

# 論水資源永續經營之國際現況與趨勢

報告人：於幼華

● 民國三十四年生

● 美國聖路易華盛頓大學環境工程博士

● 現任台灣大學環境工程研究所教授

評論人：顏清連

● 民國二十六年生

● 美國愛荷華州立大學力學及水力學系  
博士

● 現任國立台灣大學土木系教授

評論人：蔡勳雄

● 民國三十年生

● 美國普林斯頓大學建築暨計劃學院哲  
學博士

● 現任行政院經濟建設委員會副主任委  
員

3. 〈中央日報〉國際版第七版，民國八十二年九月十二日。
4. 〈中央日報〉國際版第三版，民國八十二年九月十三日。
5. "Environment" Int'l edition 1993 by Raven, Berg & Johnson, Saunders College Publishing, pp.454.
6. Gleik, P. H. 1987 Global Climatic Changes and Regional Hydrology : Impacts and Responses. Int'l Asso. of Scientific Hydrology Publication, 168, 389 - 402.
7. Barney, G.O. 1982 The Global 2000 Report to the President, Penguin Books, Harmondsworth.
8. Shiklomanov, J. A. 1989 "Climate and Water Resources", Hydrological Science Journal, 34 ( 5 ) , 495 - 529.
9. Newson, M. 1992 "Land, Water and Development" Published by Routledge, London.
10. Brown, L. R. 1993 "State of the World, 1993" A World Watch Report on Progress toward a Sustainable Society, W. W. Norton and Co.
11. Environmental Almanac, 1993 Compiled by World Resources Institute, Houghton Mifflin Co.
12. 六年國建水資源研討會專輯，時報文教基金會出版，民國八十一年。
13. 筆者個人與相關人士徵詢所得。
14. Allen, J. ( 1992 ) , Asia/Pacific and the Environment - Investing in the Future, Published by Business Int'l Asia/Pacific Ltd. Hong Kong.
15. 於幼華，大陸環保現況分析，行政院陸委會委託研究，民國八十二年。
16. Arnell, N. 1989 " The Influence of Human Activities on Hydrological Characteristics" : An

式來促成一定預期值的用水量的禁增或減少，當然，居民教育的成功那更是一切資源能否有效回收再用的必要先行條件了。

#### 四、結語

水資源的永續經營就台灣該資源所呈的窘迫現況言確實是屬重大課題，有待各方以處理重大案件的心情與努力來應對。筆者自被囑選「國際現況與趨勢」為題負責撰文以來，一直深感文稿截止時間的緊迫，原因並非文章難寫而實在是腹笥有限，總覺沒充分的完整時段可供臨時惡補，而如今在最後一秒內發現竟真也塗完這篇第三年的任務了，而居然還超出了被交待的字數，這真算是個人的意外驚喜，只是深盼這個額外切莫反而更浪費了讀者們的寶貴時間才好。

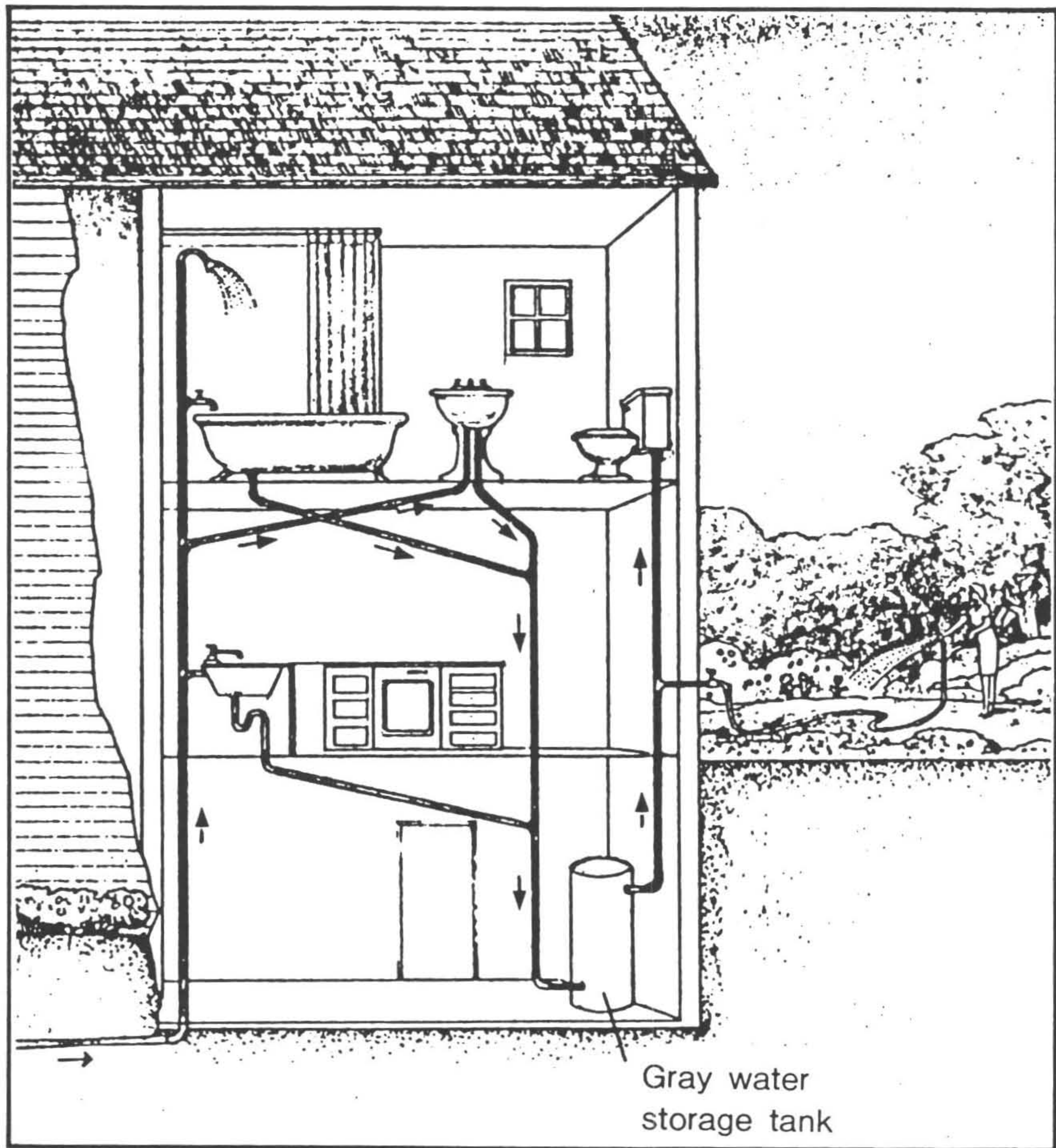
撰文期間還特別要感謝加州聖荷西市過腳處的氣溫與寧謐，若沒有這兩項資源，本文實難想永續就永續。

#### 參考資料

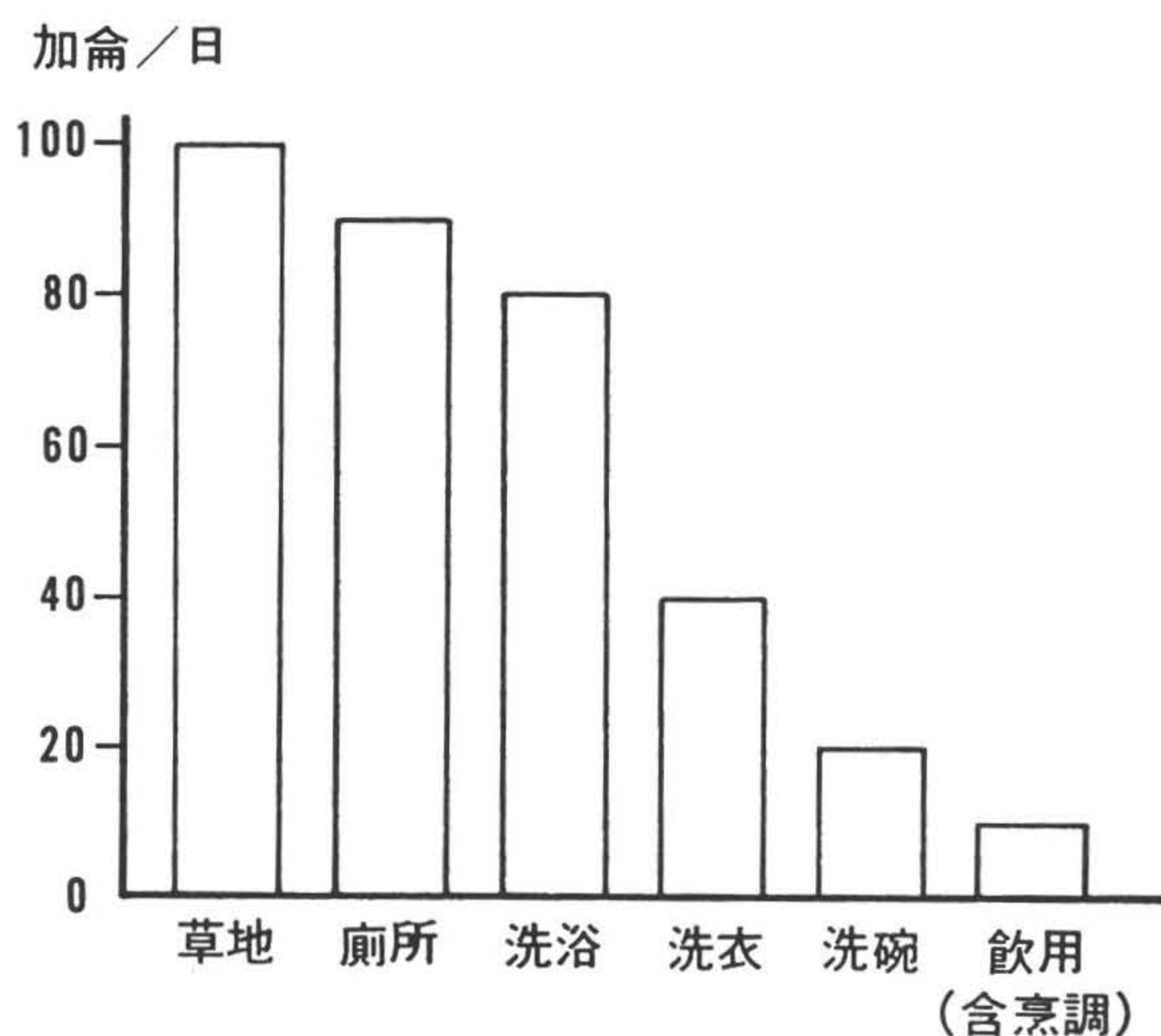
<sup>1</sup>IUCN (1980) World Conservation Strategy. IUCN - UNEP - WWF, Gland, Switzerland.

