EJ095199422065

師大地理研究報告
第22期　民國83年10月
Geographical Research
No. 22, October 1994

大屯火山西南坡面地下水流動體系與水資源利用之研究

Groundwater Flow System and Water Use on Southwestern Slope of Ta-tun Volcano

吳素蓮*

Shu-Lien Wu

ABSTRACT

This article is focused on a hydrological study of groundwater flow system and water resource utilization on mountain slope. The study area locates in southwestern slope of Ta-tun Volcano.

Based on the information from collected hydro-environment date, field study and questionnaire, conclusive points are sunnarized as following.

1. A spring zone of 28 distributes in the study area between 60m and 240m contours. The outflow amound is estimated about 10 CMD to 10^5 CMD, while water temperature is about 22℃ all year round. The value of electrical conductance is from 140 μ s/cm to 265 μ s/cm, in where the factory-polluted estuary is higher.
2. The springs lie on a north-south flow system. Most of groundwater rechange deponds on the Ta-tun stream and Gong-sy-tyan stream（公司田溪）Groundwater level is strongly in luenced by local precipitation.
3. The common location of spring is neap two interface between two formation of volcanic rock with different permeability.
4. According to discharging processes, spring water can be classified into fracture flow system and local flow system.

民國83年8月10日投稿，9月15日受理。

*國立台灣師範大學地理研究所碩士班第23屆畢業生，現任職台北市立天母國中。

5. The result of questionnaire survey indicates that the situation of water use for both household and agriculture depends highly on hydrological einvironment.
6. The recharge area and recharge rate to the aquifer are decreasing. It might be caused by the extansion of impermeable land surface, by the extension of impermeable land surface, Like residential landuse. Thus, to protect groundwater resources and maintain permanent utilization are recommended.

一、緒論

㈠、研究動機及目的

火山體爲地表有力的貯水池（山本莊毅，1970：267），自古以來即被視爲水資源豐富的地區，乃因構成火山體的岩石富含裂隙和孔隙，對降水的滲透性佳，其次大多數成層火山山麓都有湖泊和湧泉成群出現，形成水源豐富的湧泉帶（都筑守，1990：97），菊池英彥（1932）在研究日本火山地區河川流量時也發現，火山體河川比流量比其他地區大，所以火山水文特性一般多湖泊、多湧泉、多溫泉、河川比流量比其它地區多（楊萬全，1980：6），因此湧泉的分布和湧泉量反應了火山體內部地下水的流動情形，火山體的地形地質構造及構成物質也深深影響火山區的水文特性。

人類在尋求居住之地常先求得水源之便，一般位於濕潤地區的層狀火山，在山麓地帶常見湧泉的出現，所以火山山麓地帶的湧泉和地下水在以前即扮演著重要生活、農業灌溉用水來源，現在則又加上工業、都市、養殖漁業用水之需求（肥田登，1990：103-109），可見人類活動與之緊密依存的關係。在臺灣地區的火山區，以大屯火山群的規模最大最完整也最重要，在山麓地帶常見湧泉源源流出，在長期乾旱後，依然水流潺潺不息，不僅有調節火山內部地下水貯留量的功能，反應火山地形地質構造，也是山麓地區居民重要的生活和農業灌溉用水來源，因此研究這些地下水的流動循環過程，有其重要的研究意義和實用價值。

透過國科會國際連線的百科檢索及國內可見的國際水文期刊，目前有關火山水文學的研究，以日本學者的研究最爲蓬勃，歐美各國對此方面的研究十分欠缺，反觀在國內，學者對於沖積扇和盆地平原區的地下水流動相關的研究論著可謂汗牛充棟，但卻缺乏對火山體坡面的湧泉和地下水流作探討，火山爲台灣重要的地理現象之一，不應使這方面的研究產生缺漏。基於以上的問題，本文選定臺灣北部代表火山—大山火山西南坡面爲範圍，從了解本區水文環境開始，著手調查湧泉和地下水的分佈及其特性，並釐清地下水的流動機制，更進一步探討火山區水資源的空間分布特性對當地居民活動用水所造成的影響，故本文擬定的研究目的有三：

1. 調查火山坡面的地下水流動體系。

2.分析火山坡面地下水流動機制及水量收支情形。

3.明瞭火山區地下水資源利用的空間性。

(二)、研究地區之選定

大屯火山群以東北一西南向，西北一東南向的兩條合成人字形的主分水嶺，分爲西北、東北和南部三區。本研究選擇了西北區南半部的坡面，範圍係指面天山、大屯山以西，烘爐山、竹子山以南地區，西南以淡水河和觀音山相對峙，西臨臺灣海峽，北至大屯溪北岸的分水嶺，面積約84平方公里（圖１），爲一完整之水文區，在行政區上隸屬於陽明山國家公園、臺北縣淡水鎮及三芝鄉的興華村。選擇本研究區的理由有二：

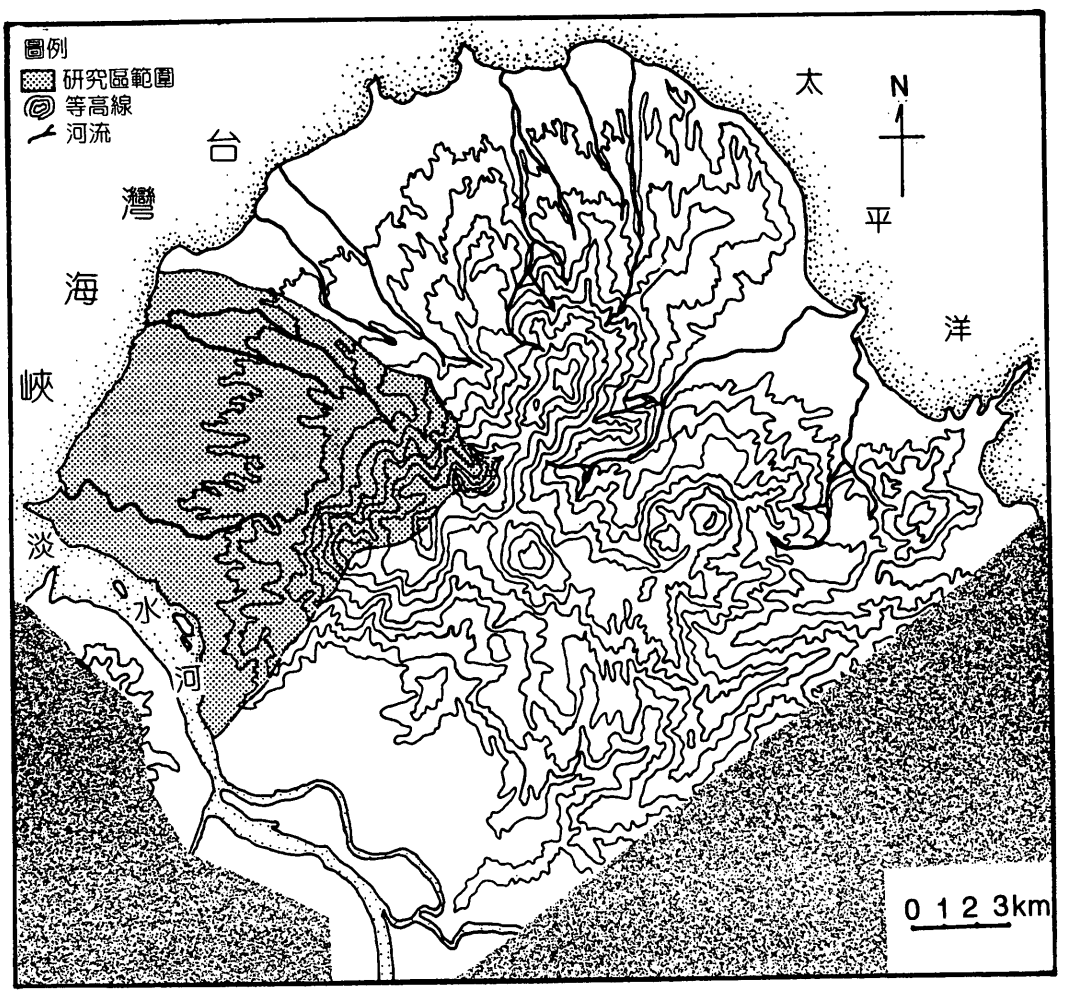


圖１　研究區位置圖

1. 大屯火山群爲臺灣地區火山區規模最大最完整也最重要的火山區，卻無完整的地面水和地下水的資料，湧泉是火山地區重要水文景觀之一，它呈現火山地區水資源豐富的情形，而有關本區的湧泉和地下水研究卻乏人探討，故更能顯現本區研

究上的意義。

2. 本區目前自來水尚未普及，僅限於淡水市區等局部地區，大多數居民仍以地下水、泉水作爲生活各種活動用水的來源，較能追溯火山區水資源與人類活動緊密相關的原本風貌。

㈢、文獻探討與資料來源

1.文獻探討

火山地區水文的研究，在1970年代以前著重於定性描述火山地區周邊的水體型態，及其水文地質的特性，如神原信一郎（1929）於《富士山地質與水理》中主要探討富士山噴發地質史及敘述富士山周圍的河流、五湖水理，結論得出火山體爲地表有效的水源涵養體。1970年代以後，有關火山地區水文特性的報告或研究，則已從定性的描述進入定量探討的階段，大量的研究報告與成果，儼然使火山體在水文學研究上成爲一個獨立的研究單位（丸井敦尙，1993：97），根據其研究成果與研究面向，將相關文獻說明如下：

