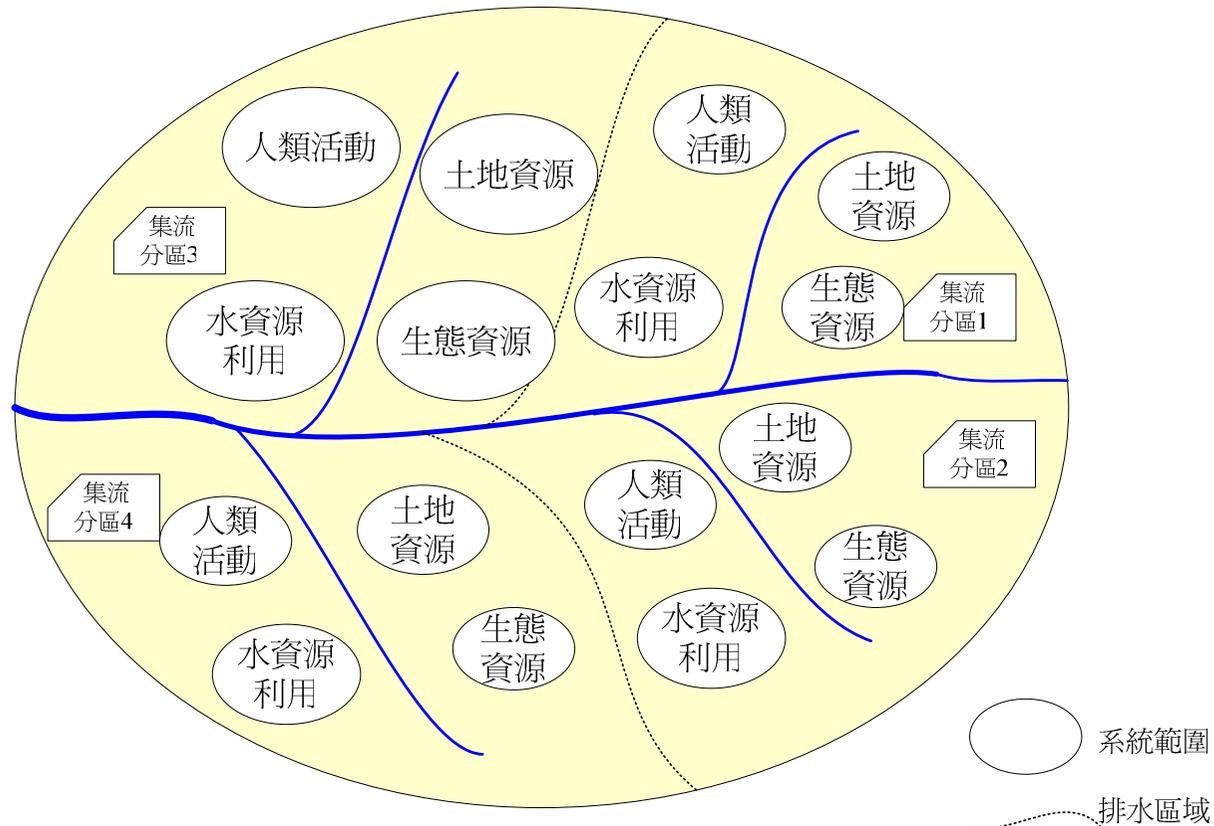
✚ 限制

- 物質流分析所需數據缺乏單一專責機構蒐集、比對及檢核分析，導入物質流分析數據，在資料盤查及定義不易。

國際間流域管理與水資源帳建置情勢—各國流域管理情勢

Agenda 21 (UNCED)與歐盟WFD(UNSD, 2006)：

- ✚以河川流域為空間單位落實整合式水資源管理(IWRM)。
- ✚流域內水資源與影響水質水量因子關係彼此鏈結。
- ✚管理者需全面性掌控流域及其水資源運用情況，以及影響水質與水量之因子為何。



水資源帳建置情勢—國際水資源管理研究所(IWMI)

✚ Molden *et al.*, (1999)年建立以**流域為基礎之水帳戶**架構。

✚ 從**水文平衡**觀點探討水資源流動情形。

✚ 為水資源**溝通與管理之工具**，掌握流域水資源運用情況。

1 總流入量(Ig)

- 降雨於流域總量(P)
- 地表水流入量(Ss)
- 地下水流入量(Sg)

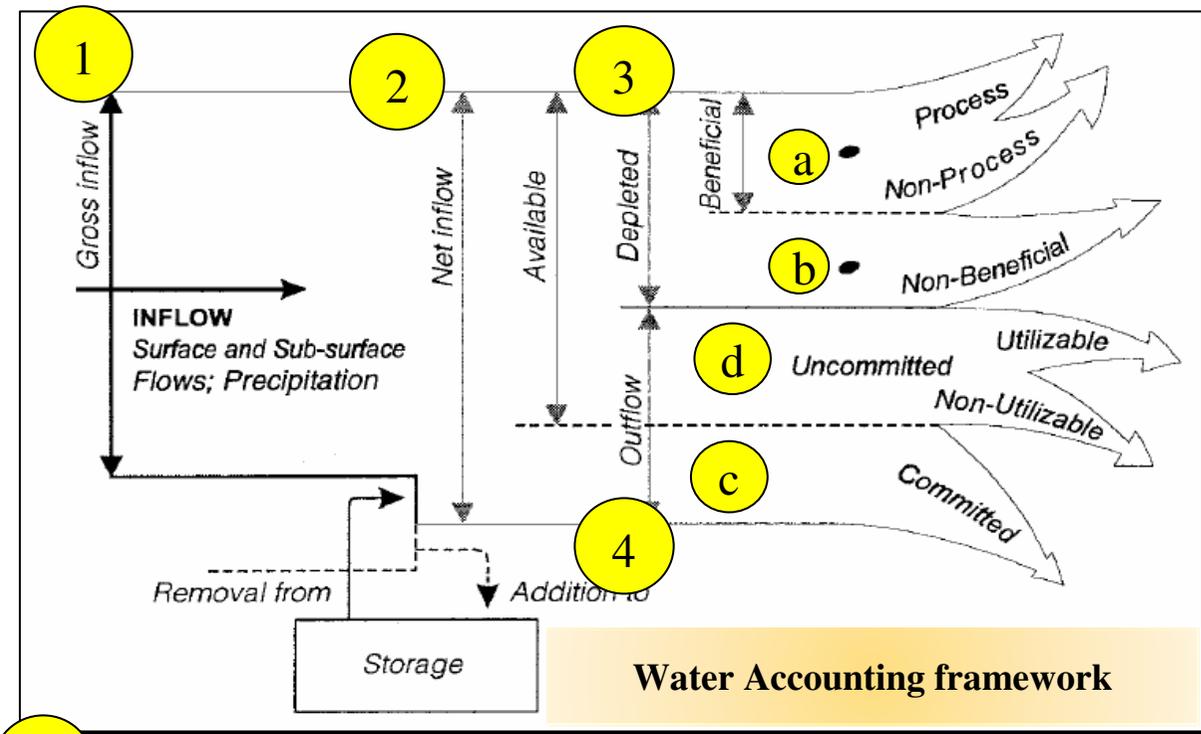
2 淨流入量(In)

- 總流入量(Ig) + 貯蓄改變量(ΔS)

3 水資源消耗量 (Water Depletion)

a 有益消耗量：標的用水量、蒸發散量及林業用水量等。

b 無益損耗水量：休耕地深層滲漏、污染水量、流入消失項等



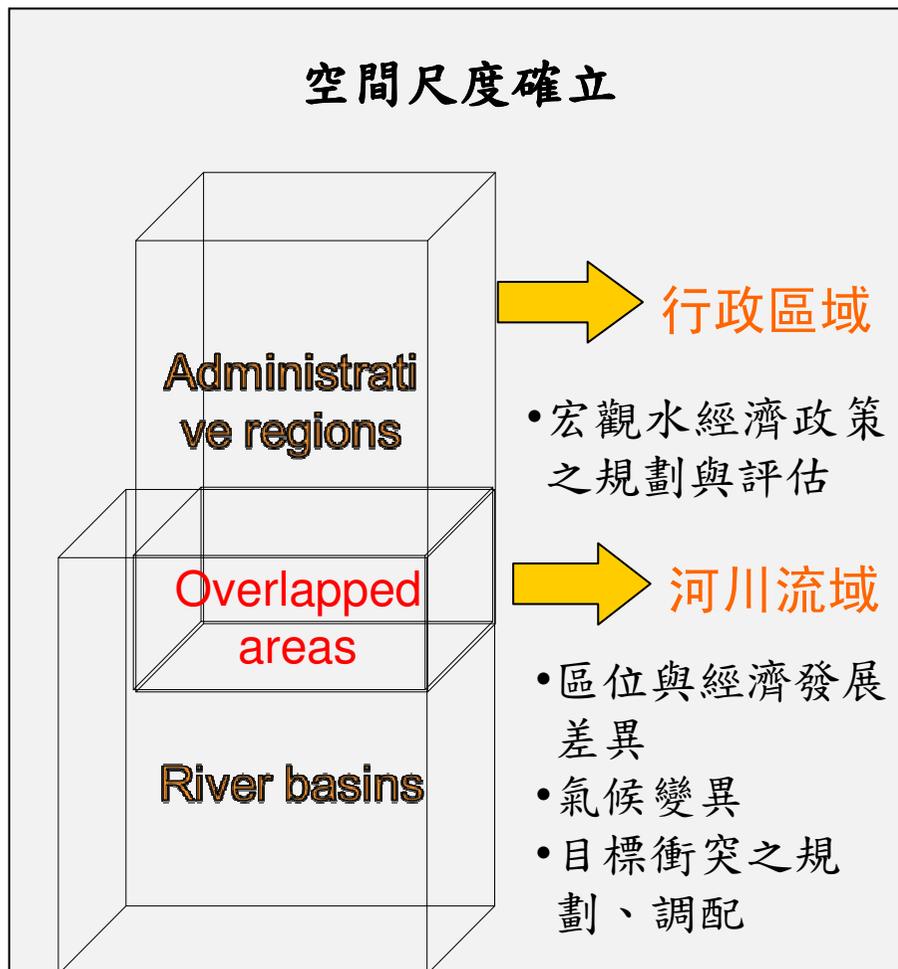
4 流出量(Outflow)