<sup>2</sup>World Commission on Env. and Development (1987) Our Common Future Oxford Univ. Press, Oxford.





圖七 美國家庭／公寓中之「灰水」接管示意



圖六 美國一家四口之平均家庭用水分配狀況

酌。在這點上，美國本身亦甚有自知之明，所以最近亦有許多州開始推行家庭用水中的所謂「灰水」(Gray Water)回收系統以專門應付家庭院所須大量使用的灌洗作業。圖七所示者即為家庭或公寓內部的灰水接管狀況，只要不是來自沖排糞便後的水都可充做灰水用，或用於澆灌或引為馬桶的沖排。基本上，這種類似於日本所稱的「中」水道系統也有其相當多的約束條件，如澆灌的園藝作物對象、如灰水與新鮮水間必要的輪替等皆是。

據知大陸北京目前亦在其旅館等大型場所開始實施生活用水的再利用，而世界其他各國的都市節水其成績卓著者尚有以色列的耶路撒冷、墨西哥市、加拿大滑鐵盧市、新加坡及澳洲之墨爾本，詳細資訊請參考相關文獻。基本上，這些城市或以配額與罰則、獎金與免稅等雙管齊下的方

表十一 全球生活用水量排名

國	家	加侖/人/日	名次
Bahrain		264	1
United States		188	2
Australia		151	3
Canada		142	4
Korea , North		131	5
Malaysia		127	6
New Zealand		126	7
Sweden		125	8
Venezuela		120	9
Portugal		115	10
Japan		114	11
Kuwait		110	12
Qatar		108	13
Spain		102	14
Italy		100	15
Iraq		99	16
Philippines		90	17
France		84	18
Switzerland		84	19
Saudi Arabia		83	20
United Kingdom		73	23
Israel		52	43
Germany		50	45
South Africa		47	47
Singapore		27	67
Korea , south		24	70
China		20	76



樣，只要技術本身一旦成熟，它自己也成就為有利可圖的商品或服務項目了。台灣的工廠若也能有鑒於工業節水的多重好處應就不至於再以有色眼光來看待必須日趨嚴格的廢水排放標準，另一方面，政府寬容工業的大量耗水，長遠說來，確只會達成愛之適足以害之的反效果，所以，如何從速自資、能源的節用面來改善我們的農、工業體質，以求真正的永續發展，實值多予深思。

### (3) 生活用水的節用

生活用水雖常僅占所有用水量中的最小一部分，但節約在此項目的最大意義卻突顯在所謂身體力行的教育功效上，換言之，倡導節約資源的政府，各個都希望他們的百姓能將養成的好習慣多多自家庭帶入社會。

目前，家庭用水量按多寡順序的國家排名有如表十一所示，若不計Bahrain 這個全藉海水淡化以供水的國家，則美國的每人每日單位用水量是首屈一指的，以公制換算應為七一一升/人/日，超出了我們台灣的均值三〇〇公升的兩倍有餘。（在原記錄中因列名的國家共計有一四三個，為節省篇幅計僅摘錄出其中的前二十名，另外再補上於本文中經常提及的數國資料。）值得注意的是，台灣若也列名其中應正巧在第二十名邊緣，較之補列諸國的單位用水量均頗有超出。

雖然筆者在上文中曾就印象性的推測將生活用水量的多寡與之國家環境清潔問題試加關連，但究竟事實情況如何，圖六倒給了點側面答案。圖六係取美國一家四口的平均用水量與用水項目間的關連性而製成的。顯然，高居榜首的重要原因凸顯在他們家庭庭園的養護上，難怪愈形綠化而顯得清爽的國家還是需要以用水量的代價來換取，因此，如何折衷以求兩全其美亦頗須費些斟酌。



圖五 日本工業用水之生產力，1965~89

水的好幾個腰桿兒呢。

#### (2) 工業用水之節用

對於工業先進國言，其工業用水所占比重一般皆頗高，所以此項用水的節約自成重點工作。目前，日本的節水成效最為顯著，西德亦可圈可點，美國則在迎頭直追。圖五與表十分別顯示了日本及美國的努力成績，日本工業的每單位用水產值在二十五年內遽增了三倍有餘，而美國加州的數據則代表了無論在較傳統性的紙業或食品業，或者，在較尖端的所謂高科技行業上，節約用水非但可行面廣，且技術或人力投資之歸本期都不長，尤其在工業排放水標準趨嚴的國家，因高標準而促成的工廠節約用水行動確是利人利己的互利性選擇。除此而外，就如同農業節水新技術一



表十 美國加州聖荷西之數家公司行號其節水狀況  
年用水量,  $m^3 \times 1000$

	節用前	節用後	省水率(%)	投資所須 之歸本期(月)
IBM	420	42	90	3.6
California Paper - Board Corp.	2,473	689	72	2.4
Gangi Bros. Food Processing	568	212	63	10.8
Hewlett - Packard	87	42	52	3.6
Advanced Micro Devices	2,098	1,318	37	7.2
Tandem Computers	125	87	30	12.0
Dyna - Craft Metal Finishing	193	140	27	2.4

對於農業用水係其最大宗的國家言，微灌法只是有效節水的技術之一而已，再就以以色列為例，目前該國已使用全國經處理後污水的七〇%來灌溉達一九、〇〇〇公頃的農地，所以家庭污水的再利用顯然也是另一種可資參酌的節水方式，只是後者的衛生問題必須無虞後始可採用。總之，新技術的產生與應用總得先有法制或經濟誘因的促成條件存在，另外則是副效應的考慮了。

台灣地區能在世界性環保記錄上以正面姿態上榜實屬難能可貴，可見我們的農灌部門在追隨國際潮流上還是不乏相當的努力，只是占最大用水量的農業是否能更進一步地節用以轉濟其他需求，實值得再多予考慮，畢竟此項用水的一根牛毛就等於別項用

表九 全球及世界各使用微灌溉法之先導性國家

國 家	微灌溉面積(公頃)	微灌面積/總灌面積(%)
美 國	606,000	3.0
西班牙	160,000	4.8
澳大利亞	147,000	7.8
以色列	104,302	48.7
南 非	102,250	9.0
埃 及	68,450	2.6
墨西哥	60,600	1.2
法 國	50,953	4.8
泰 國	41,150	1.0
哥倫比亞	29,500	5.7
塞浦路斯	25,000	71.4
葡萄牙	23,565	3.7
意大利	21,700	0.7
巴 西	20,150	0.7
中國大陸	19,000	<0.1
印 度	17,000	<0.1
約 旦	12,000	21.1
中華民國	10,005	2.4
摩洛哥	9,766	0.8
智 利	8,830	0.7
其 他	39,397	—
全 球	1,576,618	0.7



山之石究竟可不可以攻錯，這實在是一個不容易有立即性答案的問題，因為引進制度的成功與否實需要先對本土的天候與土壤先具有洞察能力，尤其對於公共事務的管理東西兩方政府的歷史經驗與文化傳承顯得特別扞格，而人們對公有財的看待態度與處置行為亦常天壤之別，以至於原先是別人的良制美意，一俟囫圇吞進自己肚裡竟常衍生成額外的病源來了！倒是筆者覺得，制度本土化可做的頭一步是先須對外制的精髓有透徹的瞭解，如此再配合以對內情的熟知後才可能達成所謂理性的判斷，究竟政府決策不能再隨過去那樣，常「隨著感覺走」了。