(1)火山地區地下水、湧泉流動特性方面研究

山本（1970：267）於1970年所發表的《富士山の水文學研究—火山體の水文學序說》中，研究富士火山體的各種水體—河川、湖泊、井水、湧泉等的水文特性，並指出以火山體水文學觀點研究這些水體時，須同時兼顧以下三種的研究面向：①水體的型態和貯存量②水體貯存量的變化情形③變化機制的探討。此外，並注意到常流河的有無、湧泉帶的存在等現象，將富士山體區分爲山頂補注區（無水域）、山腰補注區（乏水域）、山麓湧泉區（豐水域）三個水文區，此種水文分區對於其他地區的成層火山大致皆可以適用，從此篇文章，山本大致已經確定火山體水文學的研究方向。1972年山口久之助（1970：4-20）曾以湧泉總流量推估北海道羊蹄火山體的水收支，得出水量收支的平衡式爲$P=E+S+H$[1)]，此平衡式對於氣象資料不足的山地地區，在作水平衡探討時，不失爲一個簡易的方法。楊萬全（1993：319）研究大屯火山南坡面河水、泉水、地下水等水體，說明火山地區水文循環過程和地下水流出特性深受地質分布與地質構造的影響。島野安雄（1987：99－110）於1987年研究阿蘇火山周邊地區1500個湧泉時，在了解湧泉的分布區域特性後，依照湧泉形成地點的地質環境差異，將湧泉分成七種湧出型態，再取30個湧泉進行水質分析，區分爲四種水質類型；都筑守（1990：97）等人發現在岩手山南麓400－450公尺等高線附近，地下水流出形成一湧泉帶，在著手調查湧泉量、水溫和電導度值後，結果顯示岩手火山的地質構造與地下水流動系統之間明確的關連，但本文著重於野外調查報告基本資料的說明，未能具體闡釋分析地下水流動的機制。榧根勇（Kayare, I., 1992：320）研究印尼巴里火山島的水循環及水源利用方式，文中指出巴里島的湧泉分布深受地質構造及氣候的影響，呈現強烈的區域性。日本南八ヶ岳的研究群丸井敦尙等人（1992：91－103），在研究南八ヶ岳火山坡面的湧泉和河流時，將南八

1)P：降水量，E：蒸發散量，S：湧泉流量，H：貯留水變動量。

ヶ岳的地下水依照高度分爲四個獨立湧出流動系統，各系統的湧泉量和水質呈現明顯的差異，並提出往後綜合的火山體地下水流動模式，至少應該探討以下四部份：①各坡面的水收支②地下水湧出流動系統③地下水的移流④地下水在貯留層內的滯留時間。由以上各研究得知，一般火山體構造十分複雜，如果缺乏詳細的資料，則有關火山坡面形成之地下水流動特性就很難去理解，所以火山地下水的研究首重地質調查（如基盤、噴出熔岩流、火山碎屑物等）、物理探查、實地測水等必要工作（山本莊毅，1983：91）。

⑵地下水、湧泉的利用

陳國章等人（1982：72-90）透過觀察、測量、訪問、問卷等方法，調查故宮西側、中影公司西北方山麓及天母東緣泉水，藉以明瞭泉水與其附近土地利用和經濟活動的關係。新見治（1990：25-41）研究高松平原湧泉與地下水環境與區域開發用水之間的關係，並提出地下水管理經營的方式，並以湧泉個案說明在都市化地區，由於住宅區和道路等不透水面積的擴大，減少地下水補注面積和補注率，導致湧泉量也隨之減少，爲維護水文環境和人類活動之間的和諧關係，水文環境的保育爲刻不容緩的重要課題。新藤靜夫（1992：137）以社會水文學觀點，研究火山島伊豆群島各島地下水開發利用的歷史，明顯提出火山島地區在面臨人口增加的壓力下，用水需求也隨之增高，需注意水源不足問題的產生。

以上的研究大部分傾向於巨觀角度研究整個火山體，鮮能對火山坡面的地下水流體系及流動機制作一完整詳細的微觀探究，此外，目前國內地下水的研究多著重於沖積扇與盆地地區，火山體水文學的研究單元顯然爲被忽略的一環，因此本文選擇臺灣重要具代表性的大屯火山，企圖嘗試對西南坡面的地下水流作定性與定量的分析，作爲火山坡面水資源合理開發利用與管理的重要依據。

2.資料來源

本研究所用的資料來源有：

⑴政府機關所提供

①北基水利會淡水工作站：提供1955年1／4800的灌溉土地地籍圖及灌溉圳道資料。

②臺北縣政府水利課：提供20口深水井地層剖面及17口井試水資料。

③中央氣象局：提供淡水、鞍部1962-1991年的氣溫、降雨量資料。

④臺灣省自來水公司淡水營運所：提供淡水三芝自來水供應量、供應範圍及淡海深水井地層柱狀圖。

⑤臺灣省政府住宅與都市發展局：提供淡海新市鎮整體開發計畫及自來水系統規劃。

⑥宜蘭農工環工科化驗中心：化驗15個湧泉的化學成份。

⑵筆者野外觀測訪問的記錄資料

①觀測28個湧泉分布地及夏、冬季的湧泉量、泉溫和電導度。

②觀測10個湧泉全年的流量、泉溫和電導度。

③55口井夏、冬季的水位、水溫、電導度及污染情形。

④湧泉帶附近三個地層電阻探測點的地層剖面。

⑤兩處民宅的抽水試驗值。

⑥實地訪問各地水源利用情形及調查28個湧泉的利用型態現況。

⑦162份水源利用有效問卷分析結果。

四、研究方法與研究流程

1.研究方法

本研究旨在探討火山坡面地下水流動體系及水資源利用之空間性，故研究方法包括下列各項：

(1)文獻蒐集—作爲立論的引據和概念的基礎

(2)野外實地調查方面

①湧泉點的踏勘——本區湧泉分布概況

利用1／5000的相片基本圖爲底圖，並配合1／25000的地形圖，於1993年6月－8月以大屯西南坡面全域爲對象，一齊全面實施湧泉分布調查。

②湧泉流量觀測——湧泉特性、水循環機制和水平衡探討指標

A 觀測方法：湧泉流量觀測方法依湧出型態、渠道狀況、流速流量等不同而異，本研究所採用的方的法有二：

a 容積法：若水流總量不多，容器能容納時，直接量測的方法（楊萬全，1993：351）。

流量（Q,m^3／sec）＝容器的容量（W,m^3）／注滿所需的時間（t,sec）

b 浮漂法：沿河川流路選擇直線狀阻擋少的河段，選定一定區間將浮標由上游往下游流放，記錄浮標往下游流的距離 L 和所需時間 t ，則

流速（V,m／sec）＝距離（ L ,m）／時間（t,sec）

將浮標法所測定的表面流速，換算成平均流速（通常乘以0.85），再乘以河床的橫剖面積，即可得流量（楊萬全，1993：346）

B 觀測時間：

a 全數湧泉於1993年7、8月和1994年2月進行夏冬兩期觀測。

b 選10個代表湧泉實施1993年6月—1994年 4 月每隔兩個月的觀測。

③湧泉水溫、電導度觀測——

在測量湧泉量時，同時於湧出口取得水樣利用電導度計測，經由攝氏25度的校定，單位爲 μ S／cm。

④地層電阻探測——分析地層結構，掌握地下水和地質間之相關性

本研究採用Wenner四極法（楊萬全，1980：3-12），其步驟乃是依據由探測儀器所量測兩極的電阻R值，用以計算外觀電阻 ρ_a，並將 ρ_a與深度a的關係繪於

雙對數方格紙，可構成地層研判用的ρ－a曲線再依Roman的標準曲線及Humel的補助曲線來研判地層，分析所得之各種不同地層之電阻值，視其所在地之不同，而有不同之研判值。

⑤地下水位觀測——

分別在1993年8月和1994年2月進行兩期的測量，以了解不同時期地下水位變化的情形。

⑥地下水水溫、電導度觀測——地下水特性及地下水流動量依據

在觀測地下水位時，同時取得水樣利用電導度計測定，亦換算爲攝氏25度的校正值，單位爲μS／cm，用以觀測水中無機鹽類的含量。

⑦抽水試驗——地下水定量評估（K值、T值）

本研究採用的方法爲不平衡式解析法中的顧伯－賈可布解析法（Cooper Jacob solution），其作法爲在單對數方格紙上，對數軸爲時間（t），算術軸爲洩降（s），把抽水井的觀測記錄繪於單對數方格紙上，可大致成直線，繪上s－t曲線近似的直線，取logt的一循環間的水位下降Δs，由下式求得T值。

$T=0.183Q/\Delta s \quad K=T/M$

T：導水係數（m／min）

Q：抽水量（m／min）

K：滲透係數（m／min）

M：含水層厚度（m）

S：洩降量（m）

(3)水質分析方面

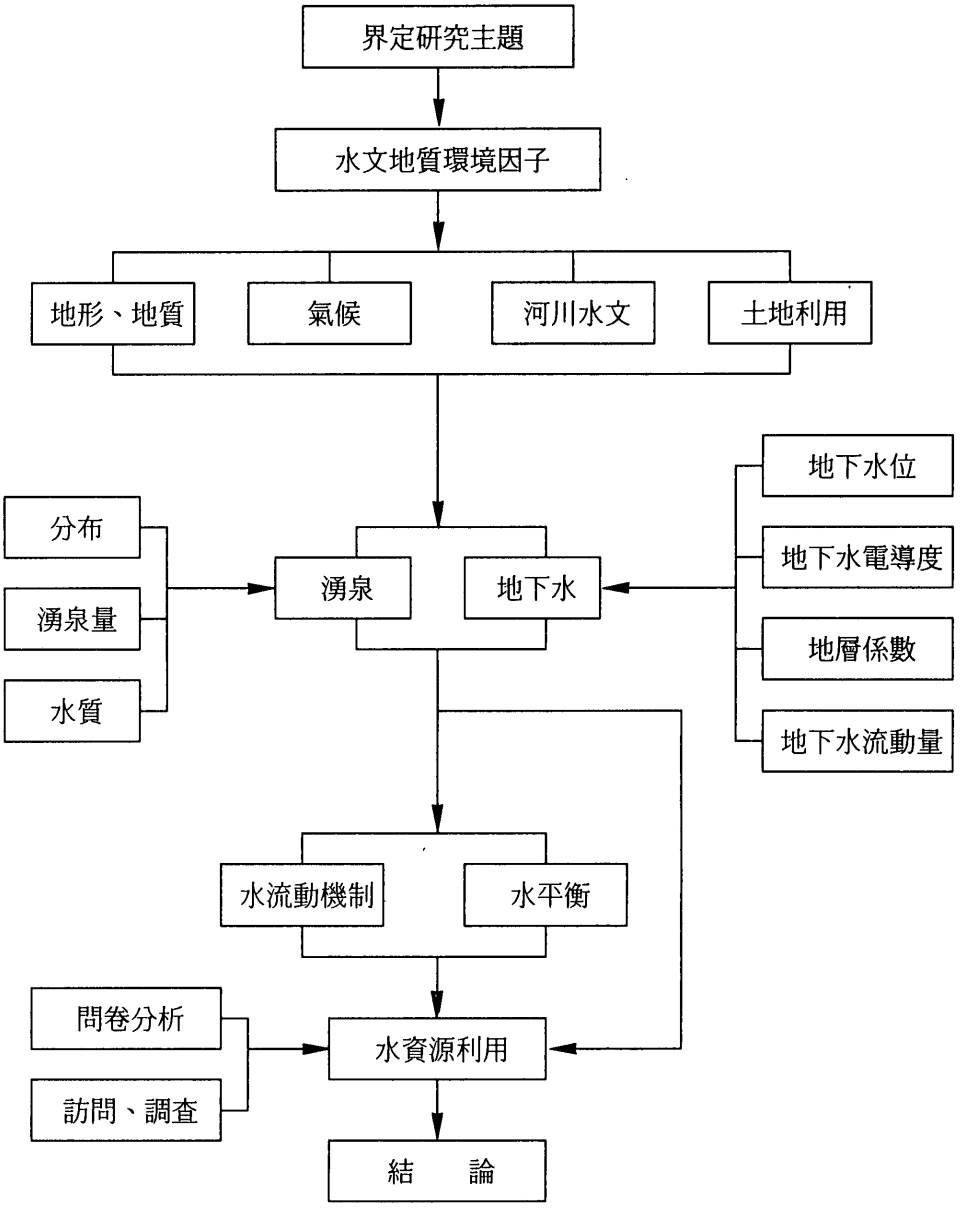
取15個湧泉作水質化學分析，以容量一公升的特製塑膠瓶進行採水，化驗項目包括陽離子的Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}和陰離子的Cl^-、SO_4^{2-}、NO_3^-、NO_3^-、HCO_3^-及pH、TDS（總懸浮固體），委託宜蘭農工環境工程科化驗中心化驗，分別計算各離子的當量濃度（epm）佔各該陽離子和、陰離子和的百分比後，結果點繪於Piper水質圖（triliner diagram或key diagram）（楊萬全，1983：108）與Hexa水質圖（Hexa diagram）（山本莊毅，1983：378）上，據以分析水質結構。