- **d** 無益性水量：通過系統邊界水資源流出量。
- **c** 未善加利用水資源量：因營運管理設施不當，而未被善加利用之水量，如供水系統洩漏量。

水資源帳建置情勢—聯合國統計處(UNSD)

水資源環境經濟綜合帳系統SEEAW (水資源使用與供給帳PUST)

空間尺度確立



範疇	項目	經濟活動(ISIC編碼類別)				家庭	總計	
		1	2-33	35	小計			
流出環境	U1 ：總抽取量(a=b)	108.4	114.6	4210.8	4963.7	10.8	4974.5	
	a.1-自用	108.4	114.6	4210.8	4963.7	10.8	4569.9	
	a.2-供應他人使用	-	-	-	404.6	0.0	404.6	
	b.1-水來源	地面水	3.1	9.7	1.0	18.4	0.0	18.4
		地下水	105.3	104.8	3.2	638.7	10.8	649.5
		土壤水	-	-	-	0.0	0.0	0.0
	b.2-其他來源	降雨收集	-	-	-	100.0	0.0	100.0
海水淡化		-	-	4206.6	0.0	0.0	4206.6	
經濟體流動	U2 ：經管線運輸至工業、生活及農業之用水量	38.7	45.0	3.9	565.8	239.5	805.4	
總使用量(U1+U2)		147.1	159.5	4214.7	5529.5	250.3	5779.8	
經濟體內流動	S1 總供給	再利用之水	-	-	-	379.6	0.0	379.6
		流向待處理之廢水	17.9	117.6	5.6	191.6	235.5	427.1
	流入環境	S2 總返回	至地面水	-	23.5	-	194.6	0.5
至地下水			65.0	5.9	-	118.7	4.1	122.8
至土壤水			-	-	-	0.0		
至海洋				5.9	4206.6	4468.8	0.2	4469.0
總供給量(S1+S2)		83.0	147.0	4212.2	5445.8	240.3	5686.1	
總耗損(U1+U2)-(S1+S2)		64.1	12.5	2.5	83.7	10.0	93.8	

水資源帳建置情勢—綜合比較

對象		國家/行政區域	河川流域
精神		建置行政區域各標的用水使用情形及用水量	結合自然系統與社經系統建置河系流域水資源各階段各節點流向與流向
範圍		全國、行政區域	以河川流域內水系與供水區域為範圍
時間		年	年、季
資料來源		水資源相關管理單位	水資源相關管理單位
作業性		容易	較不易
建置時間		短	長
對象		生活、農業及工業用水等標的用水	生活、農業及工業用水等標的用水
優劣評析	優勢	<ul style="list-style-type: none"> (1) 掌握縣市別與區域別生活與工業用水自來水供應與自行取水關聯性。 (2) 明確掌握各農田水利會之灌溉用水量。 (3) 可應用於國民所得帳(區域性)之編彙 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 明確掌握水源別與各標的用水間之關聯性。 (2) 明確掌握流域水系與農田水利會灌溉圳別實際取水量。 (3) 統計結果可進一步應用於綠色國民所得帳(區域型、流域型)帳表之編彙。 (4) 有益於較具效率之流域管理
	劣勢	<ul style="list-style-type: none"> (1) 受降雨逕流時空分佈不均影響，未能妥善掌握水資源區域性之供需關聯性 (2) 未能系統性掌握水源與用水端之關係 (3) 未能完整顯示流域水系與灌溉、畜牧用水使用情況。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 部分用水組成條件在假設平均分布情形下進行推估計算
附加效益		<ul style="list-style-type: none"> (1) 供各縣市政府擬訂發展計畫之基礎資料。 (2) 做為落實各縣市水資源總量管制之重要參考依據。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 系統性掌握取水、供水及用水資源空間分布及流動示意，為水資源管理決策重要依據。 (2) 為落實國際間流域管理計畫之根基。 (3) 後續評估水環境承载力、研擬水資源總量管制、交易方案與制度之重要依據。
各國應用		美國、澳州、日本、台灣及中國大陸	法國、瑞典、日本、中國大陸、印度等

物質流分析於河川流域及水議題應用—相關研究

作者	年代	研究尺度		研究成果與建議
		時間	空間	
USGS	1996	1984	美國科羅拉多河流域	1. 水資源計量系統之實際計算結果之用水量小於預期水量
Binder et al.	1997	1993	哥倫比亞通哈省內流域水資源平衡分析	1. 降雨量受蒸發散量之影響，間接導致河川流量之污染物稀釋能力相當低，需透過污水處理系統之建置及非點源污染管理。
武嘉仁	2004	2003	以流域為單位，整合高屏溪流域內所有水體包含河川、水庫壩堰及地下水分區建立完整且有系統的水資源帳	1. 部分資料無明確主管機關統計導致資料缺乏。 2. 著重於高屏溪流域河川水質之環境質損帳編彙及探討，並以損害評估法估算環境質損。 3. 建議增加自然資源服務價值估算，即人類對資源服務願付價格為何。
黃屏綸	2005	1987~2002	濁水溪流域農業資源變遷之情境分析與動態模擬	1. 以農作產量最為龐大，多輸出到流域之外；林業產量與漁業產量則極少，必須依賴流域外物質的輸入。 2. 釐清既有縣市、鄉鎮市農業統計資料之關係，建立一套流域農業統計數值之估計方式
杜榮偉	2005	1994~2000	大漢溪流域為研究案例，以河川流域視為一分析系統，系統邊界為大漢溪上游發源地至新海橋	1. 完成計算大漢溪流域歷年來BOD5及SS濃度與流量變化，計算單位為噸/年。 2. 資料庫取得及建立有賴相關單位加以整合利於研究進行。
林松瑾	2005	2003	南、北勢溪對大台北區域供水現況之物質流研究	1. 供水系統存在無費水量過高、過度依賴單一供水來源等相關問題。
Lange	2007	2000	非洲橘河流域水資源供需帳表	1. 針對目前以行政區域別在用水端統計之缺口加以補足強化。 2. 帳表編彙之制度應針對無法釐清用水量之組成(如農業用水自行取水)持續進行並改進。