## 2. 節約用水的現況與趨勢

由於農業用水、工業用水與生活用水是所有用水中的三大宗，所以在水資源的節用上國際做法也都無不各選其重點來各戮其力。粗略言，目前全球農、工、生活用水的平均分配比值約為2/3:1/4:1/12或8:3:1。

### (1) 農業用水之節用

表九所示者係當今在農業的灌溉用水上採取了微灌法（Microirrigation）的國家群。微灌法最初乃為以色列所開創，對缺水國而言屬技術上之一大創新，以致六、七〇年代前往以國學習新技術者不在少數。在東南亞國家中似只有泰國、大陸與台灣表上有名，而且台灣藉此又稱為點滴灌溉法（Drip Irrigation）的施灌面積比例也還相當顯眼。今後這種節水技術還能不能繼續推廣擴大，最關鍵處除了作物的可接受度外亦與經濟因素有關，只是經濟性因素同樣也左右了其他途徑的用水是否能夠有效節約，例如水量應否有配額、水價需否大幅調高以真正反應資源價格，等等皆是有待決策一體考量的先決性要素。



理實績。Newson 是英國 Lancaster 大學教授，也許在他的評斷裡多少會沾些愛國色彩也不一定，但舉世無人不知的泰晤士河流域的整頓卻又是不假的事實，而且慕名前往參觀的各國代表無不對該河的新貌印象深刻，大概也因此把好感一股腦全記進民營化後的水公司帳下了。其實該教授無論在檢討美國、他本國以及紐西蘭的水資源管理制度時，基本上仍是相當持平地優劣點各國並舉的，例如他也批評英國自己的現況，認為水公司的弱點——不論公、民營——一樣地對於土地的不當開發行為難有插手的餘地，對於這點遺憾他並補充式地稱讚了南非現有的集水區山坡地管理法規，因為南非水資源管理當局可依法對最敏感地區的任何開發行為加以攔阻，而管水的人可以連帶的管制土地，這雖國際罕見但卻分寸不差地擊中關鍵了。

對於紐西蘭這同樣係海島國的地方分權水資源管理制度——將北、南兩島總共將流域劃分為二十個集水區，各自經管，唯須由中央的國家水土保育局（National Water and Soil Conservation Authority, NWASCA）來負責協調工作——Newson 也是譽多於損地予以評論。其實，紐國早自一八六八年，近一百三十年前即已按集水區的自然稜線而非行政區的人工線條來經營他們的河川了，唯一百三十年來以至迄今，紐國開竅極早的經營管理制度仍不斷迭有興革，推究其主因實乃為配合人們對河川價值認知上的變遷與長進，所以連法制重點、組織型態等亦須隨時因應修正，例如前文中曾提到：過去人們僅把河川視為無生命性的水源而已，甚至更落後一點，河川只不過是最方便的臭水溝；但今日的現代人其價值觀即大大不同，他們除了照舊要喝它用它，還想看她賞她，更還先進些的甚至尊她敬她，引其為同般生命體的代表，都一樣是大自然的傑作。

歸結來說，水資源經營管理的今後趨勢看似仍會朝著民營化或地方化的做法走去，只是，他



對自此而後的水的文明乃稱其為水文文化（Hydrological Culture），以為水力文化的對照，同時並還指出水文數據的持續累積與演繹才是雖辛苦卻踏實的河川流域經營根本，這點明見就正如其他基礎科學之於其應用表現那般，道理完全是一樣的。

只是流域的經營自近期的環保哲學風行以來即又產生了重大的變革——概念上的與手法上的。概念上，在水文學以外還必須有許多其他的環境基本學科的投入，始才能真正地將水、土、生物等等有所謂生態一體的綜合性概念，手法上，則既然要求有愈形複雜的學問整合，那麼原來的經營管理人手豈不連帶也必須多樣化起來？而更複雜的事卻是：任何事務，尤其是現代公共事務的經營管理那能只單靠搞自然科技的人來撐持就夠了！

於是，難題現在又多出管理軟體這一樁，它與科技硬體其實一模一樣，也有它們自己一套的歷史傳承、文化興革以及大勢所趨。以水資源的管理體系為例，如同TVA（Tennessee Valley Authority）般的大型管理組織，即便它的過往治水功績輝煌奪目，但，今日的美國還會再抄襲一九三〇年代作風，照舊再泡製出這樣個大管家婆來嗎？Newson認為絕不再有這種可能了，因為，現在世界上不啻只有老美才不相信天下存有著所謂「大有為」的政府機構，而且國營性組織愈大，其中黑幕愈是重重，水是公有財，公有財怎麼可以不見陽光！另一方面，大系統的時尚已過去了，現在的一切是：「小就是美」。

然而，既然組織的學問要求增多了，但組織的規模卻又不容膨脹，這樣兩難的局面又該怎麼應付才好呢？現況中比較好的答案是：（一）水公司民營化，（二）如繼續國營化，則把主要的流域經營管理權由中央釋交地方。所謂稱此二法為較好者，所根據的是英國與紐西蘭兩地的水資源經營管



所以，當向外不斷開源的水資源經營方式受到現實困難與觀念更新的雙重阻擋後，比較可行的大趨向即是「反求諸己」：經營者開始認真檢討過去的資源管理組織、方法及效率，以求在既有水源容量下達成集水（Collection of Water）與配水（Distribution of Water）上的更為有效；而另一方面必須由資源使用者全體配合的便是節流觀念的接受以及節流作業的實現，以求資源需求量不能再無所限制的增長，甚至，最好能逐漸減少以「回到過去」（Back to the Past）。

以下，本文即分為兩小節來敘述有關水資源經營管理制度的國際性變革以及節約用水的全球現況與趨勢。

### 1. 水資源之經營與管理制度歷程

根據Biswas對河川水資源經營與管理的先民歷史回顧，人類運用水利工程技術來完成開發——大半是攔水與輸配水措施——可回溯至公元前三千年的尼羅河築堤工程，另外由我們華夏始祖大禹所治下的功績則在公元前兩千兩百年左右，直至西元前六百年止，這一大段祖先所經歷的農業社會初期時程，雖然他們尚極缺水文學方面的基礎知識，但單憑對水力學的經驗累積就足以以各種工程措施來滿足灌溉與生活用水所需，而且東西方都一致自此傳承了所謂的水力文明（Hydraulic Civilizations）。

直至水文循環圈（Hydrological Cycle）的概念興起，這才真正讓集水與輸配水的後繼工程產生了必要且有效的結合，也才讓水利工程師開始瞭解河川並非只是條獨立流動的線狀體，卻是涉及整個面狀的流域形態。自此，集水工程的重要性才開始被等同尊重，因為築堤的目的原無非就是為有效地聚集水源，若不懂流域集水區的水文現象那豈非花大錢只為碰運氣嗎？所以Newson



相，如此方可籌謀有效的對策，對主、次要的病因下藥。比方，在我們台灣的土地濫用現況裡，雖然目前大家都知道森林濫伐、山坡地農業活動不當、社區與運輸系統發展等造成土地超限使用、海岸密集工業化都是重重造就水土資源潰敗的兇手，但在過去一宗宗謀殺案件裡，究竟個別的主從地位、罪孽深度如何卻常不甚了了，如此當又如何判刑、感化以至於樹立判例來戒示後起呢？所以，若真想落實台灣土地利用的規劃與管制，首先要有如同聯合國環境組織的澈查決心與耐性，而且，一群判官們的學識真功夫還得拿得出來！

### (三) 水資源經營管理的現況與趨勢

自從「資源有限」與「成長極限」兩大認識自一九七〇年代蔚以為國際環保思潮以來，繼起地反應即是有所謂新的資源經營與管理觀的誕生。在水資源課題上，統計數據顯示：全球水庫的興建數在一九五一年至一九七七年間以每年三六〇座的數目在激增，而自此以後的十年間，水庫增加數卻減緩為每年一七〇座。當然，誠如本文首曾所提及，或許世界各地正也如台灣地區一樣，可以繼續便宜且安全興建水庫的處址實已所剩不多，所以這才讓各國的水資源經營者手腳遲緩了下來。不錯，但除了這個現實原因外，近二十年來的環境教育還是對具傳統「逢山開洞，遇水架橋以及築壩」信仰的工程師起了相當的作用；他們如今已不再全是以拓荒者的自負自持來面對險惡的山水了，過去，任何水體不過是他們眼底下予求予取的水源而已，但現在他們有的已經透察出水體裡確還有其它生物的存在，拿掉了這一分它們就少了一分，甚至連它們本身的生命存在都就此難保。

表八 土地利用因素所造成對水資源的衝擊所在

	集水	蒸發/葉蒸	地面/淺層 地下作用	淺層地 下程序	河槽程序	土-水質	地下水質	河槽水質
	(Inputs to catchment)	(Evaporation/ transpiration)	(Surface/ subsurface interaction)	(Subsurface processes)	(In-channel processes)	(Soil water quality)	(Groundwater quality)	(Channel water quality)
酸降	×					×	×	×
植被改變	×	×	×	×		×	×	×
都市化	×	×	×					×
土地結構變遷		×	×	×				
農地排水			×	×		×		×
開礦			×	×	×			×
施肥	×					×	×	×
廢棄物滲漏	×			×		×	×	×