(4)問卷分析—明瞭各地地下水資源利用現況

以淡水鎮水源國小全體學生爲問卷對象，請學生將問卷攜回家中由家長填寫完後繳回，問卷的內容參見附錄。計發出問卷240份，回收198份，有效份數爲162份，回收率爲67.5%。

2.研究流程

配合以上的研究目的、研究區的環境特性及文獻的回顧，衍生的研究流程如下：



二、水文環境

㈠地質地形

表示地下水形態的地下水面是地表地形的反映（Tolman C.F., 1937），並由構成的地質加以修飾，由此可知地下水與地形地質間密切的關係。本區範圍位於大屯火山群的西南部，本火山群主由安山岩流、火山灰和粗粒碎屑堆積物等交替噴發構成的層狀火山，覆蓋在時代不同的中新世沈積岩基盤上，據估計大屯火山群至少有三層凝灰角礫岩

及多達15層以上的火山岩流（何春蓀，1986：100-103）。大屯火山群的安山岩流大部分屬於輝石安山岩、角閃石安山岩、紫蘇輝石安山岩，或者是這三類的複合岩類（王鑫，1983：20）。大多數的熔岩裂隙系統很發達，火山碎屑物多孔隙，對雨水的滲透性佳（都筑守，1990：97），對地下水的補注助益甚大。

依照地形地質可將本區火山坡面分爲三級，第一級高度在300公尺以上屬於火山體熔岩覆蓋區。300公尺以下幾乎爲下部凝灰角礫岩分布的臺地區，屬於第二級，上偶覆有2－4公尺厚的紅土層。第三級爲西側沿海和河谷平原區，大多爲現代的沖積層和沙丘（圖2），沖積層現在大部分已被闢爲住宅區和農田耕地（台灣省建設廳，1980：27）。

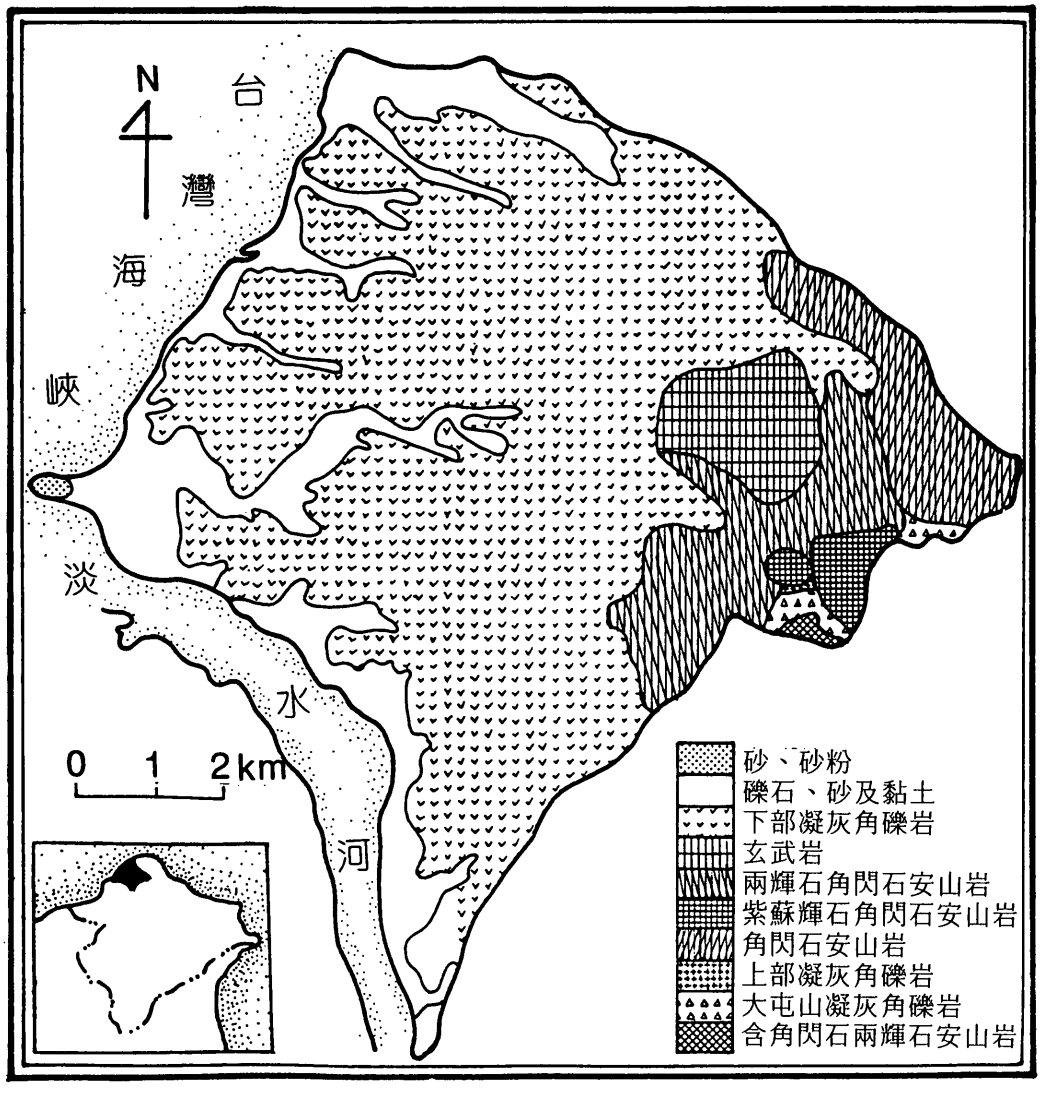


圖2　大屯火山西南坡面地質圖（陳肇夏，1971）

㈡氣　候

本區位於臺灣北部大屯山西南側，西臨臺灣海峽，西南瀕臨淡水河，此一地理位置對本區之氣候甚有影響，在此區域內，平地各區之氣溫變化相差甚微，但雨量之季節分配因受地形和風向的影響，各地有明顯的差異。

由全區觀之，雨量在空間分布上由東向西逐漸減少，東部位處山區，氣溫也顯得較西部爲低，7月雨量較少，乃因盛夏西南季風強，北部位處背風面雨量少的緣故，6月雨量稍多，則是梅雨的關係，一般以9、10、11、12、1、2月雨量多，此爲台灣北部冬半年受東北季風影響，雨日多雨期長的結果。以1948年Thornthwaite所提出利用氣象資料導出的經驗公式（市川正已，1976：98-113），計算出本區的氣候水平衡（表1），表中呈顯每月皆有剩餘的雨水助於本區地下水的補注。

表1　大屯山區西北側的氣候水平衡

		一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年
平均氣溫(℃)		12.9	13.3	15.6	18.9	22.4	24.6	26.0	25.9	24.5	20.7	17.9	14.9	19.8
月熱能指數(i)		4.18	4.37	5.59	7.46	9.66	11.1	12.1	12.0	11.0	8.59	6.87	5.21	98.25
未修正ETp(mm)		29	31	43	65	94	115	129	128	114	79	58	39	
N25° 修正係數		0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91	
已修正ETp(mm)		27	28	44	69	108	132	151	143	116	78	53	35	984
平均雨量(mm)		206	218	205	155	194	272	192	230	357	360	296	219	2904
土壤水分變化(mm)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
土壤水分(mm)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
水平衡 (mm)	不足	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	過剩	179	190	161	86	86	140	41	87	241	282	243	184	1920

資料來源：楊萬全（1988），陳清恭、蔡清彥（1983）

㈢河川水文

各流域月平均降水量以9月和10月的颱風期最多，其後漸減，至翌年4月份爲最少，不到200mm，5月和6月梅雨期略增，7月和8月又略減，具週期性變化，年平均降水量大屯溪約3957mm，公司田溪約4154mm。蒸發散量受氣溫的影響大，1月、2月份最低溫時期的蒸發散量最少，其後隨著氣溫的升高而增加，7、8月份溫度最高時，蒸發散量亦最大，其後隨溫度逐漸下降，蒸發散量也隨之減少。逕流量是降水量與實際蒸發散量之差，全年以10月份逕流量爲最多，逕流水深可達500mm以上，其後逐漸減少，至翌年