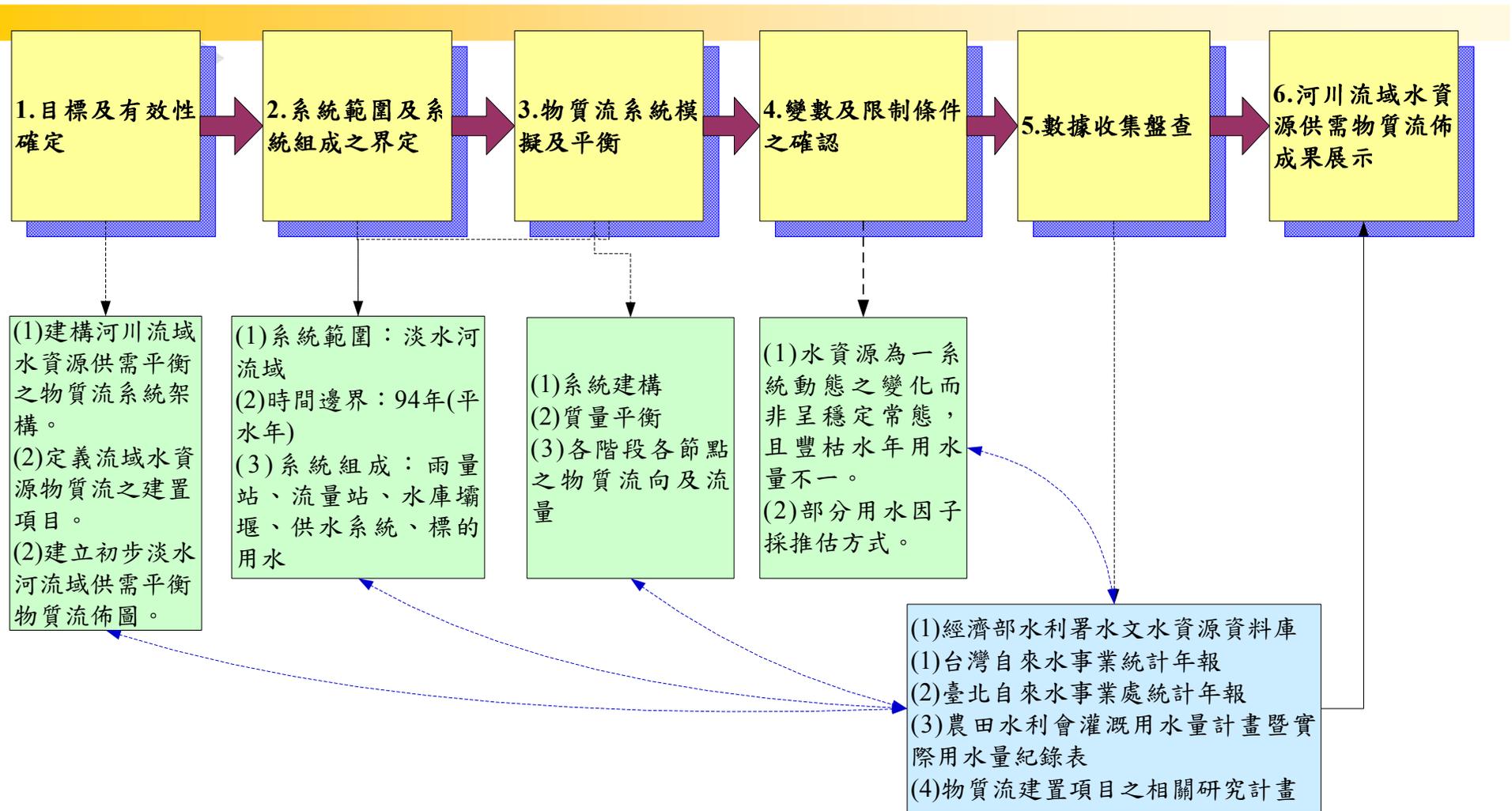
第三章 研究方法與流程

■ 物質流分析之架構流程

■ 資料分析轉換流程

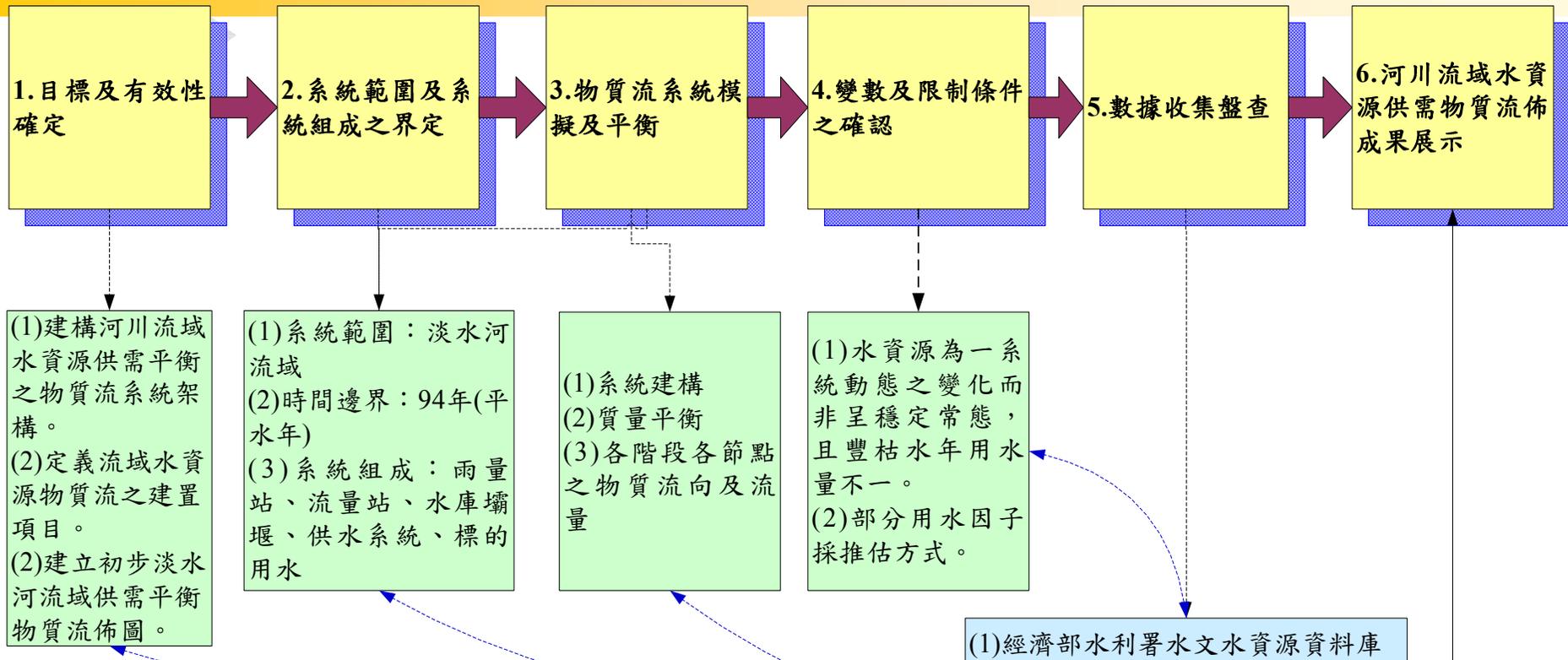


物質流分析架構—流程與步驟



圖? 河川流域水資源供需物質流之分析示意架構

物質流分析架構—流程與步驟



1. 空間範圍

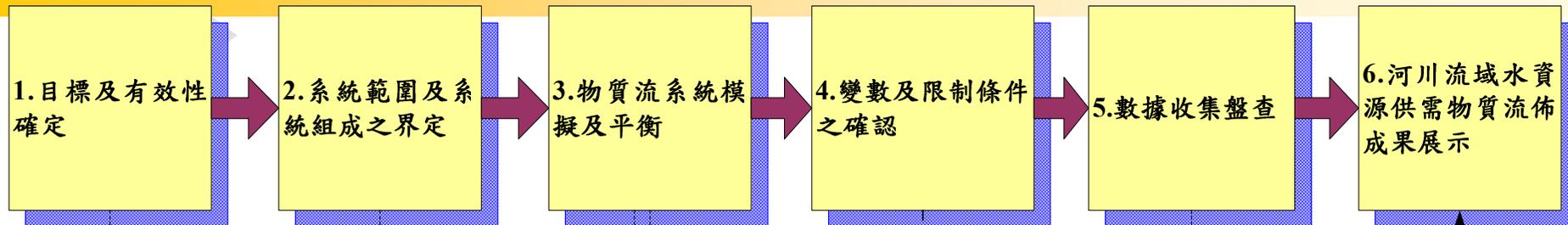
「主流與其支流所匯集而成之流域，引流域內水系進行抽取、處理、供給及利用之區域，但不包括流入污水處理廠及處理後排出之區域」

2. 時間範圍

民國94年平水年，以年度為最小單位



物質流分析架構—流程與步驟



(1) 建構河川流域水資源供需平衡之物質流系統架構。
 (2) 定義流域水資源物質流之建置項目。
 (2) 建立初步淡水河流域供需平衡物質流佈圖。

(1) 系統範圍：淡水河流域
 (2) 時間邊界：94年(平水年)
 (3) 系統組成：雨量站、流量站、水庫壩堰、供水系統、標的用水

1. 空間範圍

「主流與其支流所匯集供給及利用之區域，域」

2. 時間範圍

民國94年平水年，以年度為最小單位

1. 基於質量守衡定率，水資源收支平衡統計之方法論如下式所示

$$Q_{in} + P + \Delta S = Q_{out} + E$$

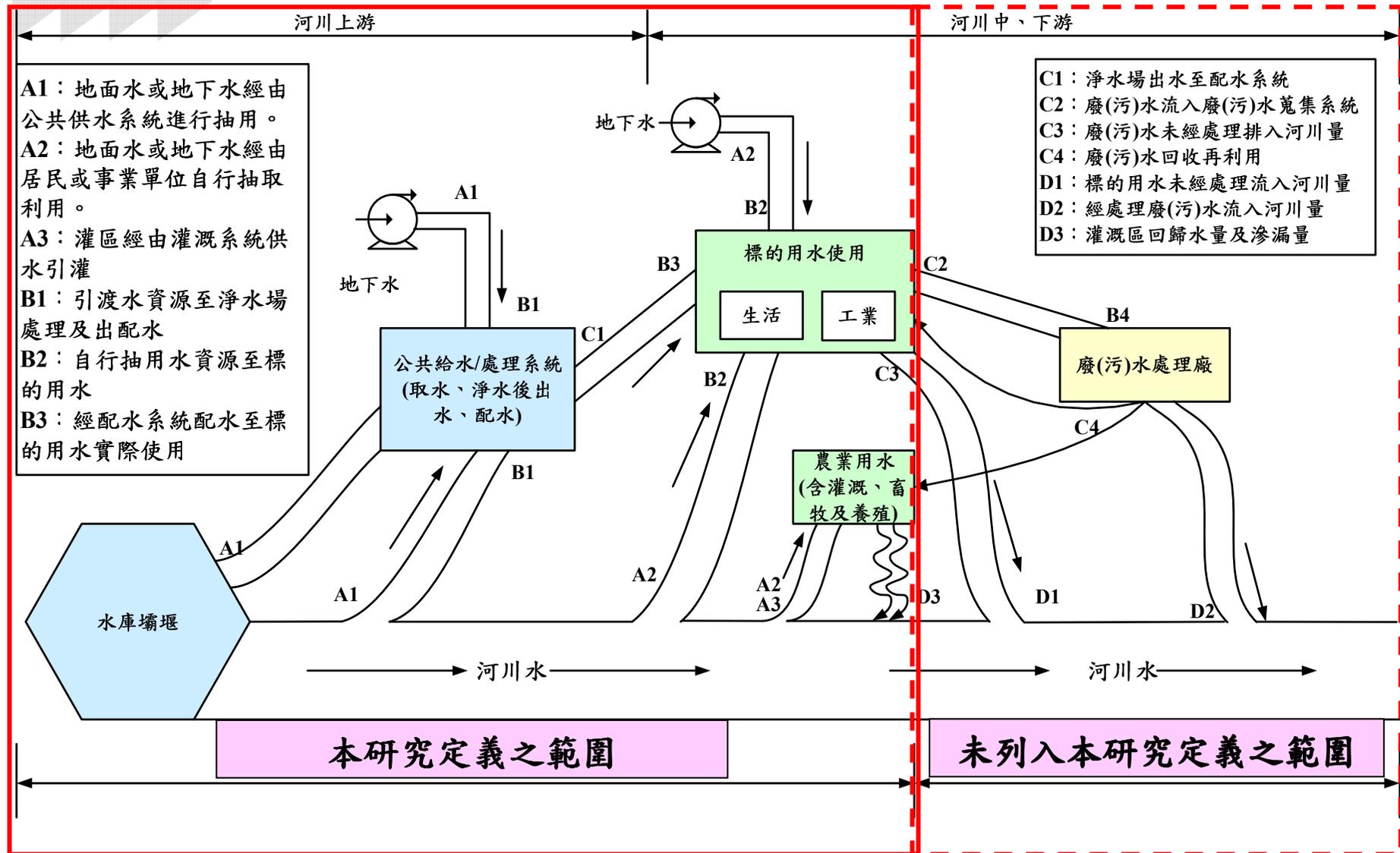
$$Q_{out} + E = D_p + D_{np} + D_{nb} + U + C$$