一九九〇年止的歷時四十五載調查顯示：全球共有四十八億餘英畝土地被列計為潰敗區，三十億英畝（其面積約等同於中國大陸與印度土地的合併值）情況比較嚴重。另外，以潰敗面積大小排序，亞洲占全面積的三八%，非洲二五%，南美占十二%，為明顯的前三名，其次則為歐洲、大洋洲、北美、中美及墨西哥。另外，在土地潰敗的因素比例探究中，所列出的五大因素分別為過度放牧、森林砍伐、農業活動之不當、土地超限利用以及工業化五項，而其咎因權重則按序為三五%、二〇%、二八%、七%、及一%。

儘管表八所列之八項因素與WRI所指出的五大原因在名目上有所不同，但實質之間皆可互通，無所謂有特別的矛盾處。比較重要的是這些因素或原因必須在發生地區再做進一步的查證以認清土地資源本身，以及本文重點——被波及的水資源——所受到的傷害的確切真



間，其森林疑遭酸雨為破壞因素之一的比例已自八%遽增為五二%。

在亞洲地區，酸雨跨境為害的可靠數據尚不多，不過日本因甚擔心中國大陸北部與東北的大量燃燒含硫煤礦有可能對其不利，故已簽妥並展開雙邊環保事務合約，而南韓似也有相似的疑慮。台灣與大陸間之相距尤近，尤其前者西海岸與後者之東南沿海或早已火電廠密集或近期廣開經濟特區，所以究竟兩岸在酸性氣體的交流上如何倒是個可以比較實事求是的題目，何況兩地如大陸四川一帶以及台灣本身的全境已都有酸雨跡象的報導了，現在只須再進一步研究有否互相影響而已。

## 2. 屬間接性的損毀

除上述的酸雨外，對水資源構成間接損毀的致命來源中恐怕「土地利用不當」要算是另一項瑣瑣大者。按照Arnell的分類，土地利用因素又被分為「植被改變」、「都市化」、「陸地重建構造」(Land Restructure)、「原野排水」、「採礦」、「肥料使用」、「掩埋場污染」，甚至「酸性沉降」亦被列為因素之一，構成了合計的八大子因素。至於此八大項土地利用活動對水資源究竟個別構成了什麼威脅，其間的交互影響點謹摘於表八內供參考。基本上，這些子因素分別在水文圖的蒸發、逕流以及水資源質地上皆可導致不等的惡質性變化，而根據這種對不良影響的分類查証，目前深受土地誤用之害的國家共列有十八國，詳細國名請參詳所已刊出之文獻。

由於土地資源濫用現象的普遍化，一九九三年版由WRI (World Resources Institute) 編輯之環境年鑑乃將「土地潰敗」(Land Degradation) 與「臭氧層破洞」、「溫室效應」同列為全球性的三項共同問題之一。在經UNEP (United Nation Environment Programme) 自一九四五起至



意見，認為全國生活污水之處理率僅止二〇%而已。

·香港每日入海的污水有兩百萬立方米，其中有一半完全未經處理，另外四〇%亦只經草率處理而已，只有一〇%是經中規中矩的二級生物處理的。香港產生廢水的工廠大都座落於維多利亞港的靠九龍岸邊，當遲至一九九四或一九九五年這些工廠才會受到污染法規的管制，所以帶色的染整廢水於海港經常可見。

·新加坡在都市環境維護上是非常獨特不二的，它全市居民皆已有下水道為其服務，在一九九〇年內全市六座污水處理廠共處理了三億兩千萬噸污水，而處理後排入海或河口的放流水皆合乎政府規定之放流標準。在一九七七至一九八七年間的「清河運動」成功後，如今新加坡河及加廊盆地內的水質均大幅改善，海生物與水上活動又皆可回到原位了。

在以上可資互相比較的數字與文字敘述裡，該報告明顯地認為這五個大龍也罷小龍也好，甚至已躍出龍門的地區，乃以新加坡的水污染狀況最輕微、整治工作最得力。台灣雖未被明言為最糟，但字裡行間的意思實也夠清楚的了。

### (3) 酸雨

酸雨既能直接造成水資源水質之酸化，且亦因大規模破壞森林而相繼造成水源涵養等課題上的致命傷。現今全球對酸雨跨國為害其資料較為清楚的為北美洲與歐洲；前者在美國共約二萬八千座湖泊中，一九九〇年資料顯示有一、一三〇座呈強酸性，而加拿大共計約一、一四〇、〇〇〇湖泊中，則有三一、〇〇〇座遭同樣嚴重的酸雨污染。在歐洲，自一九八二年至一九八八年



度、印尼、日本、馬來西亞、菲律賓、新加坡、南韓、台灣、泰國以及澳洲與紐西蘭的環境狀況做了摘要式的整理，其中水污染情形也大多有所說明，全文是屬一本報導平實的研究報告。以下乃以重點擇譯方式選取日本、台灣、南韓、香港及新加坡為水污染狀況間的對比，其餘環境問題不另贅言。

·日本政府在水污染治理的最成功處在於對其過去惡跡如水俣灣的全面整頓上，人民不再有遭害於毒性物質之虞。較弱處在於自然水體環境的保育上，截至一九八八年止，達成保育水準的海岸水體占全額的八二·七%，河川占七三·〇%，湖泊及水庫則僅佔四三·三%。在都市下水道建設上，東京市之服務率為八五%，全國為四〇%，而後者亦成為郊區湖泊等水體易受污染的原因。

·台灣的水污染負荷有五九%來自生活污水，三六%來自工業廢水，五%來自畜牧。垃圾與工業廢污大多露天傾棄，四百座掩埋場中許多皆瀕河而設。全台灣的下水道鋪設率為三%，而工廠亦自一九五〇年之六千家增至近期的九萬之數，另再加上以千計的公寓式地下工廠，這些皆構成嚴重水污染的主因。以淡水河為例，幾近全國三分之一人口與該流域為鄰，但未經處理的家庭污水、豬糞、工廠廢水、垃圾滲漏水及垃圾本身沿河兩岸各取門徑進入。

·南韓的四大主要河川——全係水供應源——於一九九〇年為政府判為「次等水質水體」。河川污染源中生活污水占七〇%，其它三〇%則來自一一、二〇〇家工廠。全南韓的給水率為七九%，但生活污水的處理率僅占三一%，而且有的只經局部處理而已，甚至根據漢城學界的



中東同樣地記錄惡劣，直接對地下水水量以及水質的永續經營遠景構成重大威脅。其中又以抽取「化石含水層」(Fossil Aquifers) 地下水的做法最值得檢討，此乃因該種含水層所貯者實為千百年來的積蓄，甚難由今日的降水予以自然補注。沙烏地阿拉伯目前全國竟有七五%的供水係抽自其化石含水層，主要用以在沙漠中大量種麥，除自給外且自一九八四年以來即擠入世界小麥輸出中之大國！據預測，若繼續且再快速抽取的話，該層地下水當於二〇〇〇～二〇一〇年間枯竭。在其他超抽地下水國家中尚還特值一提者是北京的地下水位逐年乃以一、二米速度在下降，現今已有三分之一的井源無水可抽，至公元二〇〇〇年其都會需水量將超出供水的七〇%，據聞亦還因此考慮遷都問題。總之，地下水抽取時只聞馬達聲而難見地下之殺戮慘狀，也難怪問題難管。

## (2) 地面水污染

所有曾於上文所論及的用水，以及固體廢棄物的滲出液不當地排入地面水體，其後果自然即造成所謂的水污染問題，致使原尚具用途的水資源不堪再用，間接也造成可用水量的影響。

基本上，地面水污染問題較之地下水濫用於全球更形普遍，農業用後水挾帶大量肥料與農藥，前者造成靜態水系之優養，後者甚至更形成毒性後遺；工業廢水及生活污水在缺乏下水道系統的國家始終成爲河川及海口的殺手，此現象於落後地區或環境保護無法落實國家屢見不鮮；至於固體性廢棄物滲出液的危害其波及者還不只僅地面水，地下水內自普遍的氨氮值偏高以至於重金屬等毒物的呈現皆顯示此污染源的無遠弗屆。這些上述現象若將其出現範圍縮小至亞洲地區，去年內杜邦公司等資助的一項研究（研究環保市場問題），倒對亞洲地區的中國大陸、香港、印



程度的一般性印象頗具關聯性。

(3)在列出的國家之中，台灣的各種用途用水比例與南韓者最為接近，次接近者為中國大陸。

## (二)水資源之損毀現況與趨勢

「損毀」一詞的意義包含了破壞與污染，而對於水資源的人為破壞與污染固然可以直接形成，例如超抽地下水或排污於地面水體，但更嚴重的損毀行徑卻常是因對土地等其他資源的保育或利用不當而間接造成，尤其當這些行徑發生於集水區時，其對水資源所帶來的震撼即每因錯在根本而絕難收拾。有關台灣地區集水區經營管理的討論文字已有許多收集在去年的論文集內，而全球在這個課題上的現況與趨勢當於下節中叙及，本節之所以提出「土地利用」這個重大間接性因素，一則無非是為再一次強調水資源的質、量管理實無法脫離土地管理而獨立，比如台灣即使成立了水資源總署，若該署仍無權對相關的土地利用行為置喙——正如環保署現今幾不容插手污染形成之節制問題那樣，那麼未來水資署成立後的真正作用其實現在即可預期。另則，本節在以下對水資源損毀因素的討論中，確有大半因素是應予歸入土地利用這一類別的。