4月份爲最少，5、6月份的梅雨期略增，7、8月份漸減，9月份有顯著增加，10月份爲最多（圖3），與月平均降水量具相同的週期性變化（楊萬全，1988：50）。

火山區河川比流量一般比其他地區大，大屯溪和公司田溪的比流量分別爲10.60CMS／100Km^2、11.22CMS／100Km^2（楊萬全，1988：56），臺灣十大河川的比流量平均爲6.57CMS／100Km^2（楊萬全，1988：64），顯示一般火山區的逕流量較多，蓋因安山岩多裂隙，火山碎屑岩、火山灰透水性佳源流區的地下水天然補注量多。本區大屯溪的天然補注量達1.39mm／day（楊萬全，1993：319），公司田溪的天然補注量更高達3.41mm／day。

㈣土地利用

土地利用型態對地下水滲漏補助，具有極大的影響，根據野外調查並對照土地利用圖，將本區的的土地利用歸納爲稻田、茶園、林地、草地、沙洲及聚落等六種類型（圖4），其中以林地和水稻田的土地利用佔大半面積以上，而滲透性最差的聚落用地僅佔少數，顯示本區植被地、水敷蓋地、水田地等高滲透性的區域，提供較高的蒸發散量，有助於雨水、灌溉水等水源滲漏，補注地下水源。

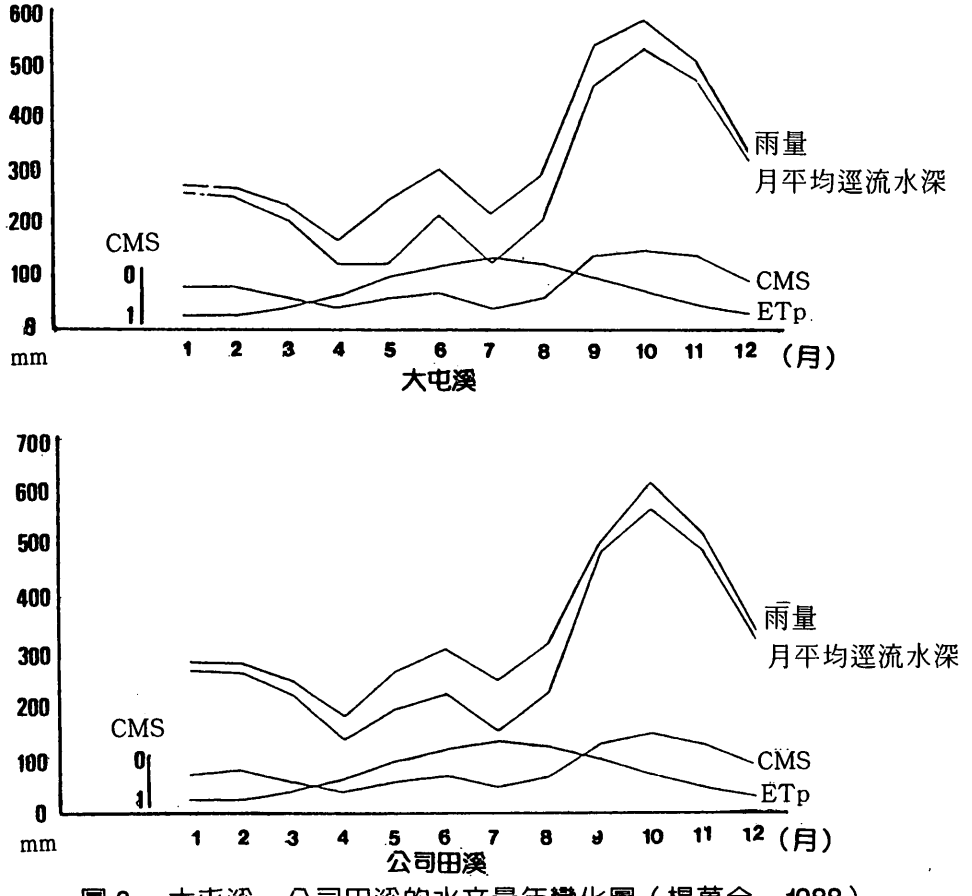


圖3　大屯溪、公司田溪的水文量年變化圖（楊萬全，1988）

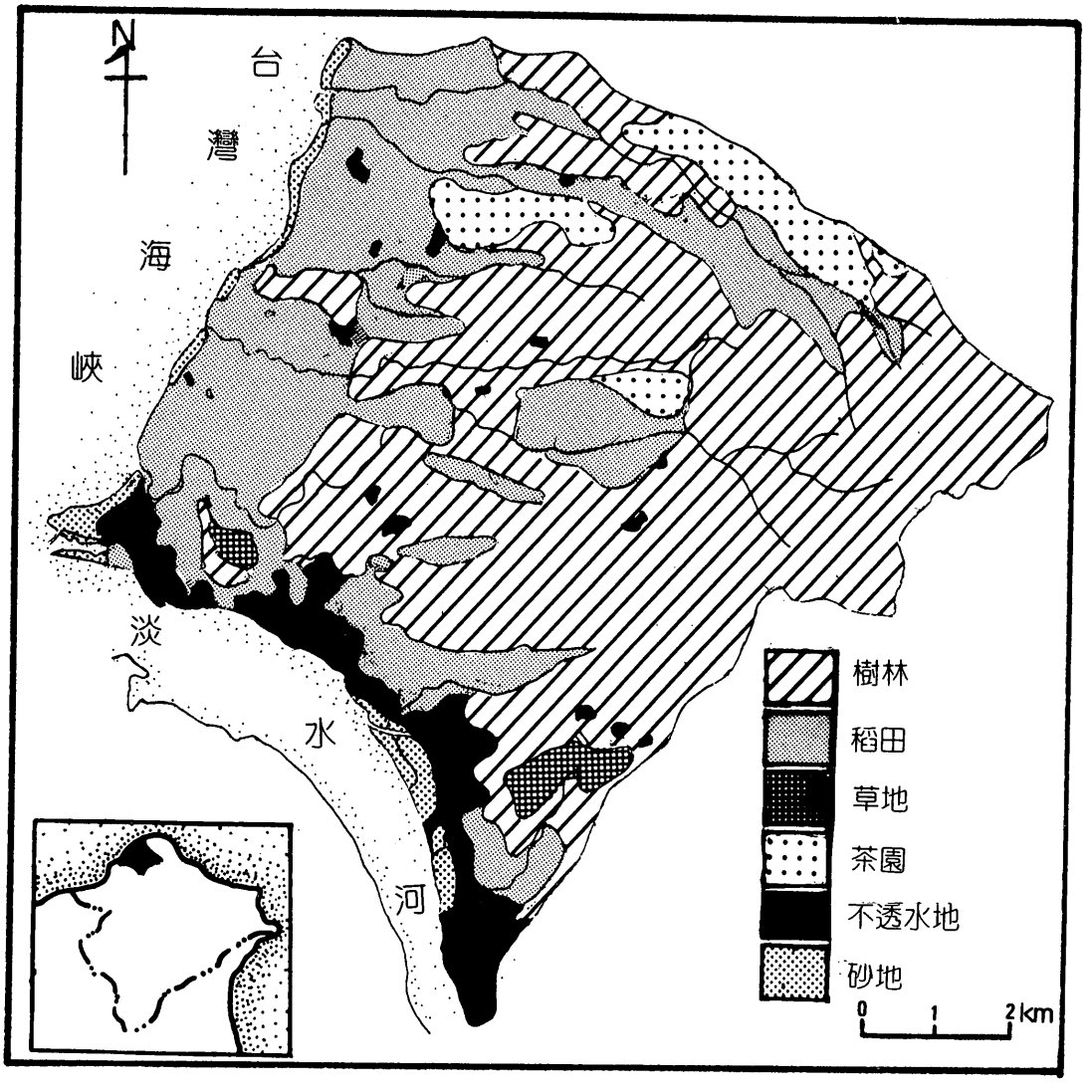


圖 4　大屯火山西南坡面土地利用

三、地下水流動體系

㈠湧泉的分布及其特性

1.湧泉的水文學特性

湧泉之定義衆說紛紜，山本（1983：46）很簡潔地定義湧泉是指『可看見水自然地由土壤或岩石中湧出，是地下水的露頭』，可見湧泉爲地下水存在的最初證據。樋根勇（都筑守，1990：97）提出『火山的地下水強烈地受到當地的條件所支配，匯集廣大地區的水之後，以點湧出是其主要的特徵』，文中所指的「點」即是湧泉。高橋等人（島野安雄，1987：99-110）對分布在南八ヶ岳的26個湧泉作水質分析的結果顯示，證明湧泉的來源全是雨水。一般在地形、地質、水文地質條件適合的情況下，含水層或地下水

通道，直接或間接與地面溝通時，地下水便流出地表形成泉。火山地質結構通常十分複雜，因此多數火山區的的水文研究，對於水文地質結構和地下水的移動，所能得到的資訊通常有限，但湧泉是火山地區地下水流動系統的輸出形式之一，藉其水文特徵的探究，即可對於火山體內部地下水循環場提供有效資訊（Kayane，1992：137）。

泉與其供給源，若以地下水的水收支來考量，泉的湧出量決定於補注區含水層的面積和補注量，換言之，泉的集水面積A，年間補注量R，年平均湧出量Q，則$Q=A\times R$（圖5），由圖中可知，若泉的集水面積廣大，其補注量也多時，泉的湧出量就變得很大，例如圖中的例子：集水面積100ha，年間補注量315mm，則$Q=A\times R=100ha\times 315mm=10L/sec$，這個湧泉每天的湧出量爲864000L（新見治，1990：25-41），若以臺北市區每人每天500 L的使用量，則可供應 1728人次的使用。