其中

Q_{in} 為流入流域地表水量； P 為降雨量； ΔS 為貯蓄改變量； Q_{out} 為地表水流出水量； E 為蒸發散量； D_p 為標的用水量； D_{np} 如林業用水量； D_{nb} 為修耕地蒸發散量及滲漏量等； U 為未善加利用水資源量，如漏水量； C 為必要性水量，河川下游水量；

2. 目標為流域水資源與標的用水間供需物質流佈分析，部分限制以水平衡探討。

研究方法—系統範圍及系統組成界定



資料來源：本研究修改自 USGS, 1999

物質流分析架構—資料庫建置項目與來源

範疇	項目		資料來源	國際應用	
				IWMI	SEEA
流入系統 邊界	降雨量		經濟部水利署水文年報	■	■
	地表水資源流入量			■	■
經濟體 流動	年取水量與供水量		1. 台灣自來水公司年報	■	■
	年支援水量		2. 臺北自來水事業處年報	■	■
	年標的 用水量	年生活用水	1. 台灣自來水公司年報	■	■
		年工業用水	2. 臺北自來水事業處年報		
		年農業用水	3. 內政部統計處		
年其他用水		4. 行政院農委會 5. 經濟部工業局			
流出系統 邊界	年度損耗水量		1. 台灣自來水公司年報 2. 臺北自來水事業處年報	■	■
	地表水資源流出量		經濟部水利署水文年報	■	■

資料來源

- **調查評估報告**：台灣自來水公司年底各區管理處供水系統設計供水人口及供水能力統計表。
- **統計月/年報**：水文年報、水庫運用年報、台灣自來水公司統計年報、臺北自來水事業處統計年報、農田水利會灌溉用水實際取水量紀錄表等
- **用水係數關聯性資料**：農業用水量化目標及總量清查報告等
- **地理資訊系統圖資**：經濟部水利署GIS知識網。

資料分析與轉換流程

流入流出系統邊界

降雨量

$$P = \frac{1}{n} \times \sum P_i$$

依算述平均法將上游集水區內各雨量站記錄累加再除以其站數

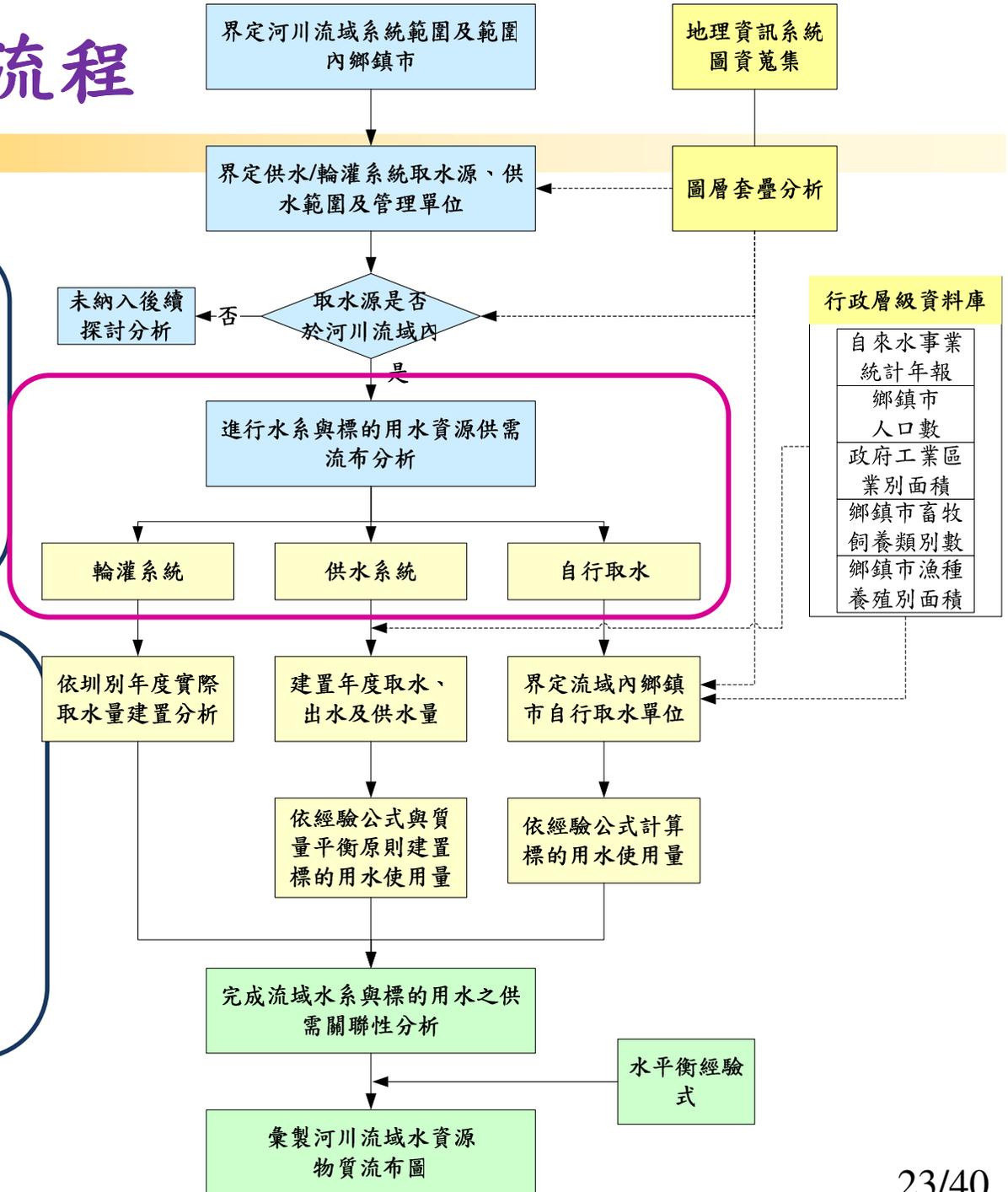
河道水資源進出流量分析

進流量

地表水資源流入水量(水庫入水量、側流量)

出流量

所有取水行為畢後後通過系統邊界(下游流量站、支流匯流量)之水量



資料分析與轉換流程

經濟體流動

生活用水

自來水供水系統

$$C = \sum_{i=1}^n (P_i \times AWDPD_i \times DPD_i)$$

自行取水

$$C = \sum_{j=1}^n (P_j \times (100 - P_oPS_j) DPD_j \times LPCD)$$

$$P_j = TSP_j \times \frac{TSA_RB_j}{TSA_j}$$

工業用水

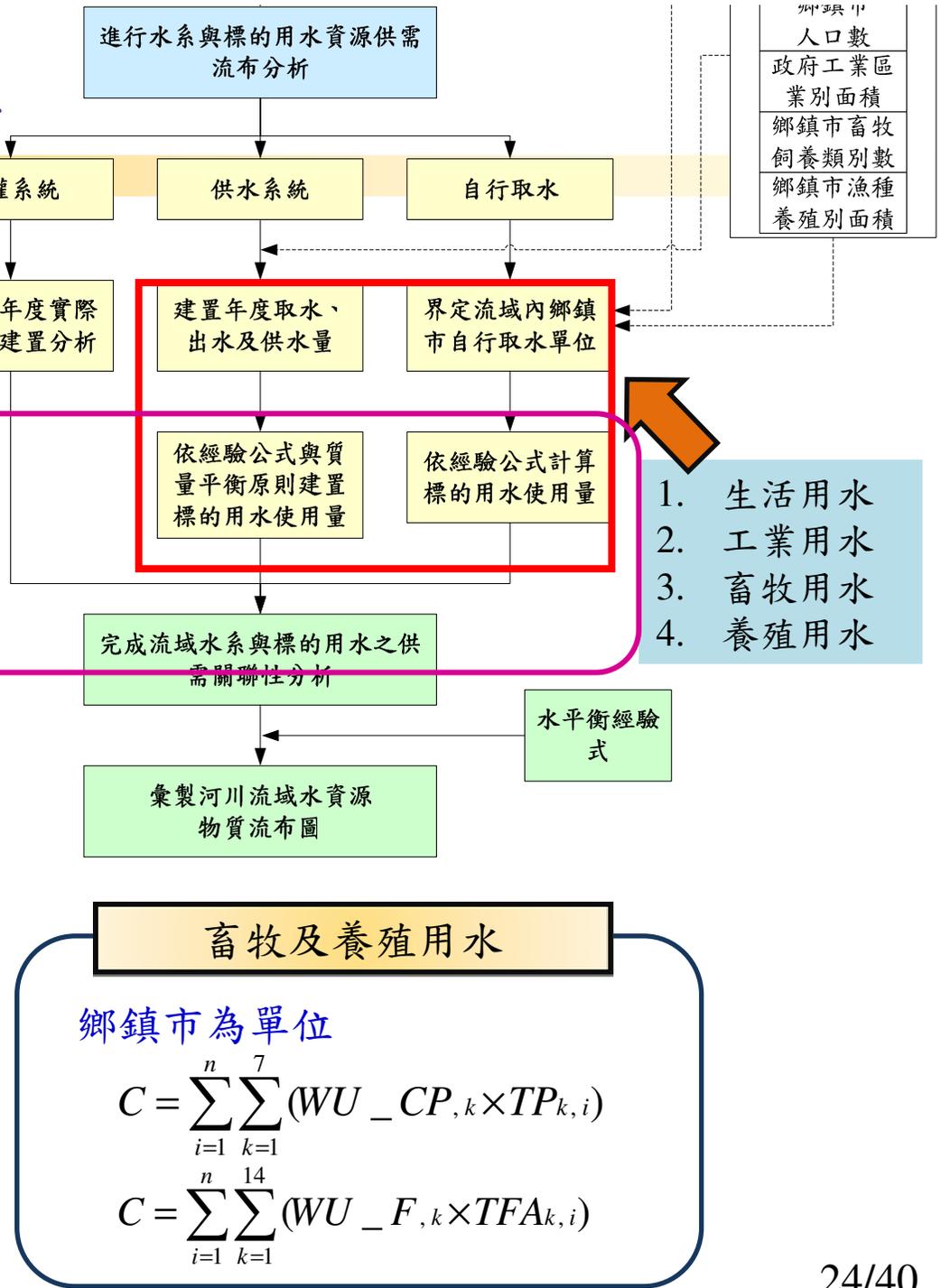
自來水供水系統

供水系統服務所/營運所年度售水量進行資料蒐集與盤查

自行取水

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^{24} (In_Area_{ijk} \times WU_A_k \times D_k)$$