### 1. 屬直接性的損毀

在多種構成水資源直接損毀的因素中，因篇幅關係故僅取地下水濫取、地面水污染及酸雨三項來進行全球或區域問題的討論。

#### (1) 地下水濫取

除台灣本地地下水超抽的問題嚴重外，中國大陸、印度、墨西哥、泰國、美國西部、北非與

表七 與台灣較相關之亞洲及其他國家之用水量及用途分配<sup>(註一)</sup>

區域別	亞洲地區					歐洲			大洋洲
國別	中國 大陸	日本	中華 民國 (註二)	南韓	新加坡 (註三)	英國	荷蘭	瑞士	紐西蘭
年總用水量 (km <sup>3</sup> )	460.4	108.0	17.1~17.9	10.8	0.4	20.0	14.6	3.3	1.3
人口(百萬)	1,139	123.5	20.1	42.8	2.7	57.2	15.0	6.6	3.4
農業用水(%)	87.0	49.5	78.0	75.0	4.0	3.0	34.0	4.0	44.0
工業用水(%)	7.0	33.4	9.5	14.0	51.0	77.0	61.0	73.0	10.0
生活用水(%)	6.0	17.0	12.5	11.0	45.0	20.0	5.0	23.0	46.0

註一：本表中除中華民國資料外，皆參考文獻 11 所得。

註二：中華民國資料係粗估值，參考來源為文獻 12。

註三：新加坡之用水量資料係取自「可更新之供水」項，否則其本身記錄為零。

但根據既有的農業總年用水量以及人口資料予以粗略估算，我們的單位人口用水似在五〇〇~六〇〇gpcd之間，換言之，擠入全球前二十大排名恐將有分。表七則是筆者根據同一資料來源，將幾個亞洲地區與我們鄰近國以及其他面積或海島地區形態與我們較為類似的國家用水狀況互做比較。自表七的數據互相對照，似有三項特徵值得指出：

(1) 台灣的每人單位用水量在亞洲與日本較接近，其與歐洲的荷蘭亦甚相近，唯這個單位用水值較之其他國家均呈超過近兩倍甚至更多的分量。

(2) 在水用途的比例結構上，確實顯出已發展國家其工業用水的高比重趨勢，發展中國家則普遍以半數以上的水資源供農業用。至於生活用水占明顯高比例的國家似乎與該國的生活環境清潔

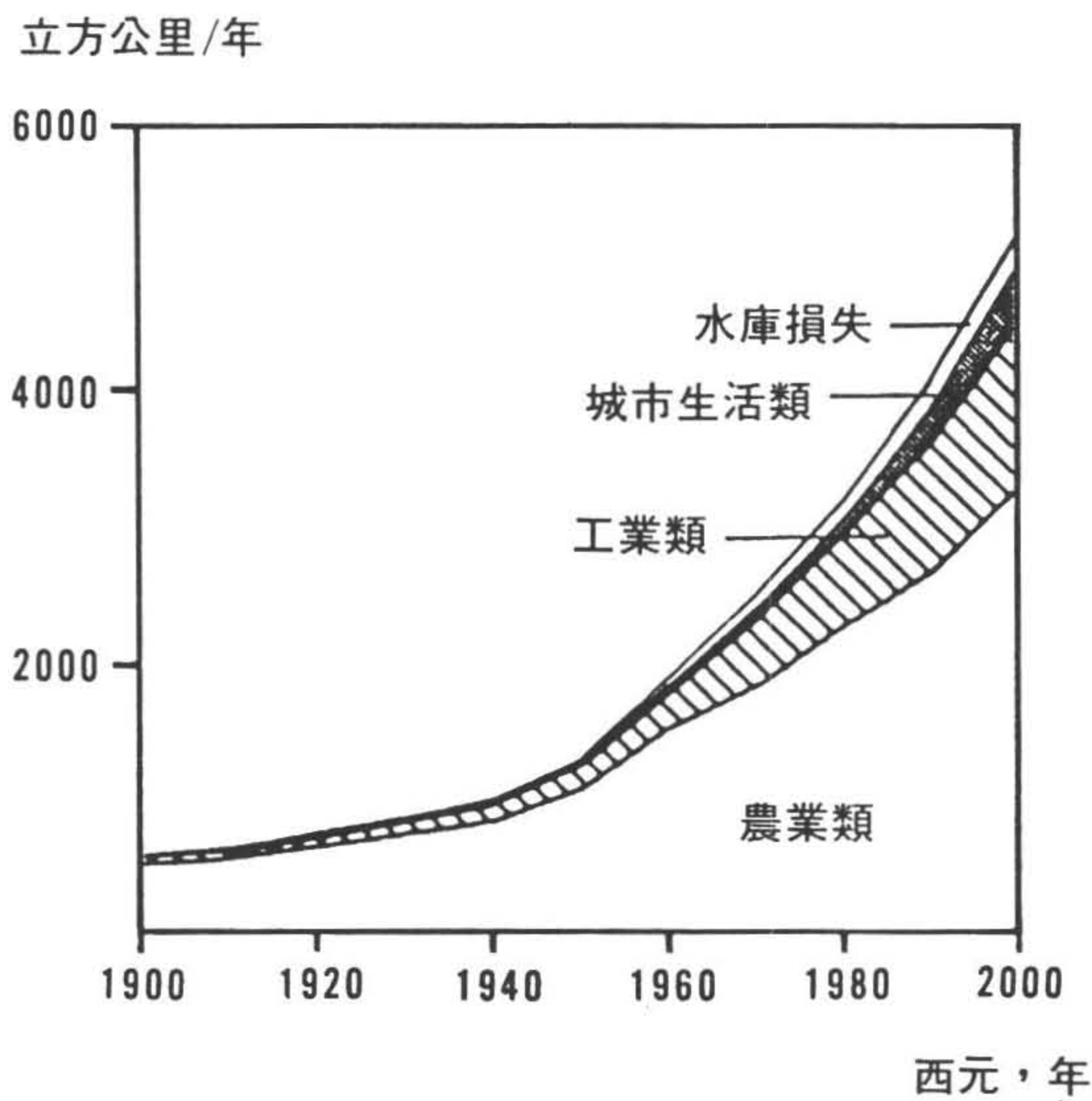


表六 農業用水量 ( 加侖/人/天 ) 居世界前五十名之國家排名

國 家	農業用水	名次	國 家	農業用水	名次
Iraq	3,046	1	Ecuador	365	27
Pakistan	1,456	2	Sri Lanka	350	28
Madagascar	1,200	3	Libya	338	29
Chile	1,047	4	Honduras	334	30
Afghanistan	1,029	5	Japan	331	31
Korea, North	871	6	Morocco	330	32
Iran	857	7	Greece	329	33
Sudan	781	8	United Arab	327	34
Egypt	766	9	Emirates		
Suriname	761	10	Philippines	306	35
Australia	728	11	Dominican	292	36
United States	657	12	Rep		
Bulgaria	637	13	China	291	37
Soviet Union, former	626	14	Mauritania	288	38
Mexico	561	15	Swaziland	279	39
Argentina	560	16	Syrian Arab	270	40
Cube	559	17	Rep		
Cyprus	532	18	Malaysia	260	41
Spain	527	19	Israel	256	42
Costa Rica	502	20	Netherlands	252	43
Romania	489	21	Mauritius	231	44
Italy	420	22	Oman	221	45
Panama	415	23	South Africa	196	46
India	412	24	Tunisia	188	47
Thailand	390	25	Lebanon	167	48
Portugal	369	26	Korea, South	162	49
			Uruguay	159	50

表五 1980年代與預測公元2000年之全球水用途情況  
(年用水量：Km<sup>3</sup>)

地 區	灌 溉		工 業		家庭 / 都會	
	1980s	2000	1980s	2000	1980s	2000
非 洲	120	160	6.5	30 - 35	10	30
亞 洲	1,300	1,500	118	320 - 340	88	200
澳洲—大洋洲	16	20	1.4	3.0 - 3.5	4.1	5.5
歐洲	110	125	193	200 - 300	48	56
北、中美	330	390	294	360 - 370	66	90
南美	70	90	30	100 - 110	24	40
前蘇聯	260	300	117	140 - 150	23	35
全球	2,206	2,585	759.9	1,153 - 1,308.5	263.1	456.5



圖四 每年全球水用途總量及分類量估計



般言，全球性資料常把水的用途劃分為農業用水、工業用水與生活用水三項，若每單項用水不計其個別之損失在內的話，則常又把所有損失合計成第四項，比如圖四所示的全球水用途中即特別將水庫的蒸發損失等自成一類。