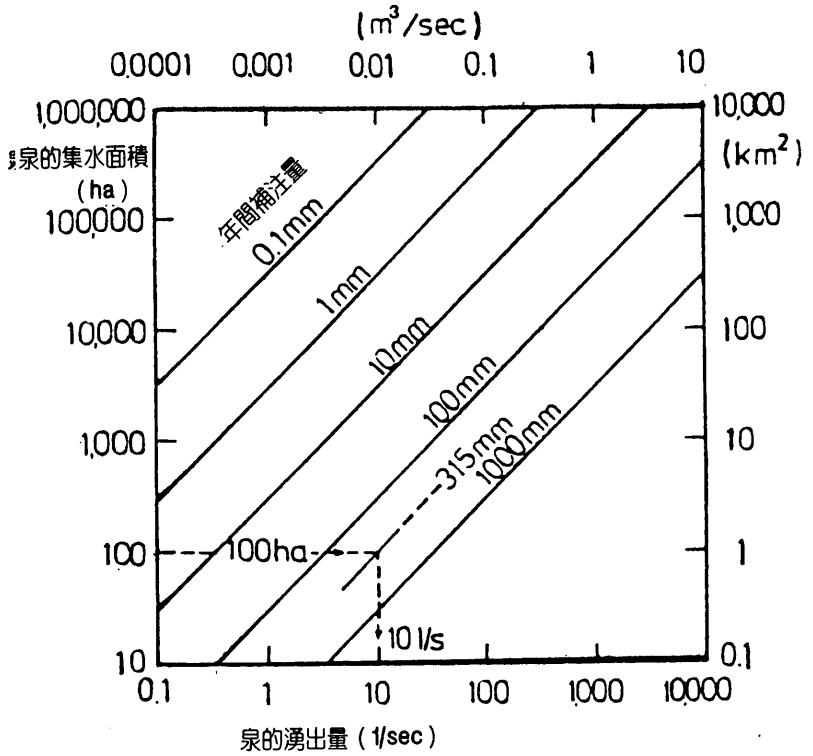


圖 5　湧泉的集水面積與平均湧出量的關係（新見治，1990）

2.湧泉的分布及其特性

在大屯山西南坡面的山麓分布爲數衆多的湧泉，調查地區內的淡水鎭和三芝鄉地區，湧泉主要作爲生活用水或工業用水，研究步驟首先調查湧泉的分布，其次測定湧泉的湧出量、水溫和電導度，最後再進行水質分析，調查結果列於表2，3。

表 2　夏季湧泉的湧泉量、溫度和電導度

編　號	地　　點	標　高	湧泉量 (CMD)	水　溫 (℃)	電導度 (μS／cm)	調查日期
1	慈雲寺後	240	241	22.0	101	820610
2	牛屎崎腳	225	2772	21.9	163	820610
3	下圭柔山溪 I	230	6202	21.9	140	820610
4	下圭柔山溪 II	231	3851	21.9	141	820610
5	大溪橋旁	172	58	22.0	157	820725
6	泉州厝 I	170	143	21.9	190	820725
7	泉州厝 II	171	34	22.0	188	820825
8	泉州厝 III	173	111	21.9	175	820825
9	泉州厝 IV	172	796	21.9	157	820610
10	白石腳 I	161	2533	21.9	182	820725
11	白石腳 II	161	4321	21.9	180	820725
12	水源橋下	160	10606	21.9	184	820725
13	紅柿腳 I	98	1651	21.9	235	820825
14	紅柿腳 II	98	1776	21.9	236	820825
15	紅柿腳 III	101	148	21.9	238	820825
16	山腳	79	3007	21.9	255	820725
17	庄子內	78	6023	21.9	253	820725
18	樟腦寮	125	2	21.9	232	820710
19	樹林口 I	175	2093	21.9	240	820725
20	樹林口 II	172	1621	21.9	240	820725
21	樹林口 III	175	167	21.9	240	821114
22	三空泉 I	125	110	21.9	265	820725
23	三空泉 II	130	1071	21.9	264	820825
24	三空泉 III	125	596	21.9	268	820725
25	小坪頂	264	268	22.0	287	820610
26	樹梅坑	101	92	22.0	—	820702
27	竹圍 I	63	91	21.9	532	820702
28	竹圍 II	60	127	21.9	501	820702

表 3　冬季湧泉的湧泉量、溫度和電導度

編　號	地　　點	標　高	湧泉量 (CMD)	水　溫 (℃)	電導度 (μS／cm)	調查日期
1	慈雲寺後	240	147	22.5	103	830202
2	牛屎崎腳	225	2874	22.5	176	830201
3	下圭柔山溪 I	230	9482	22.6	162	830305
4	下圭柔山溪 II	231	3851	22.6	158	830305
5	大溪橋旁	172	283	22.5	186	830305
6	泉州厝 I	170	222	22.5	221	830305
7	泉州厝 II	171	104	22.5	172	830305
8	泉州厝 III	173	425	22.5	174	830305
9	泉州厝 IV	172	121	22.5	171	830202
10	白石腳 I	161	2112	22.5	172	830305
11	白石腳 II	161	3807	22.5	170	830201
12	水源橋下	160	11415	22.5	189	830305
13	紅柿腳 I	98	2383	22.5	225	830305
14	紅柿腳 II	98	1661	22.5	227	830305
15	紅柿腳 III	101	65	22.5	225	830201
16	山腳	79	3247	22.5	245	830202
17	庄子內	78	6332	22.5	243	830305
18	樟腦寮	125	8	22.5	233	830305
19	樹林口 I	175	1742	22.5	231	830305
20	樹林口 II	172	1498	22.5	248	830202
21	樹林口 III	175	80	22.5	245	831202
22	三空泉 I	125	0	22.5	262	830202
23	三空泉 II	130	982	22.5	262	830202
24	三空泉 III	125	655	22.5	260	830305
25	小坪頂	264	87	22.5	277	830202
*26	樹梅坑	101	—	—	—	830202
27	竹圍 I	63	0	22.5	656	830201
28	竹圍 II	60	22	22.5	674	830201

*乾涸無法測量

(1)湧泉分布：

從1993年6月—8月以大屯山西南坡面全域爲對象，作湧泉分布調查，在經過全區域的調查訪問後發現，包括冬季會乾枯的湧泉，本調查區內可確認者共有28個，這些湧泉主要成帶狀遍布在標高60－240公尺的火山碎屑物坡面上（圖 6 ）。泉水的分布很明顯的並無均勻地分布在整個區域，其分布深受各區域地質特徵的影響。湧泉的分布有成群出現的傾向，即同區內有數個湧出口，自北而南依序有下圭柔山溪群、泉州厝群、白石腳群、紅柿腳群、樹林口群、及三空泉群等。此外，以湧泉的標高範圍來看（圖 7 ），由圖中顯示湧泉最多分布在標高175－200m的範圍內，約佔全數的40%，公司田溪中游的泉州厝群、白石腳群、水源橋下和興福寮溪上游的樹林口群等即位於此區，此與公司田溪和興福寮溪的中上游堆積廣大的火山碎屑物有關，其次是100－75m的部份，主要有公司田溪中游的紅柿腳群、虎頭山下的庄子內和山腳兩大湧泉。

(2)湧泉的特性

①湧泉量：

A 觀測地點和時間：1993年7、8月和1994年2月進行全坡面夏冬兩季的測量；並選擇10個代表湧泉實施1993年6月－1994年4月每隔兩個月的觀測。

B 觀測方法：若水量不多可以水桶量測時，則使用容積法，水量大時，則在湧泉出口附近，沿著流路選擇直線狀阻擋少的河段，採用浮標法測定表面流速，再乘以河床的橫剖面積，即可得流量。