依上式及服務(營運)所年度售水量之差，代表政編工業區自行取水量

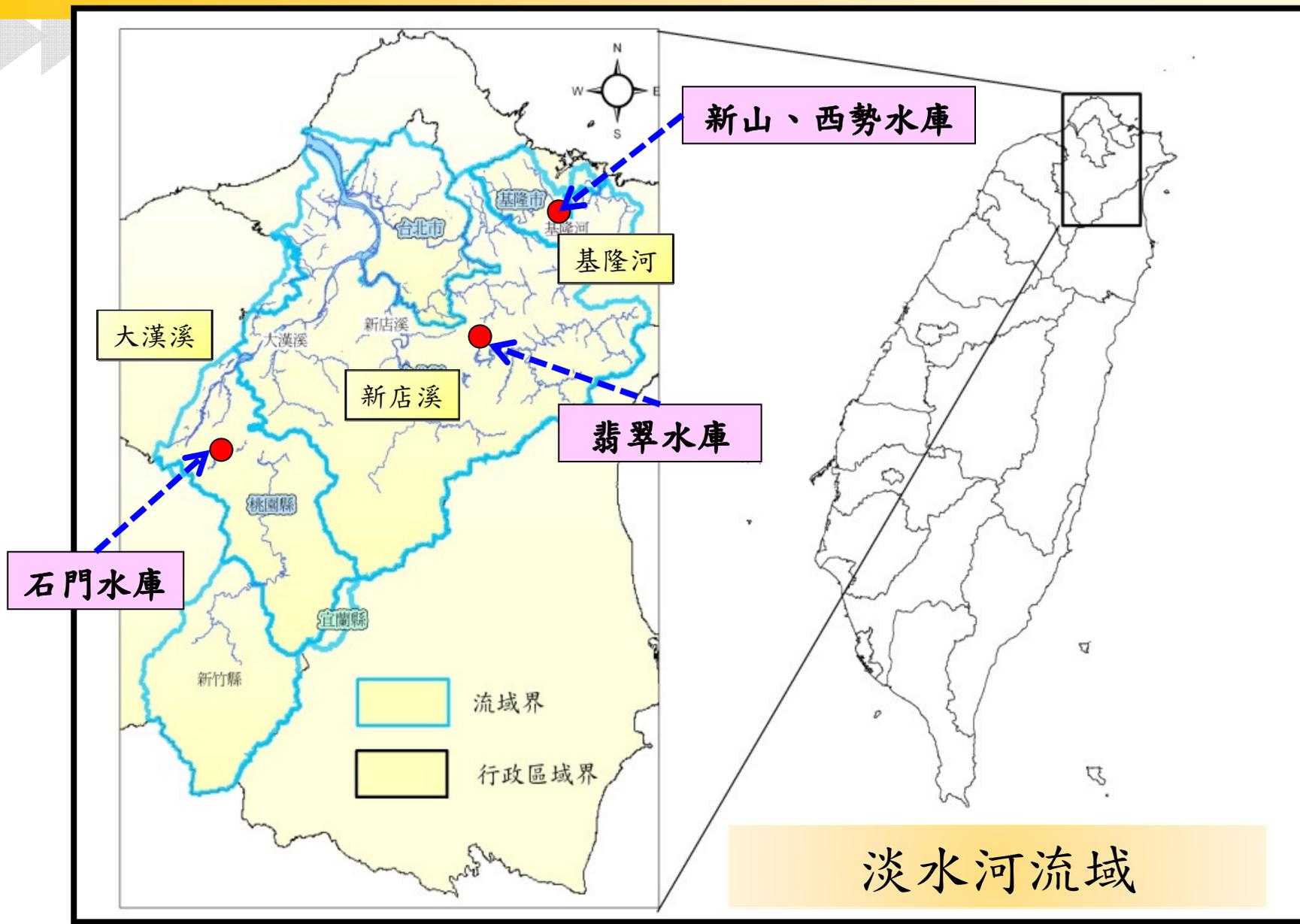


第四章 結果與討論

- ✚ 案例研究對象
- ✚ 河川流域範圍供水/輪灌系統組成界定
- ✚ 水資源流入與流出量分析
- ✚ 流域水資源與標的用水流佈分析

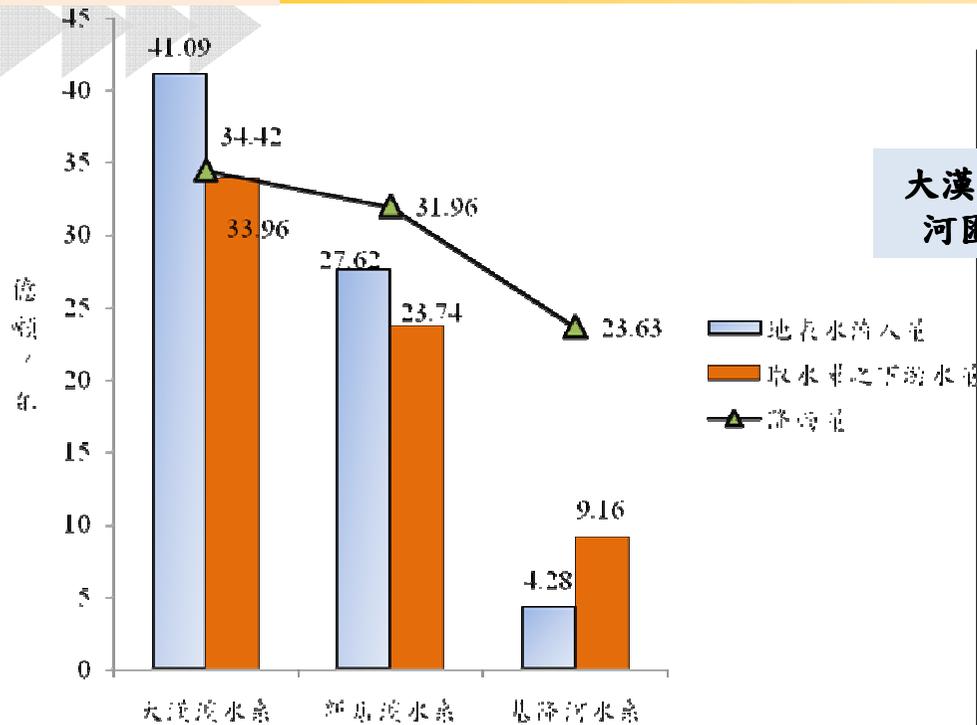


結果與討論—案例研究對象



結果與討論—水資源進出流量分析

流量站選定



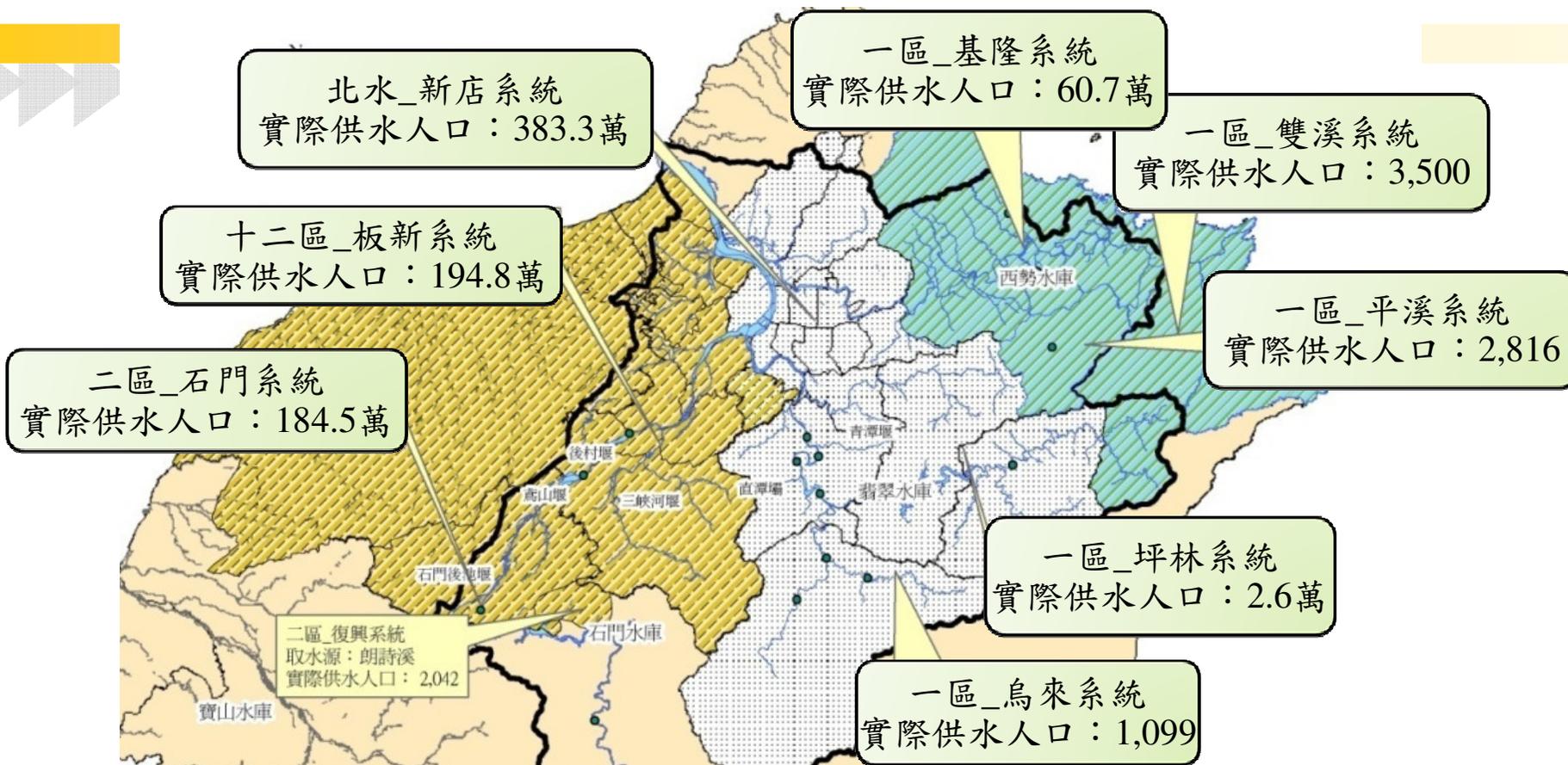
水系	降雨量	地表水流 入量	取水畢之下游 水量
大漢溪	34.42	41.09	33.96
新店溪	31.96	27.62	23.74
基隆河	23.63	4.28	9.16
淡水河流域	90.01	72.99	66.86