自圖四觀，農業用水確實是占了全球使用量上的最大宗，只是自一九〇〇年以來至即將面臨的公元兩千年止，一個世紀內即呈現出五倍有餘的擴張；另一方面，工業用水大約是自一九五〇年以來的這半世紀內最能突顯它的增加量，而同期內雖也增加卻稍形穩定的則是城市生活用水類，至於水庫所造成的損失則自然與全球水庫面積於一九六〇年起逐漸隨水庫數目的成長而導致了更多的蒸發等損失有關了。從圖四本身我們不僅可直接讀到一百年來的人類社會用水激增現象，間接的，實不難進一步推想出其他亦同樣需水的生物社會在這百年間是如何無助地在與人類競爭這有限的水資源，而它們的競爭、潰敗正也是全球的森林、湖泊、河川、沼澤、溼地、海岸等自然生態體系逐一消失或死亡的重大緣由。

表五數據乃代表對人類灌溉、工業以及生活用水的水量狀況在全球七大區做進一步的劃分。一般言，數據顯示了亞洲、前蘇聯、南美及非洲等地區其用之於農業的灌溉水量最為偏高，而歐洲及北、中美的工業用水量之突出則似乎代表了該二地區其社經發展對於工業的倚重。

換言之，唯在了解全球各地區的最大宗水資源用途後，我們接著才可能清楚些：為求今後地區性的永續發展應如何切要地開展所謂的節約用水工作。有關全球節約用水的狀況與途徑等資料當於下文再述。

表六係再將世界前五十大農業用水國作名次與水量上的排列。台灣地區的資料雖未登錄，

表四 稀水及缺水國家之每年每人供水量現況及預測

地區/國家	每人可更新之水供應量		改 變 P ( % )
	1992	2010	
	( 立方米/人 )		
<u>Africa</u>			
Algeria	730	500	- 32
Botswana	710	420	- 41
Burundi	620	360	- 42
Cape Nerde	500	290	- 42
Djibouti	750	430	- 43
Eqypt	30	20	- 33
Kenya	560	330	- 41
Libya	160	100	- 38
Mauritania	190	110	- 42
Rwanda	820	440	- 46
Tunisia	450	330	- 27
<u>Middle East</u>			
Bahrain	0	0	0
Israel	330	250	- 24
Jordan	190	110	- 42
Kuwait	0	0	0
Qatar	40	30	- 25
Saudi Arabia	140	70	- 50
Sytia	550	300	- 45
United Arab Emirates	120	60	- 50
Yemen	240	130	- 46
<u>Other</u>			
Barbados	170	170	0
Belgium	840	870	+ 4
Hungary	580	570	- 2
Malta	80	80	0
Netherlands	660	600	- 9
Singapore	210	190	- 10
<u>Additional Countries by 2010</u>			
Malawi	1,030	600	- 42
Sudan	1,130	710	- 37
Morocco	1,150	830	- 28
South Africa	1,200	760	- 37
Oman	1,250	670	- 46
Somalia	1,390	830	- 40
Lebanon	1,410	980	- 30
Niger	1,690	930	- 45



綽綽有餘，但穩定逕流（Stable Runoff）上卻還不理想的全球水資源現況，水文學家另還為人口密度不同的每個國家設計出量度其究竟「缺或不缺水」的指標來。他們認為當某些國家人民每人每年可得到的供水量低於一、〇〇〇〇立方米時，這些國家應算是稀水（Water - Scarce）國；當介於一、〇〇〇—一、〇〇〇〇立方米時，則為缺水（Water - Stressed）國；而只有當每人年供水量超出了二、〇〇〇〇立方米始可稱之為富水（Water - Wealthy）國。根據這種算法，他們將全球各地區的缺水國家做了一九九二年的現況排列以及公元二〇一〇年時的狀況預測，其國名與數據有如表四所示。

自表四可知非洲與中東諸國是目前供水量最為吃緊的地區，尤其值得注意的是由於這些缺水國居高不下的人口增殖問題，更將大幅增強他們於未來的供水緊張程度，更何況此二地區自古即有一河供應數國水源的糾紛淵源，所以未來俟水資源分配更形捉襟見肘後，實未始不可能因而發生戰事。另須於此附註說明的是：Bahrain 與 Kuwait 兩國的數據為零乃代表此二國全無地面淡水可供應，現時其國家用水全賴大規模的海水淡化技術提供。又，新加坡是唯一列入表四排行榜的亞洲國家，其實，若以一九〇〇—二〇〇〇億立方米以及兩千萬人口來計算台灣地區的現況均值，那麼台灣實也應列入缺水行列，只可惜我們現有的許多環境資料一則準確性尚值存疑，再則亦有待官方再多加把勁，試圖多送些可靠的數據予國際性組織，如此先互通資訊上的有無，亦不失為重返國際社會預做準備工作。

## 2. 全球之水用途狀況

在供水量的足與不敷之間，「水的用途」每每係構成影響水量及其分配的最關鍵性因素。一

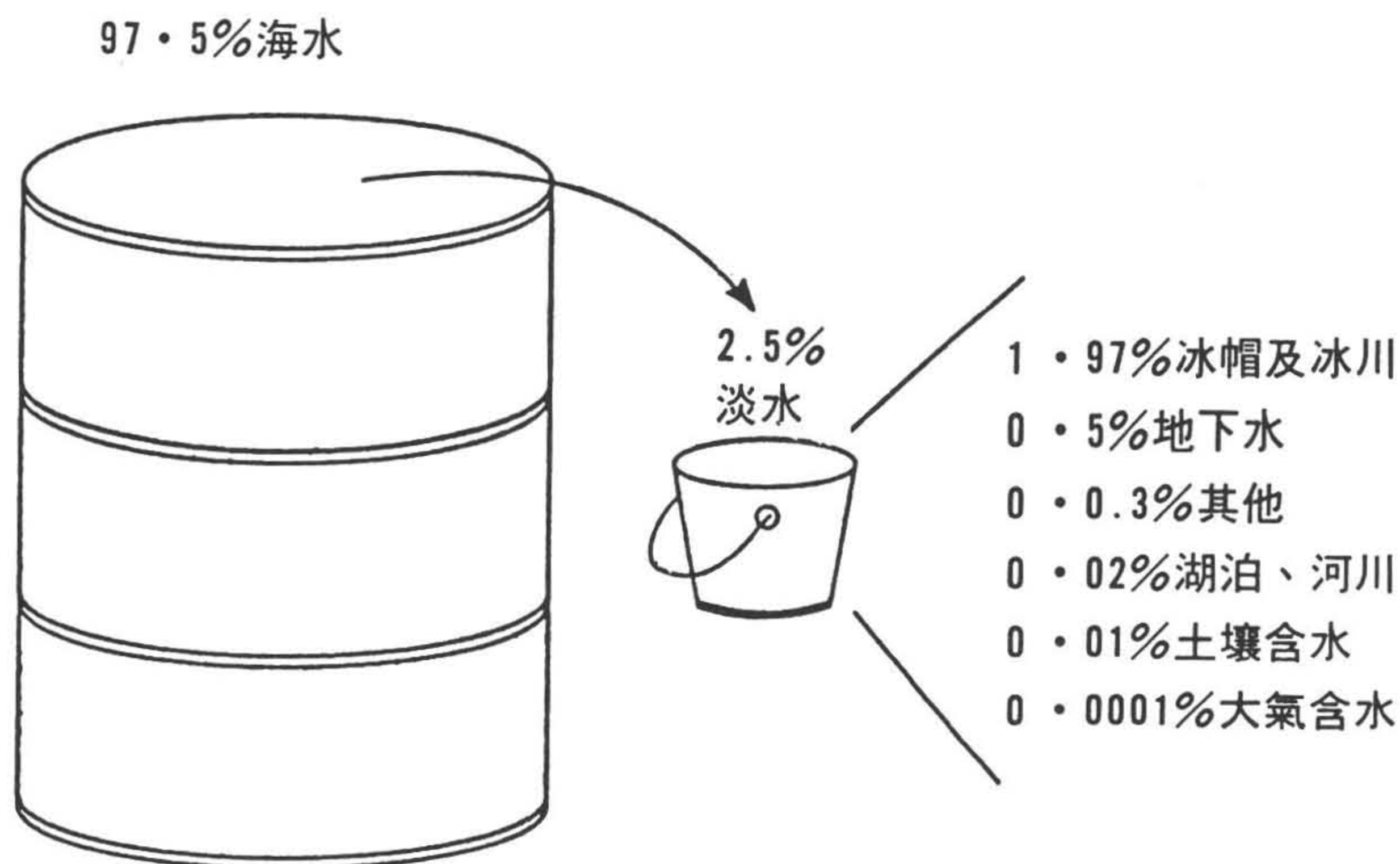
表三：1990年地面淡水資源於全球之分布及分配

地 區	總 可 更 新 之 地面水量(Km <sup>3</sup> )	1990年每人平均可配 得用水量 ( m <sup>3</sup> ×100 )
非 洲	4,184	6.46
亞 洲	10,485	3.37
澳洲—大洋洲	2,011	75.96
歐 洲	2,311	4.66
北、中美	6,945	16.26
南 美	10,377	34.96
前蘇聯	4,384	15.22
全 球	40,707	7.69