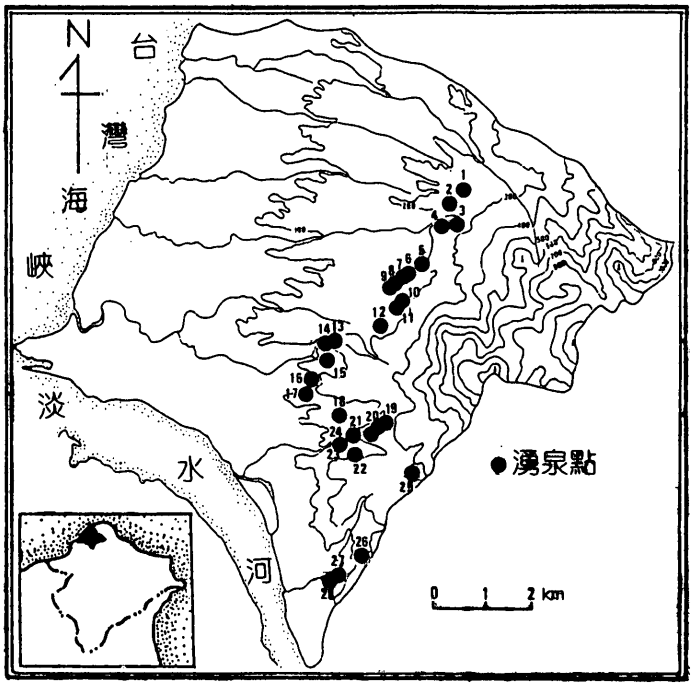


圖 6　大屯火山西南坡面湧泉分布

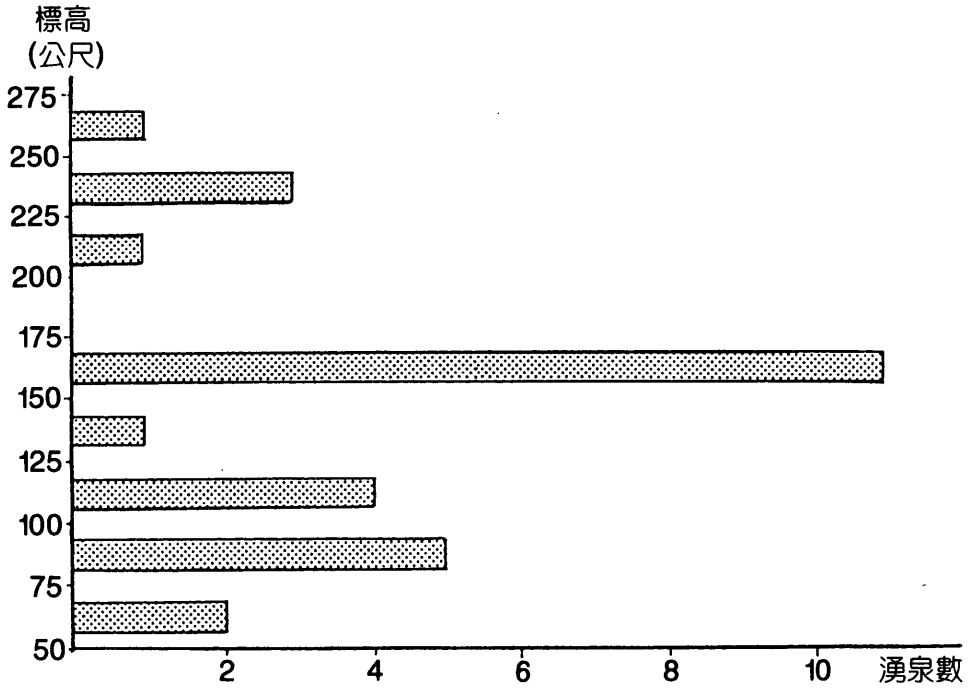


圖 7　湧泉數和標高的關係

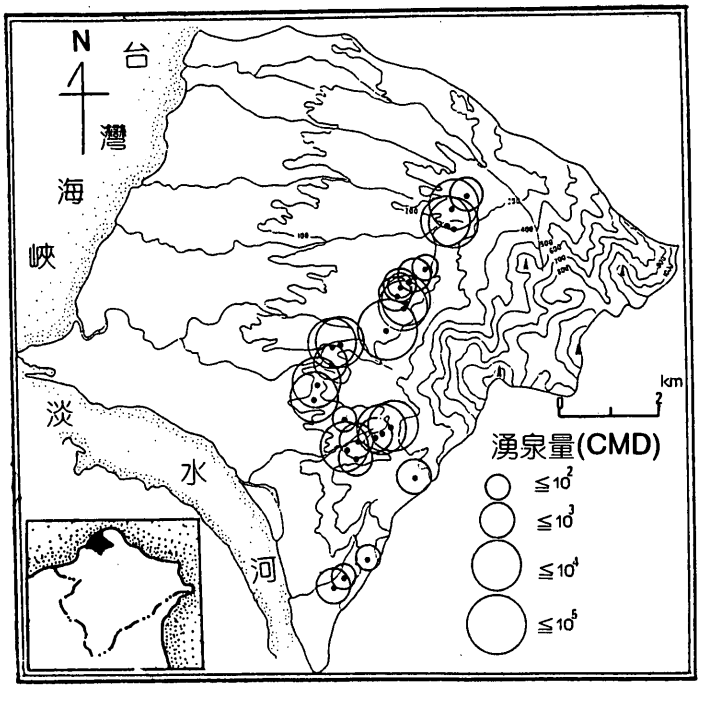


圖 8　大屯火山西南坡面的湧泉量（19930610－19940824）

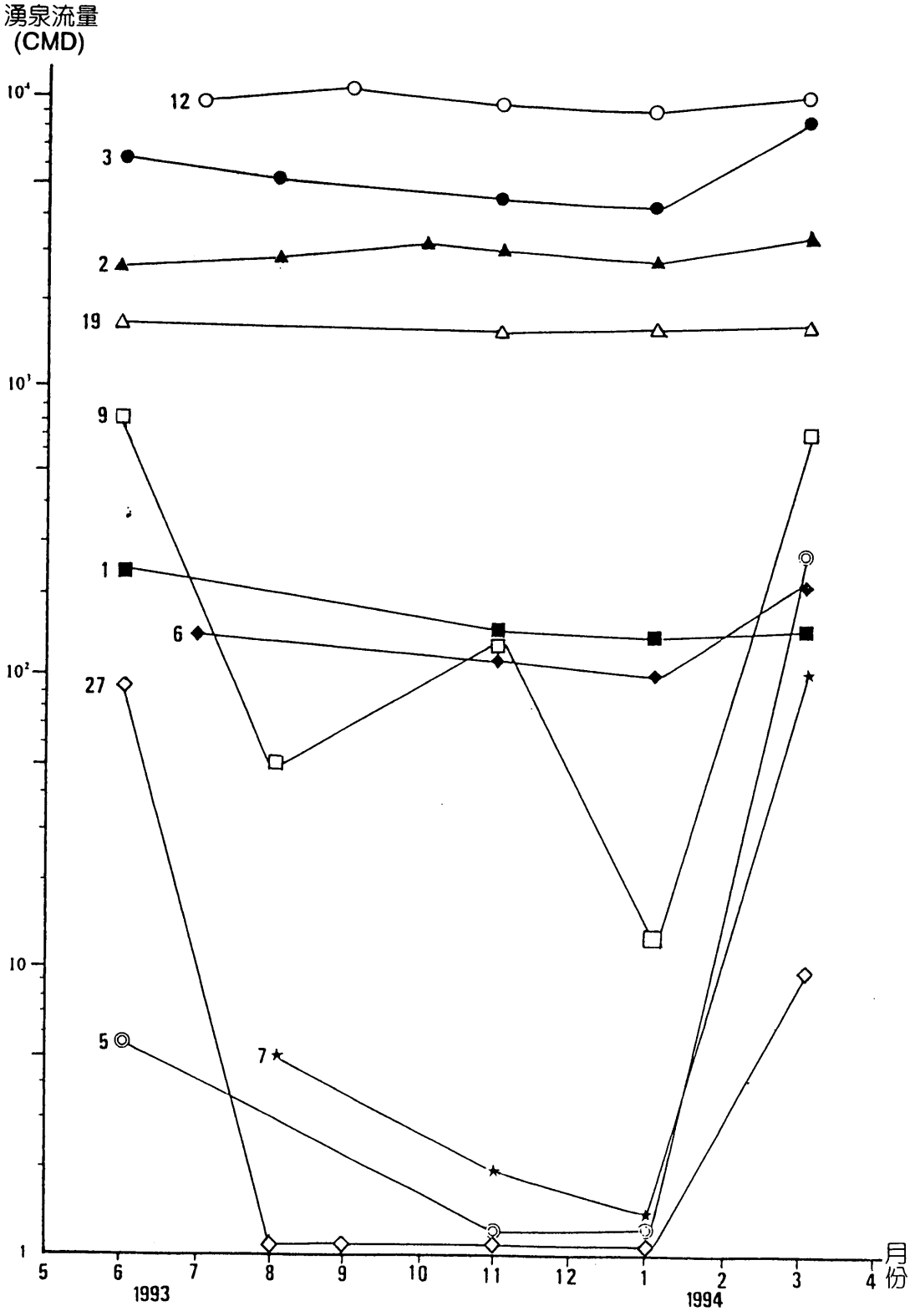


圖 9　大屯火山西南坡面湧泉量的月變化

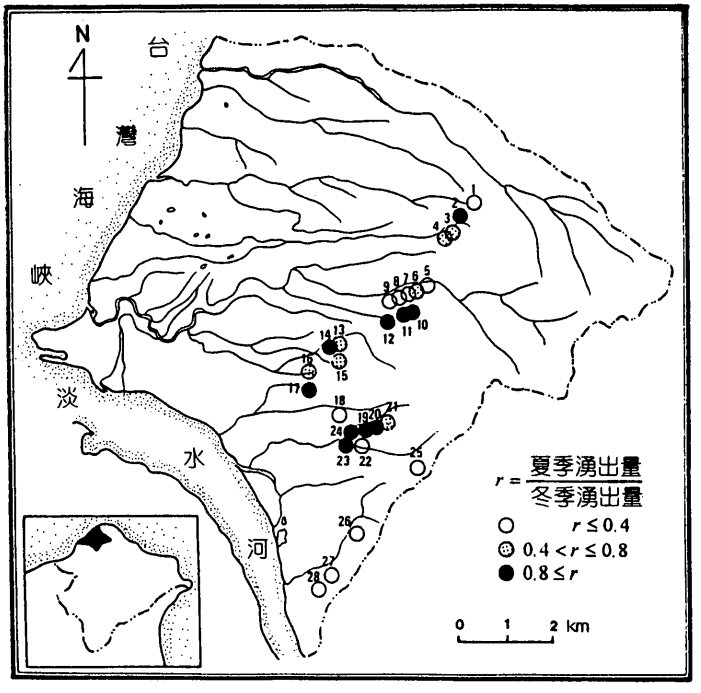


圖10　大屯火山西南坡面湧泉量的季節變化

C結果：湧泉量規模由上萬至數十CMD不等（圖8），湧出規模大的湧泉如水源橋下、下圭柔山溪群、牛屎崎腳、白石腳群、紅柿腳群、山腳、庄子內等湧泉，湧出量在上萬至數千CMD左右，全年流出量穩定變化少，相對地，湧出量小者如泉州厝群、三空泉Ⅰ、樟腦寮、竹圍群、小坪頂等湧出量約數百及數十CMD，在時間上這些湧泉易受短時間季節降雨的影響，乾季太長時會呈現乾涸的現象，湧出量變化大（圖9）。同樣的從這些湧泉冬季和夏季湧出量的比值（r），也可看出湧出規模大者比值在0.8以上，相對地，湧出規模小者，比值在0.8以下（圖10）。

②水溫和電導度：

A分析方法：在量測湧泉量時，直接在湧出口同時取得水樣利用電導度計測得溫度和電導度值，經由25℃之校定。

B結果：全數湧泉泉溫無論在夏季或冬季皆在22℃左右，顯示湧泉在流出前經過時間比較長，因此水溫非常安定（小原常弘，1990：80）。電導度全年十分安定，在空間上比水溫和湧泉量更能展現區域性，全區電導度值在140－265μS／cm之間，但呈現北部低南部高的趨勢（圖11），約略可分成南北兩群，北爲155－185μS／cm，南爲235－265μS／cm，顯然南北兩地爲不同的地下水湧出系統，將在下文詳細說明這兩個不同的湧出系統。

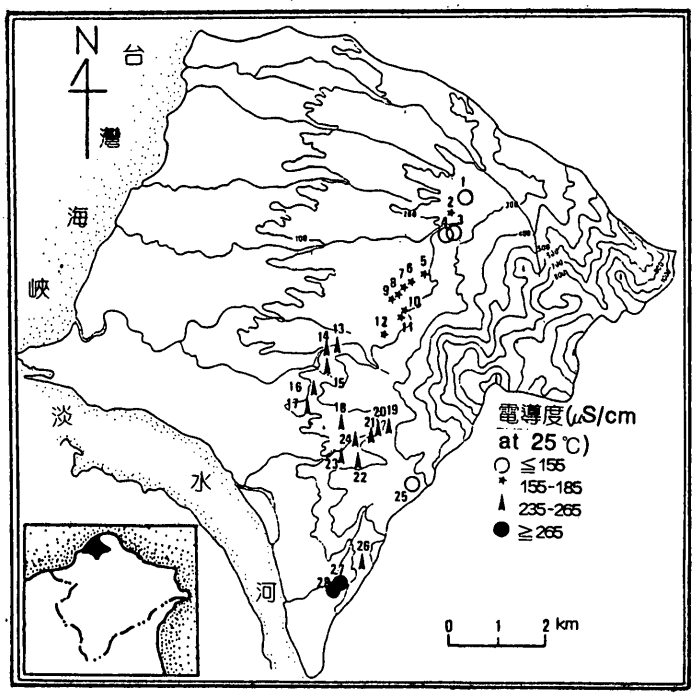


圖11 大屯火山西南坡面湧泉電導度的分布

C小結：泉的湧出規模和湧出量、水溫、電導度的變動特性有密切的關係，一般大的湧泉，湧出量變化少，水溫和水質指標安定，所以若能把握湧泉量、水溫、電導度的值及其時間、空間上的變化觀測，則將有助於湧泉起源和區域地下水流動體系的了解。