億噸/年



雨量站分布示意圖

結果與討論—河川流域範圍供水/輪灌系統組成界定



水系別	水利會別	輪灌系統	94年灌溉面積(ha)
大漢溪水系	桃園農田水利會	桃園大圳	45,634
		大漢溪灌區	3,560
新店溪水系	石門農田水利會	石門大圳	16,609
		塗潭圳等共4圳	534
基隆河水系	七星農田水利會	登峰圳等共25圳	31,817

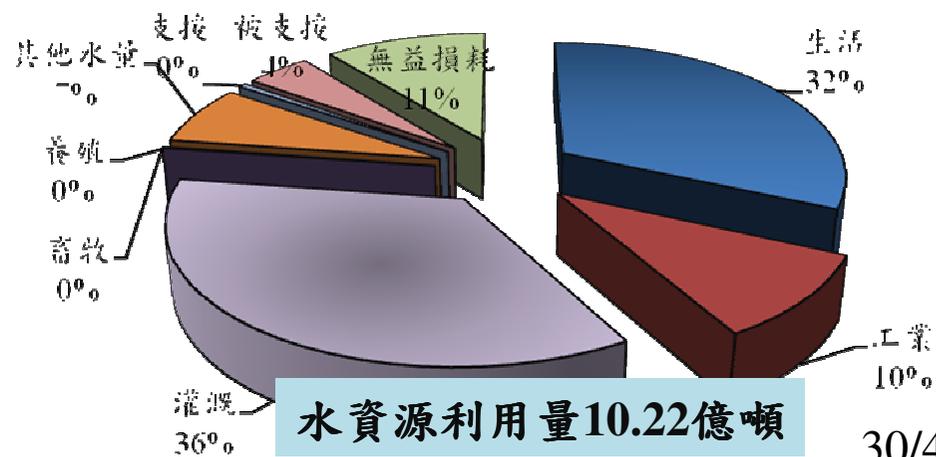
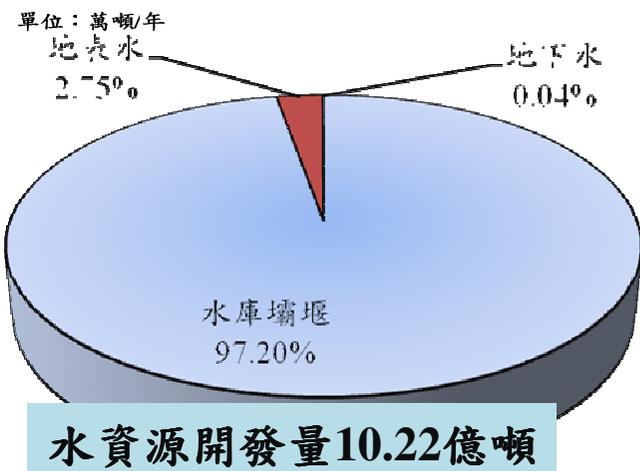
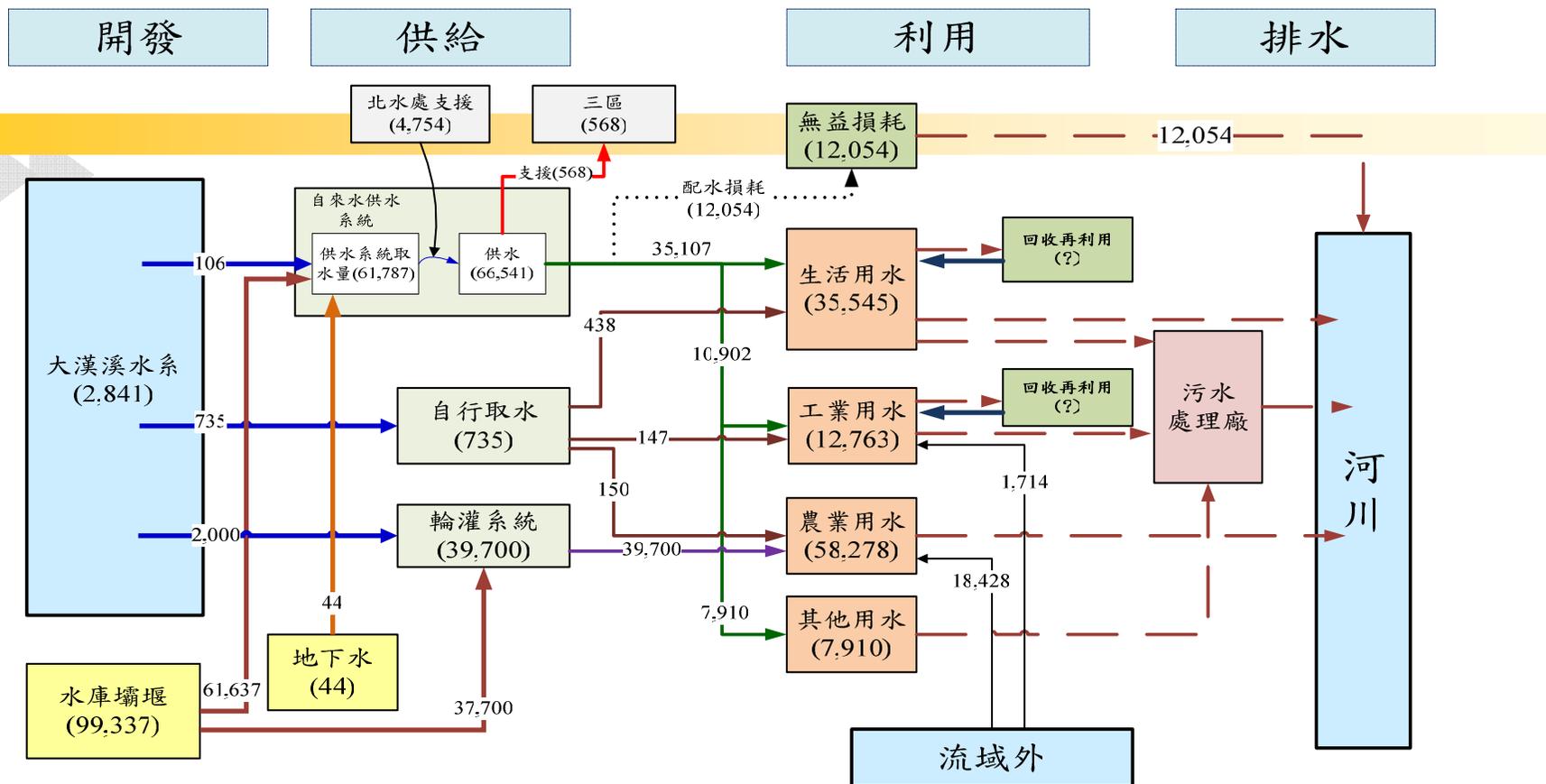
結果與討論

大漢溪水系水資源供需物質流

項目		大漢溪水系				
		自來水公司			水利會	自行
		板新	石門	復興	輪灌	取水
取水	水庫壩堰	27,476	34,161	-	37,700	-
	地面水	-	62	44	2,000	735
	地下水	44		-	-	-
	總取水量	27,520	34,223	44	39,700	735
出供水	淨水損耗	-	-	-	-	-
	出水量	27,520	34,223	44	-	-
	被支援量(來源)	4,754 (新店溪)	3,423 (板新)	-	-	-
	總供水量	32,274	37,646	44	39,700	735
支援水量		3,423 (石門)	568 (新竹)	-	-	-
標的用水	生活	19,142	15,949	13	-	438
	工業	2,145	8,755	-	-	121
	灌溉	-	-	-	39,700	-
	畜牧	-	-	-	-	43
	養殖	-	-	-	-	107
	其他	1,816	6,097			-
損耗水量		5,748	6,277	31	-	-
總用水量		32,274	37,646	44	39,700	709