在這既存的有限淡水資源數量內，表三數據代表了屬地面水部分於全球七大區域的分布狀況，其中以亞洲及南美大陸所配得最多，以歐洲及澳洲—大洋洲所得資源量最少，而北、中美、前蘇聯及非洲則居中。但，當將水平均分配與地區人口時，表三右欄數字即代表各大洲每人於一九九〇年間可平均配得的用水量。由每人可配得用水量觀，正可反映出地區人口多寡因素的重要性，另外，這些由每年不一的雨量所帶來的不一的地表逕流量（如表一、二、三之間總逕流量數據按年分，略有波動即是）並非全年均勻地發生，常隨著雨季的集中於某個時段，非但構成了水資源當時的不可及，反而造就出各別季節的洪澇與枯旱災難，印度即是個標準的國例，而台灣中、南部的逕流集中現象則也是個地區性的顯例。

對於總逕流量（Total Runoff）上似還





圖三 地球上有限的淡水資源粗略比例

### (一) 水資源使用之現況與趨勢

#### 1. 全球可用的水量

人類使用水資源，無論如何其可使用的數量最終必受轄於地球水文圈內所能提供者。固然水乃屬所謂的可再生性資源，但再生過程本身需要時間，當再生的速度趕不及它的被使用速度時，所有的資源不敷或耗竭現象皆將一一浮現，與不可再生性資源的超限使用並沒兩樣。表二所列的數據代表了全球水資源的貯存與年流動量。在貯存量中，真正可為人類利用者，以河川、淡水湖泊及地下水為例，其所占總水資源之比例原已極低，而且這些淡水在分布上的可及性，以及，再考慮眾多水質污染因素後，實際上確實可予採用者更當七折八扣，更顯出該資源之珍稀。圖三正是幅代表了有限淡水資源的簡圖。

表二 地球水文圈內水資源之貯存與流動

貯存量	( $\text{Km}^3 \times 10^3$ )	( % )
海洋	1,350,000.0	97.403
大氣	13.0	0.00094
土地	35,977.8	2.596
河川	1.7	0.00012
淡水湖泊	100.0	0.0072
內海(鹹水)	105.0	0.0076
土壤含水	70.0	0.0051
地下水	8,200.0	0.592
冰帽/冰川	27,500.0	1.984
生物含水	1.1	0.00008
年流動量	( $\text{Km}^3 \times 10^3/\text{yr}$ )	
蒸發	496.0	
海洋	425.0	
陸地	71.0	
降水	496.0	
海洋	385.0	
陸地	111.0	
逕流入海	41.5	
河川	27.0	
地下水	12.0	
冰川融水	2.5	



表一 人類活動對降水與逕流量的改變預測

陸地	總年逕流量 均值(Km <sup>3</sup> )	無法補救的額外的 水的損失(Km <sup>3</sup> /yr)		總額外的降水 (Km <sup>3</sup> /yr)		額外的逕流體積 (Km <sup>3</sup> /yr)	
		1980	2000	1980	2000	1980	2000
歐洲	3210	127	222	60	173	19	55
亞洲	14410	1380	2020	790	1320	306	512
非洲	4750	127	211	185	245	21	36
北美洲	8200	224	302	110	338	34	104
南美洲	11760	71	116	0	0	0	0
澳洲及 大洋洲	2390	14.6	22	0	0	0	0

衡當造成各大洲降水與逕流體積的增加，只是後兩者的增加卻因未必即發生在原先造成大量蒸發損失的農業地帶，以致水資源供需失調現象果將有增無減。

### 三、人爲因素對水資源的影響

上舉的灌溉式農業所造成的多餘的蒸發損失，實啻是影響水資源量的分布的多種因素中之一例而已，還有許多其他的所謂，「人類行爲」對水資源量，以及同樣甚至更形重要的水資源質地造成了衝擊。對於這些直接或間接呈現於水資源質、量變化上的人爲因素，基本上可按(一)水資源之使用，(二)水資源之損毀以及，(三)水資源之經營管理三個類別來分別述其國際現況與趨勢之一斑。

## 二、全球氣候變遷對水資源的影響

圖一所示乃氣候變遷所可能引發全球性降水狀況以至於水資源量的分布上的變化。在這個預測中，東北亞包括日本，東南亞包含台灣、菲律賓、東馬來西亞以及印尼皆將變得比過去氣候乾燥，換言之，水資源的總量將在這些地區有減少的可能。

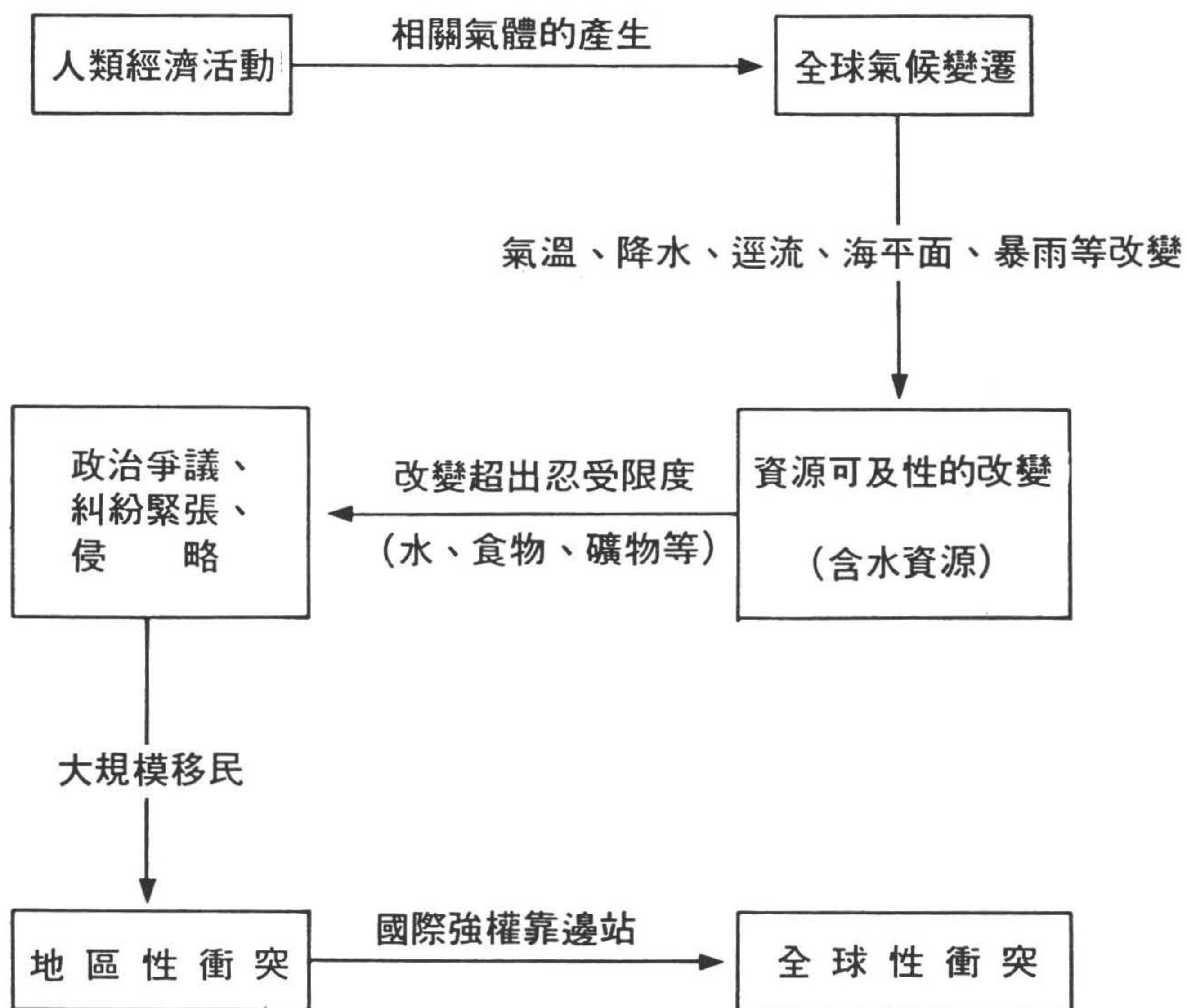
所附圖二的流程則表示，當重要的資源其可及性（Availability）因天候而大起變局後，所將引起的政治爭議與緊張，以及地區性甚至全球性的矛盾狀況皆不無可能發生。以台灣海島情形言，若旱象真將年復一年地持續下去，或許最嚴重的全球性矛盾不致因而引起，但可預測的島內地區性衝突恐難免發生，年前高、屏兩地為地下水的使用權爭議即是個顯例。

其實，最早提出全球性水荒的預測者是一九八二年 Barney 提給美國總統卡特的「地球公元二〇〇〇年」該本報告。該報告中預估了非洲、北美、中東、拉丁美洲及南亞之部份地區或國家皆將因多重因素「包含氣候變遷影響在內」而發生嚴重的缺水現象。當時參與該報告水資源預測部份的蘇俄名水文學家，Shiklonanov，數年後又指出：地球的逐漸暖化固然可導致水的額外蒸發損失，但更形關鍵性的所謂「無法補救的水的損失」（Irritrievable Water Losses）卻是來自人為因素，尤其是來自灌溉式的農業因素。