㈡湧泉之流出系統

由電導度值初步將本區的湧泉流出系統分成北部系統和南部系統，北部系統的電導度在155－185μS／cm，南部系統約在235－265μS／cm。而地下水電導度值的高低除了受地下水流距離的支配外，岩石的化學成份也是重要的影響因子，爲佐證兩種流動系統之不同，採用下列兩種方式來輔助說明。

1.湧泉距凝灰角礫岩的距離

若不論安山岩裂隙部分，直接計算各湧泉點向東距凝灰角礫岩的距離，再算出南北系統的平均距離，結果得出北部系統平均距離約0.43km，南部系統平均距離約爲2.25km（表4），顯然南北爲兩個不同的流出系統，地下水流經距離遠者其滯留時間較長，電導度值高，地下水流距離近者其滯留時間短，相對地電導度值較低。

2.地下水化學特性分析

電導度值僅能看出水中無機鹽類含量的多寡，卻無法得知各種離子成份的含量，所以必須進行較詳細的化學成份分析。地下水化學特性係於地下水與含水層礦物間接觸的久暫，礦物的種類和溶解度以及地下水位置和規模 (Love，1993：297-338)，因此，由

表 4　各湧泉離火山角礫岩區的距離及其平均距離

I 北部系統		II 南部系統	
湧泉	距離(km)	湧泉	距離(km)
慈雲寺	0.45	紅柿腳群	2.25
牛屎崎腳	0	山腳	2.2
下圭柔山溪群	0	庄子內	2.2
大溪橋旁	0.05	樟腦寮坪	1.85
泉州厝群	0.45	三空泉群	1.85
白石腳群	0.7	樹林口群	1.5
水源橋下	0.8	小坪頂軍營後	2.2
		竹圍群	4.0
平均距離	0.43	平均距離	2.25

化學物質的種類和空間分析可以看出地下水流動方向。由大屯火山西南坡面的湧泉中，選擇代表北部系統8個湧泉（NO.1－8）及南部系統7個湧泉(NO.9－15)，進行水質分析，水質分析測定項目包括陰離子的Cl^-，SO_4^{2-}，NO_3^-，HCO_3^-，和陽離子Na^+，K^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，及pH，TDS。茲將大屯火山西南坡面15個湧泉水質化學成份列於表5。

表 5　15個湧泉的化學成份

單位：mg／L

	編號		pH	TDS	HCO3－	C1－	SO42－	NO3－－N	K＋	Ca2＋	Mg2＋	Na＋
北	1	慈雲寺後	7.73	60	31.3	12.48	6.30	0.67	1.98	2.3	10.3	10.6
	2	牛屎崎腳	7.28	94	58.6	13.61	3.98	1.14	2.80	3.3	10.5	22.4
部	3	下圭柔山溪 I	7.42	92	54.1	14.75	4.80	1.60	2.31	3.4	11.3	17.0
	4	大溪橋旁	7.28	101	47.1	13.61	6.41	4.90	8.00	4.1	5.0	16.8
系	5	泉州厝群 I	7.07	101	53.5	15.88	0.96	2.42	4.30	3.9	5.2	16.8
	6	泉州厝群IV	6.91	90	53.9	15.88	5.52	1.87	3.30	3.1	3.5	16.6
統	7	白石腳群II	6.89	92	54.6	11.34	4.55	1.67	5.40	3.1	3.8	17.2
	8	水源橋下	7.04	90	59.5	14.75	4.67	1.24	3.40	3.1	3.4	16.2
南	9	紅柿腳群 I	6.80	120	73.0	5.67	5.66	2.54	3.40	4.1	6.2	18.4
	10	山腳	6.80	120	78.1	17.02	5.66	2.76	3.70	4.6	5.4	19.2
部	11	庄子內	6.83	125	79.1	17.02	6.36	2.63	4.00	4.5	5.7	19.4
	12	樹林口 I	6.81	130	80.7	16.45	6.93	2.66	7.60	4.6	6.1	18.2
系	13	三空泉II	6.83	130	89.1	14.18	7.10	2.47	4.10	4.9	7.0	19.2
	14	小坪頂	6.84	152	100.3	22.69	7.45	2.39	3.30	5.5	7.6	19.6
統	15	竹圍II	6.98	220	103.5	46.51	5.60	0.09	7.30	18.6	10.3	25.2

資料來源：委託宜蘭農工環工科化驗中心化驗

由表5中顯示湧泉的酸鹼度pH值，即水中氫離子濃度，範圍在6.81－7.73，呈弱酸至中性之間，較無區域上顯著的差異。總溶解固體（TDS）又名過濾性殘留物（filtrable residue），會隨著地下水流動距離的增加而增加，南部系統湧出之地下水流經過程遠，流動時間長，所含的溶解物質較多，南部系統（NO.9－15）TDS的值顯然高於北部系統（NO.1－8）。大氣及火山氣體中均含有二氧化碳氣體，溶解於水中形成碳酸（HCO_3^-）（內政部營建署，1987：53），HCO_3^-也和TDS相同會隨著水流動距離增加而濃度增加，南部系統TDS的值也是高於北部系統。氯離子（Cl^-）除非受到人為污染的影響，一般狀態下為安定成份（山本莊毅，1966：95），不受流動距離而有所改變，竹圍II湧泉（NO.15）的氯離子重量濃度高達46.51mg／L，與附近有一處軍事基地有關。硫酸根離子（SO_4^{2-}）在南北系統分布上差異甚微，氨一氮（NO_3^-—N）和肥料的污染較有關係，大溪橋旁的湧泉（NO.4）湧出地點恰好在農田之中，受到農田肥料污染的影響很大。陽離子當中，$Na^+ + K^+$的比例會隨流動距離而增加，$Ca^{2+} + Mg^{2+}$則恰好相反（山本莊毅，1966：95），這些離子濃度值雖南北差異不大，但仍可約略看出南北不同的趨勢。

化學分析所得的結果為重量濃度，換算為當量濃度後，以Key diagram和Hexa diagram兩種水質圖表示，以Key diagram說明地下水質的水質組成概況，再以Hexa diagram表示水質分布的地區差異。

1. triliner diagram或key diagram（楊萬全，1983：108）

此法為Piper於1944年發表的水質圖，分別計算$Na^+ + K^+$，$Ca^{2+} + Mg^{2+}$、Ca^{2+}、Mg^{2+}、$CO^{2-} + HCO_3^-$、$Cl^- + SO_4^{2-}$、Cl^-、SO_4^{2-}等的當量濃度（epm）佔各該陰離子、陽離子和的百分比，然後點繪於水質圖上；水質圖是由一個菱形圖及陽離子、陰離子三角圖各一個所組成（圖12），菱形圖中50%為界分為Ⅰ—Ⅳ區，每一區代表的水質如下：

Ⅰ區為carbonate hardness，以$Ca(HCO_3)_2$為主，正常淺層自由地下水、雨水、河水等在此範圍內。

II區為carbonate alkali，以$NaHCO_3$為主，正常深層受壓地下水在此範圍內。

III區為non-carbonate hardness，以$CaSO_4$或$CaCl_2$為主，農藥污染的地下水、化石水（fossil water）、火山地區地下水等在此範圍內。

Ⅳ區為non-carbonate alkali以Na_2SO_4或$NaCl_2$為主，海水或受海水污染的地下水在此範圍內。

一般而言根據Piper的水質圖，若無人為污染的影響下，火山口附近的地下水，由於受到火山性昇華物的溶出，常含有大量濃度甚高的硫化物（丸井敦尚，1993：97），因此地下水通常會位於菱形圖的III區，但SO_4^{2-}會隨著地下水流動而慢慢被分解（山本莊毅，1966：95），使濃度明顯降低。因此本區的湧泉除NO.1、2、3、15位於Ⅰ區屬於正常淺層自由地下水外，其餘皆位在II區的深層受壓水（圖13），全區的湧泉水質型態，大