結果與討論

大漢溪水系水資源供需物質流



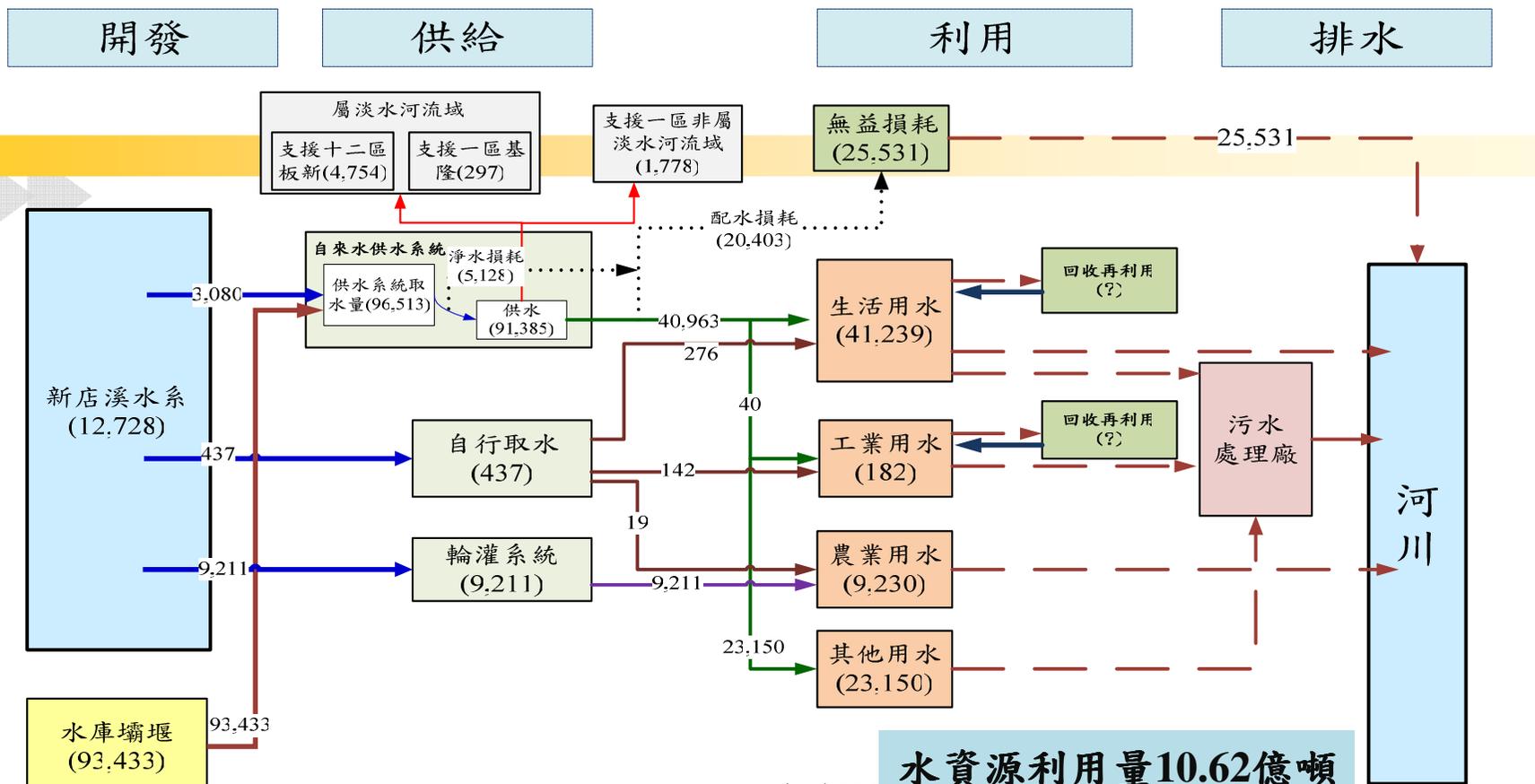
結果與討論

94年新店溪水系水資源供需流佈分析

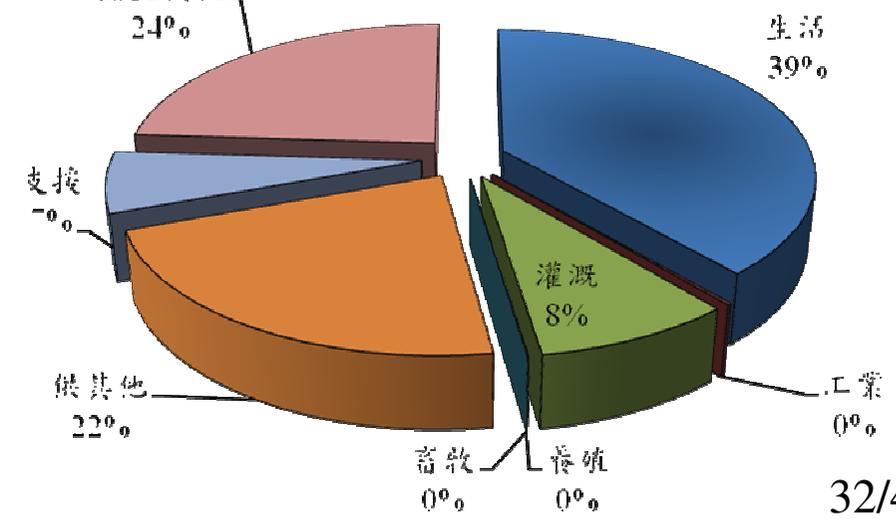
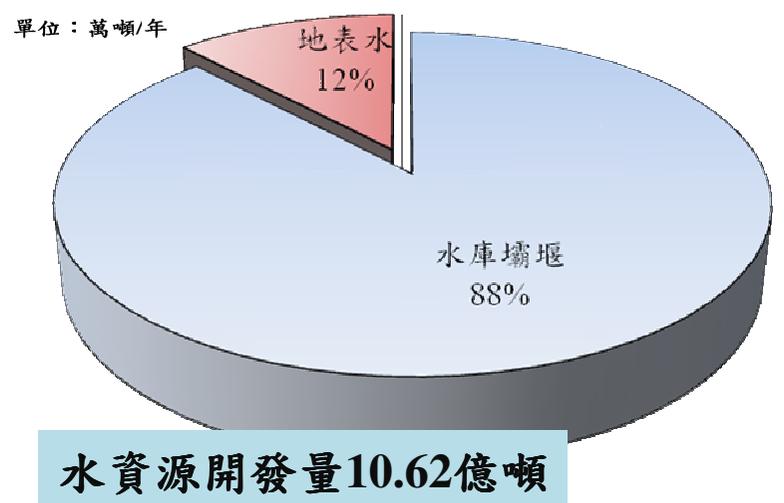
項目		新店溪水系				
		自來水公司			水利會	自行取水
		烏來	坪林	新店溪	輪灌	
取水	水庫壩堰	-		93,433	-	-
	地面水	18	218	2,844	9,211	437
	地下水	-	-	-	-	-
	總取水量	18	218	96,277	9,211	437
出供水	淨水損耗	-	1	5,127	-	-
	出水量	18	217	91,150	-	-
	被支援量(來源)	-	269 (新店溪)	-	-	-
	總供水量	18	486	91,150	9,211	437
支援水量		-	-	7,098 (基隆及板新)	-	-
標的用水	生活	12	284	40,667	-	276
	工業	-	-	40	-	142
	灌溉	-	-	-	9,211	-
	畜牧	-	-	-	-	18
	養殖	-	-	-	-	1
	其他	-	-	23,150	-	-
損耗水量		6	202	20,195	-	-
總用水量		18	486	91,150	9,211	437

結果與討論

94年新店溪水系水資源供需流佈分析



水資源利用量10.62億噸



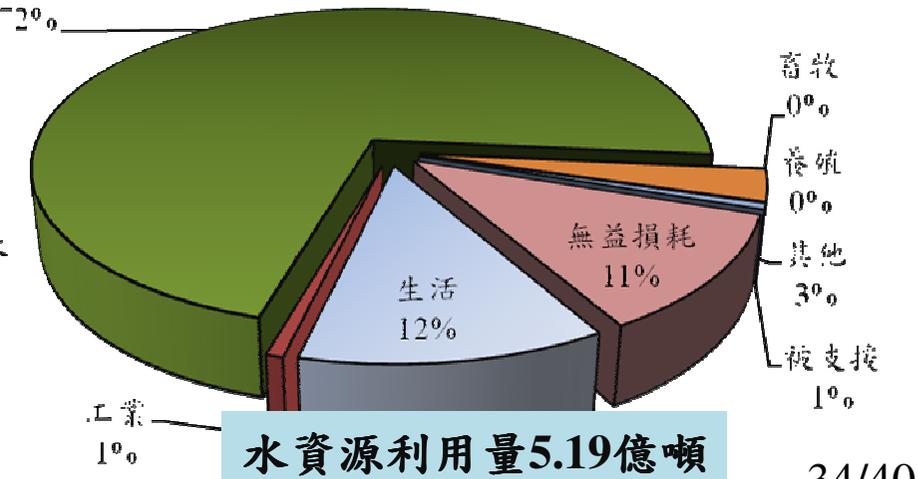
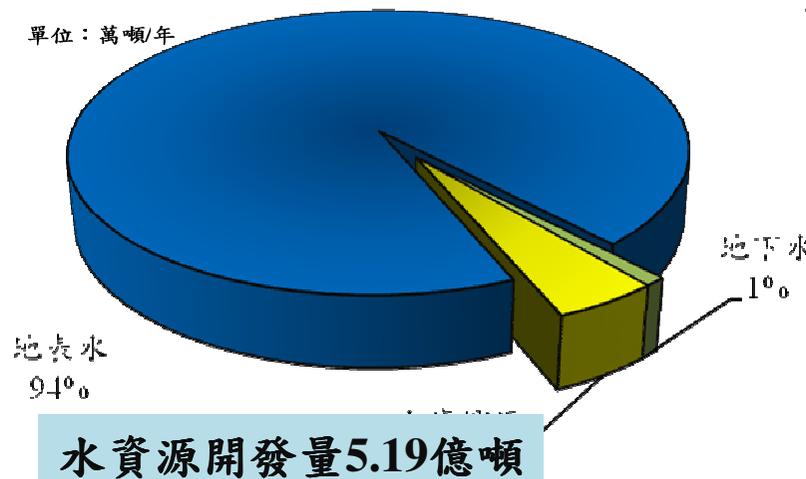
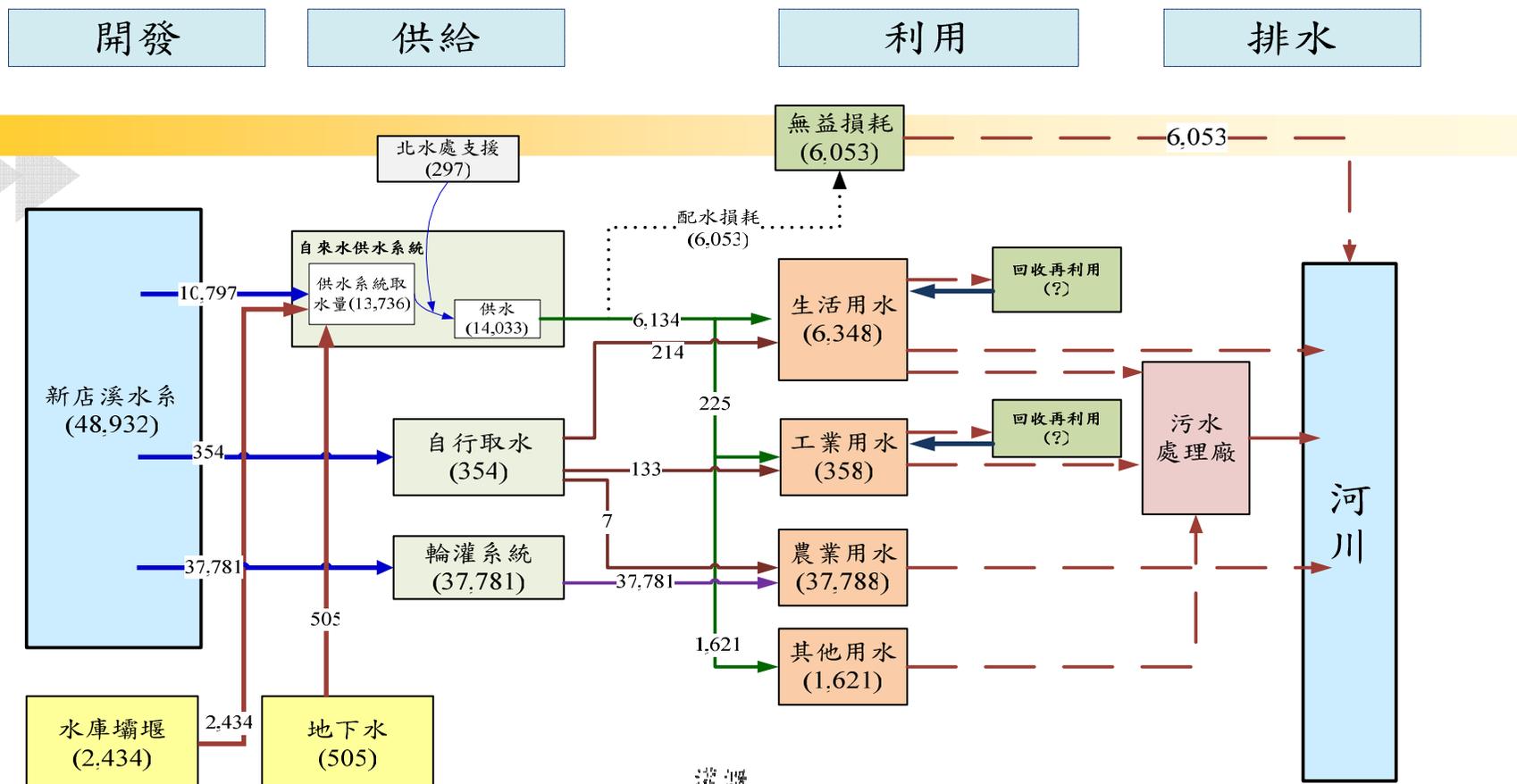
結果與討論