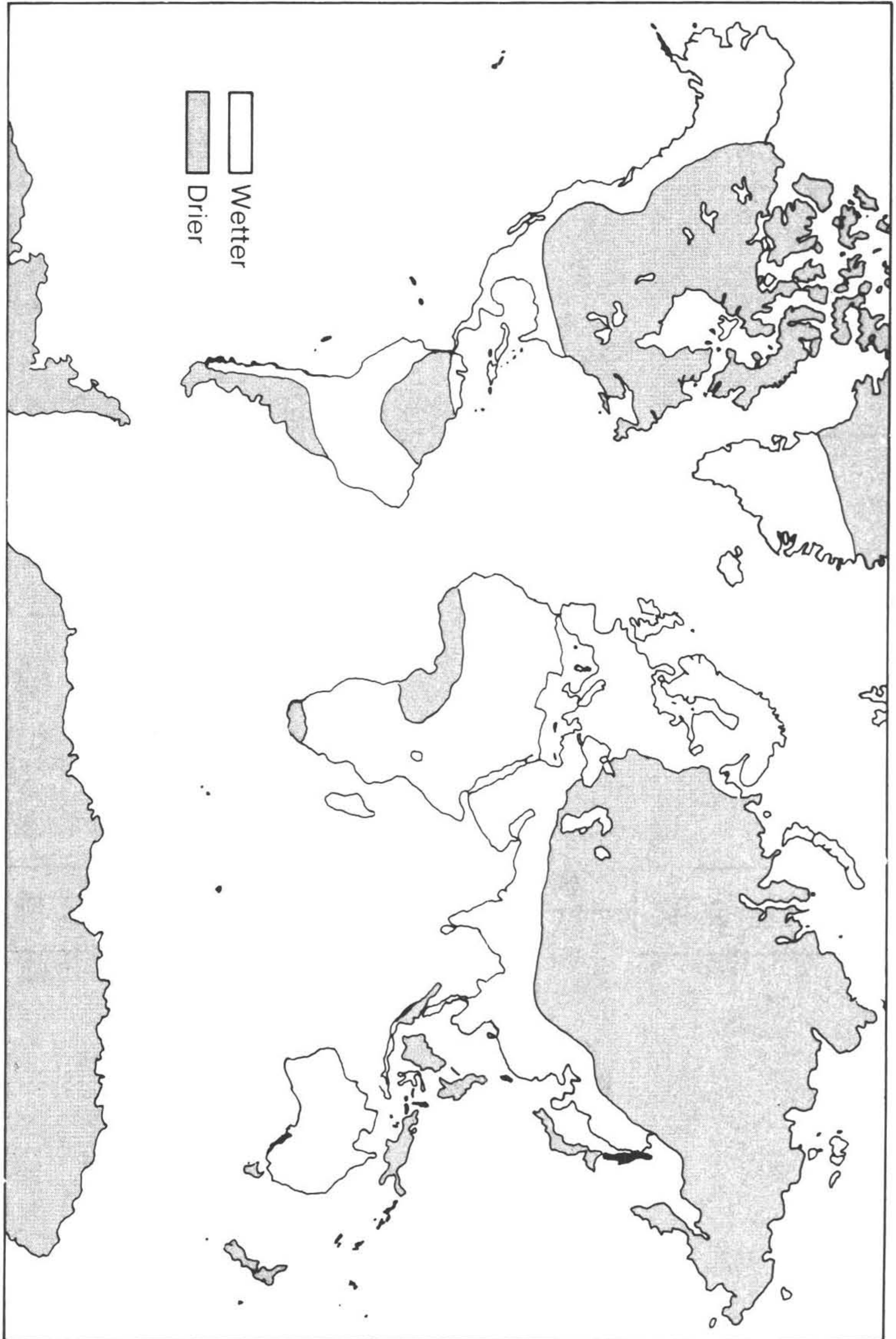
表一所列者即為全球六大地區其降水及逕流所受到人類活動的影響情況。基本而言，即使氣候變遷因素實也包含了部分人為的緣故，所以特將本表列於此，以作為與下節文字之分壤。

表一的數據重點在於顯示無法補救的蒸發性損失在二十年之內的遽增情形，雖然水的總量平





圖二 氣候變遷後全球對水及其他資源產生矛盾後果之流程



圖一 全球氣候變遷所可能導致的降水變化狀況之一



一點不錯，因天候異常所造成的影響本來就在世界各地一一顯現，只是，大氣變遷真的只是上帝一時興起的、短時期的惡作劇而已嗎？對這個說法，國內的大氣科學專業人士予以搖頭否定了：

「……台灣最近幾年氣候異常的頻率明顯增高，雨水的分布已和過去不同，國內的水資源管理應該隨著氣候的改變做適當調整，否則可能年年都有乾旱之苦。……最明顯的氣候改變，是最近十年台灣地區東部北部的雨量增多，中部南部的雨量減少，雨量的分布已和十年前不同，影響所及，中南部發生旱災的機會就增加了。台灣氣候的另一個改變是颱風路徑發生變化……台灣的水資源過去對颱風的依賴極高，但颱風侵台的次數已經減少，水資源管理單位應有此體認，重新釐定水資源方案……政府有必要增加水土保持的投資，一方面遏止森林砍伐、山坡地濫墾，一方面進行造林、復林等環境重建工作，畢竟森林才是主要的貯水庫，也是台灣用水的最重要來源。」

分別摘引了這兩段報導，皆係為取專業的意見來表明台灣水資源所面臨的林林總總的困境，其實完全與下文所將討論的「國際現象」同具普遍性，都有著長期的人謀不臧的管理失控因素存在，而且，就在「冰凍三尺絕非一日之寒」之際，天公不願繼續作美的現象又廣泛地在世界各地雪上加霜，一些類似懲罰性的撥弄早已開始，且變局的趨勢據預測，若只就台灣一地言，似乎將愈形不利。

九八七年所出的布朗特蘭報告 ( Bruntland Report )，始才將詞義移轉到比較確切也比較廣義的對下一代需求的關懷上，而資源正是屬下一代有待滿足的需求之一。到了去年地球高峰會議後，「永續發展」遂被正式標舉為國際今後走向的最高理念，而此詞自此即大有永續風行之勢！

確實，水資源在其量上的過多或不足以及水質上的逐時劣化並非台灣一地所面對的永續課題上的三種困境，只是，世界其它各國的遭遇有否如我們最近所報導的這般嚴重呢！

「台灣在五十多年前的日據時代和二十多年前的農復會時期，曾調查全省有多少可建水庫的壩址，當時加起來約有五十多個現址，但今天幾乎一個也不剩了。經濟部水資源統一規劃委員會曾前往各個現址勘查，發現當年可用的現址，成為高爾夫球場、遊樂場、大型社區的比比皆是。台灣現在還有多少個地方可以蓋水庫呢？答案是：『不知道』。水資會目前規劃中的水庫有……等四座，預定在民國九十年興建完成，滿足台灣地區到民國一百一十年的用水需求，民國一百一十年後都是未知數。」

至民國一百一十年這個距今不過才二十七年餘的「供水大限」觀，確還剩下約莫一個世代 ( One generation ) 光景可供大夥兒繼續揮霍享福，之後，再下代的台灣人民可就得天天面對水荒，過他們另一種災難式的永續性歲月了！

只是，驚悚之餘卻也有同報同版的報導並不認為台灣的旱情有什麼大驚小怪的，當十四屆科技顧問代表鑑於枯水狀況而提出水資源問題來時，我們的李總統即認主因是在天候，且相信這只是短時期的現象而已。



# 論水資源永續經營之國際現況與趨勢

◎於幼華

## 一、前言

這次研討會是時報文教基金會就水資源課題展開論文撰寫與評論的第三年度盛舉。頭一年，大會是以「河川的關懷」為主題，對台灣地區幾條主要河川的病態及其希望所在做了開場白；去年，時逢「六年國建」的號角吹得極響，於是正好可就國建所需求及所將影響的水資源計畫給予分析與檢討。今年，原先在研討會規劃期間誰也沒想得到下半年台灣會面臨到近三十年來最嚴重的乾旱，所以當時隱隱約約所訂定的「永續發展」系列文字輪廓，經這場旱象凸顯，竟真的成爲大家心中最焦慮最關切的一個主題了，那便是：我們台灣的水資源，其逢雨成澇，逢旱呈荒的種種跡象，是否早與所謂永續經營的方向背道而馳了！

「永續性」(Sustainability)一詞自出現到熱門迭經了三個階段的變化。首先它是在IUCN所出版的《世界保育策略》中被廣泛提及，當時是以資源的利用觀點而期之以能永續不斷；至一

Introduction ; UNESCO, Paris.

71 Biswas, A.K. 1967 "Hydrologic Engineering Prior to 600 BC", Proceedings of ASCE Journal, Hydraulics Division.