94年基隆河水系水資源供需流佈分析

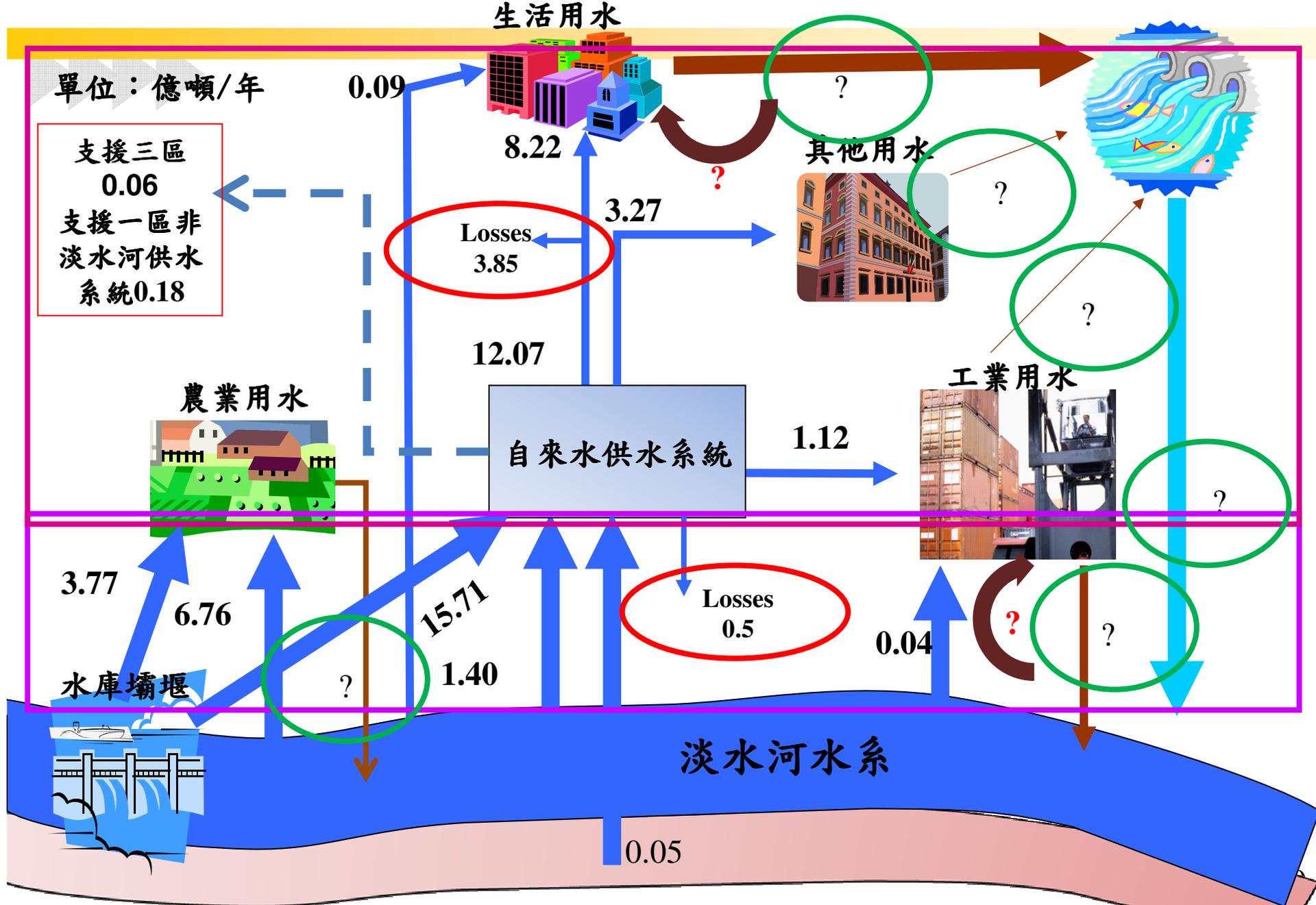
項目		基隆河水系				
		自來水公司			水利會	自行取水
		基隆	雙溪	平溪	輪灌	
取水	水庫壩堰	2,434	-	-	-	-
	地面水	10,739	-	58	37,781	354
	地下水	505	-	-	-	-
	總取水量	13,678	-	58	37,781	354
出供水	淨水損耗	-	-	-	-	-
	出水量	13,678	-	58	-	-
	被支援量(來源)	297 (新店溪)	46 (基隆)	-	-	-
	總供水量	13,975	46	58	37,781	354
支援水量		46 (雙溪)	-	-	-	-
標的用水	生活	6,082	18	34	-	214
	工業	225	-	-	-	133
	灌溉	-	-	-	37,781	-
	畜牧	-	-	-	-	7
	養殖	-	-	-	-	-
	其他	1,621	-	-	-	-
損耗水量		6,001	28	24	-	-
總用水量		13,975	46	58	37,781	354

結果與討論

94年基隆河水系水資源供需流佈分析



結果與討論—淡水河流域水資源與標的用水流布分析



第五章 結論建議

✚ 結論

✚ 建議



結論 (1/2)

- 1) 本研究最大成果即以流域為觀點綜合性探討水資源供需與實際流布情況。為主管機關宜持續加強重點河川流域水資源供需之流佈調查與分析。
- 2) 依本研究建置方法應用於河川流域水資源供需流佈研究，結果顯示不需要龐大系統改變及轉換下，藉由水資源相關單位資料利用及本研究規劃之流程架構，可進一步應用於其他重點河川流域。
- 3) 94年淡水河流域水資源淨流入量為163.6億噸，河道水資源流出量為66.86億噸。主支流水資源開發利用總量為26.02億噸，75.0%水資源來自水庫壩堰；24.8%及0.2%水資源分別取自河川水與地下水。新店溪水系10.61億噸、大漢溪水系10.22億噸及基隆河水系5.19億噸。

結論 (2/2)

- 4) 淡水河系年標的用水總量為21.42億噸，用水量依序為農業用水8.68億噸、生活用水8.30億噸、其他用水3.26億噸及工業用水1.16億噸；流域水資源年漏水量4.36億噸。
- 5) 94年跨流域支援水量(新竹及淡水金山地區)為0.23億噸；新店溪系統為流域水資源聯合運用之主要調度系統，包含支援大漢溪板新系統0.48億噸、支援新店溪坪林系統0.03億噸及基隆河基隆系統0.03億噸，合計94年新店溪系統年總支援水量為0.71億噸。
- 6) 若依水平衡原則及因子分析，粗略得年河道水庫蒸發量、植被蒸發散量及林業用水年約70.07億噸，宜搭配精進的統計模型及遙感探測，較能完整顯示流域水平衡概況。

建議

為增進流域內水資源供需流佈分析及結果更符合流域水系水資源實際運用情況，建議：

- 1)大用戶用水量定期提供及編彙流域水資源收支平衡帳。
- 2)農田水利會轄區外之灌溉用水量、自來水供水區外工業用水自行取水量有待進一步研究調查。
- 3)建置水資源監測管理系統平台。
- 4)推動水權人裝置量水設備及用水申報與稽核制度。



敬請指教

The End