多屬於Na^+—HCO_3^-型，不過也有Mg^{2+}—HCO_3^-型（NO.1）。

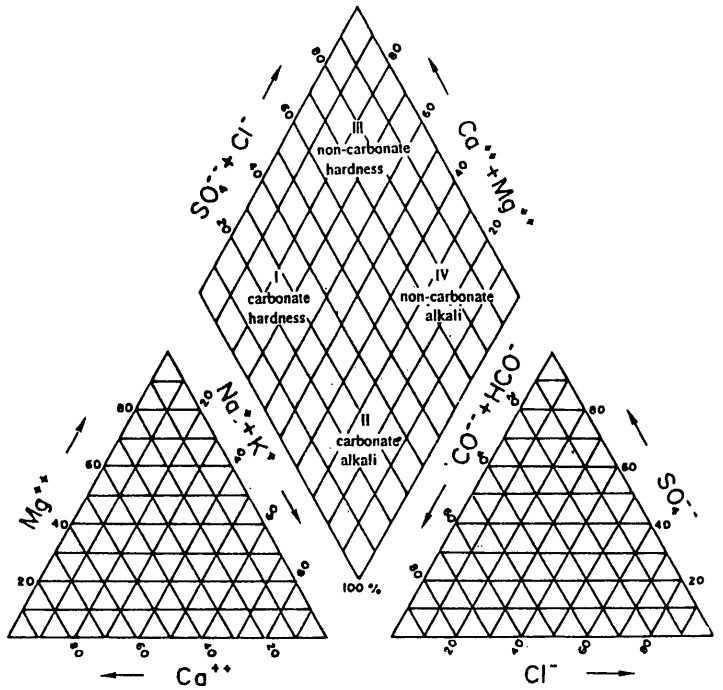


圖12　Piper的水質圖

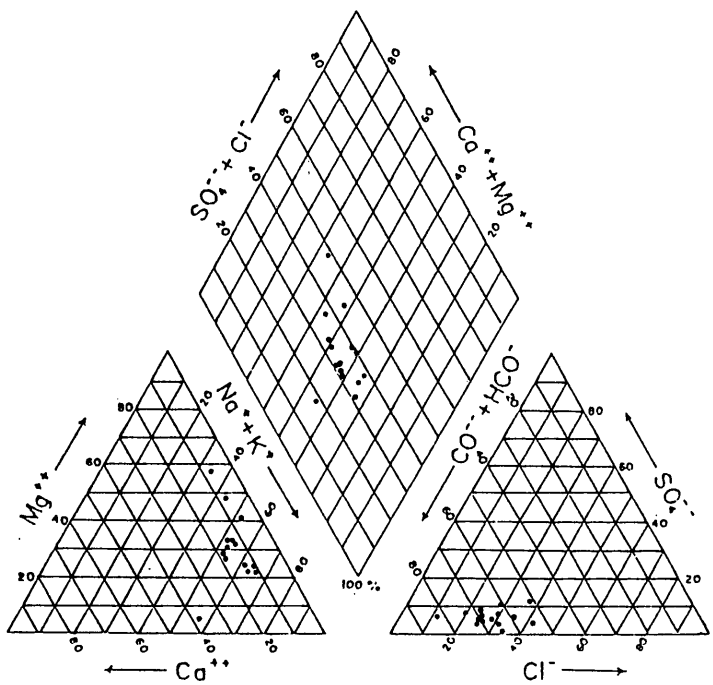


圖13　湧泉水質化驗的Piper水質圖

2. Hexa diagram（山本莊毅，1983：378）

Stiff於1951年所提出的水質圖，由三條水平軸和一條垂直軸所組成（如圖14的圖例），水平軸的右側爲Ca^{2+}、Mg^{2+}、$Na^{+}+K^{+}$三組陽離子，左側爲SO_4^{2-}、HCO_3^{-}、$Cl^{-}+NO_3^{-}$三組陰離子，與Piper diagram相同的作法，把陰陽離子的重量濃度換算爲當量濃度後，將數值點繪於三條水平軸的左右兩側，再將六點連接成一六邊圖形，不同濃度的離子組成不同形狀的水質圖，由圖形表現的形狀研判不同的水質情形，此種表現法適合作地下水域的畫分。本區的Hexa diagram明顯的表現南北系統的水質組成圖形（圖14）。

㈢地下水位的分布與變化

由於火山碎屑物和熔岩的互層，降下的雨水容易入滲到地下形成地下蓄水池，在火山體內部貯留移動後湧出，未湧出部分繼續形成地下水，因此湧泉可謂是扮演調節火山體內部地下水貯留量的角色。本節即著眼於湧泉區以西的地下水流動體系。

開口式淺井調查主要在有效掌握水位的可觀測點，由水位觀測不僅可了解地下水流動的狀況，例如補注區來源、流出區，也可看出水源分布概況。由於本區離泉水區遠，自來水又不普及，所以家家戶戶幾乎皆開挖開口式淺井，以供平時家庭一般生活用水。水井調查範圍爲湧泉區以西無自來水供應的地區，全部共調查55餘口的開口式淺井，水位測量工作在1993年8月和1994年2月分別進行兩期，以便掌握地下水流動時空上的變化。

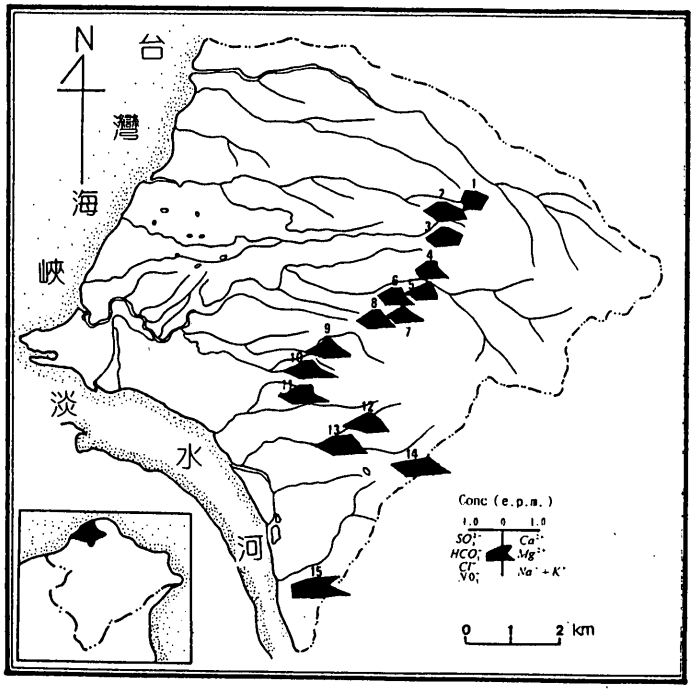


圖14　湧泉水質化驗的Hexa水質圖

由於本區全年降水各地和季節分配不均，地下水位變動受其重大影響，從枯水期和豐水期兩次調查結果所繪成的地下水流網圖（圖15、16）得知，在空間上本區的地下水

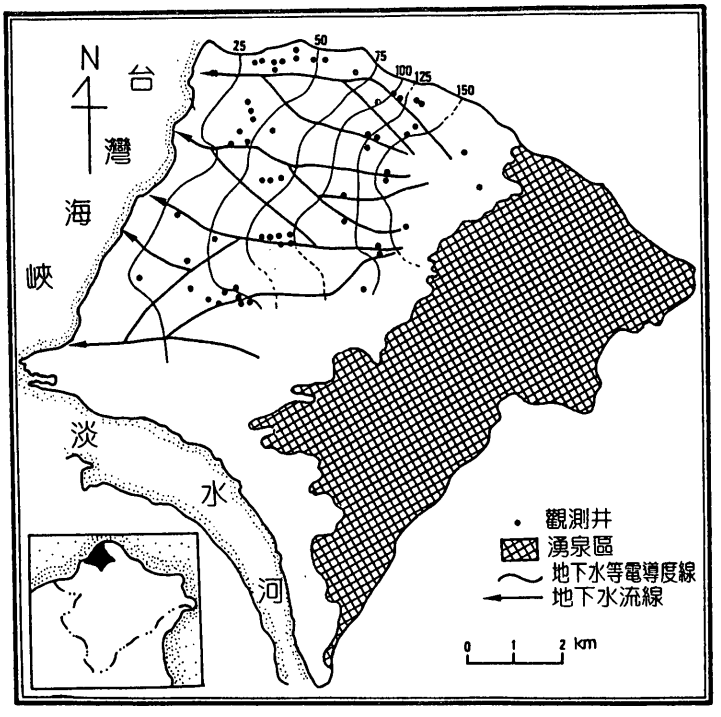


圖15　82年7、8月地下水流網圖

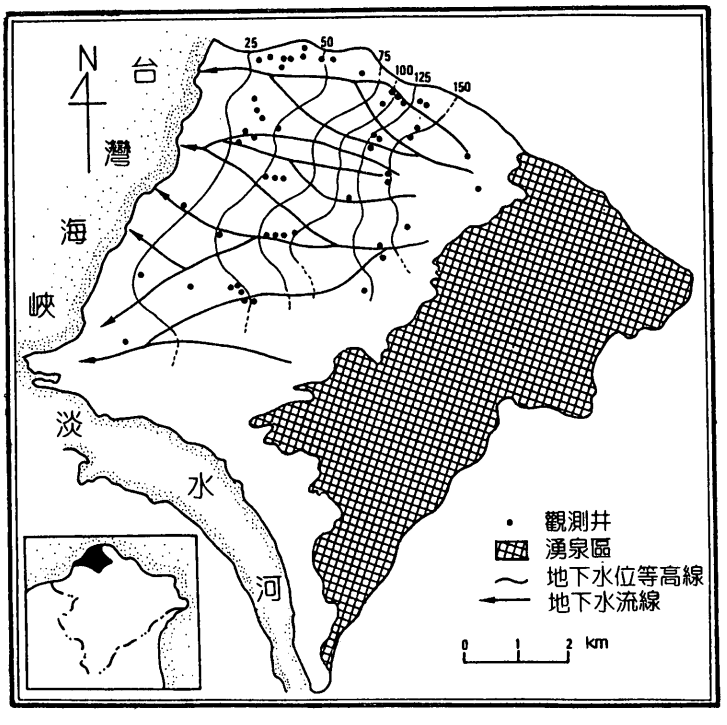


圖16　83年2月地下水流網圖

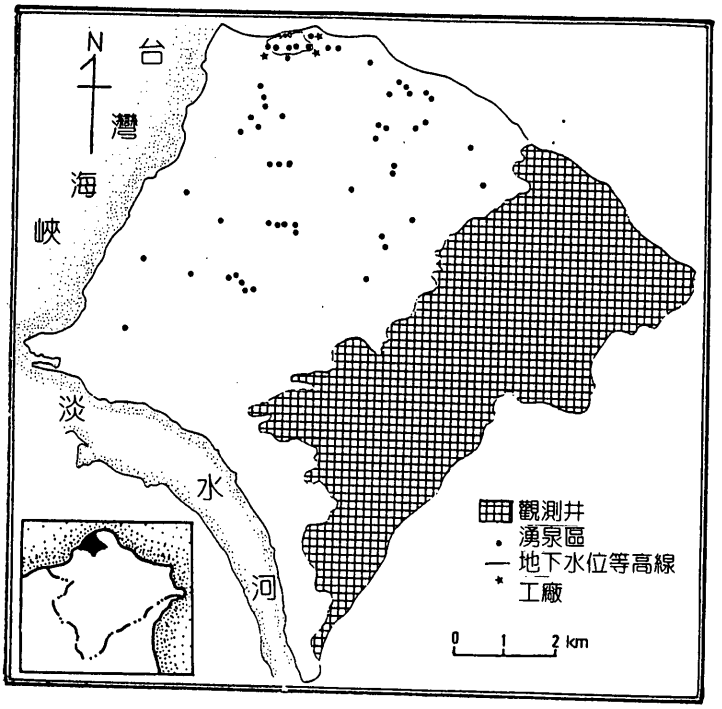


圖17　82年7、8月地下水電導度分布圖

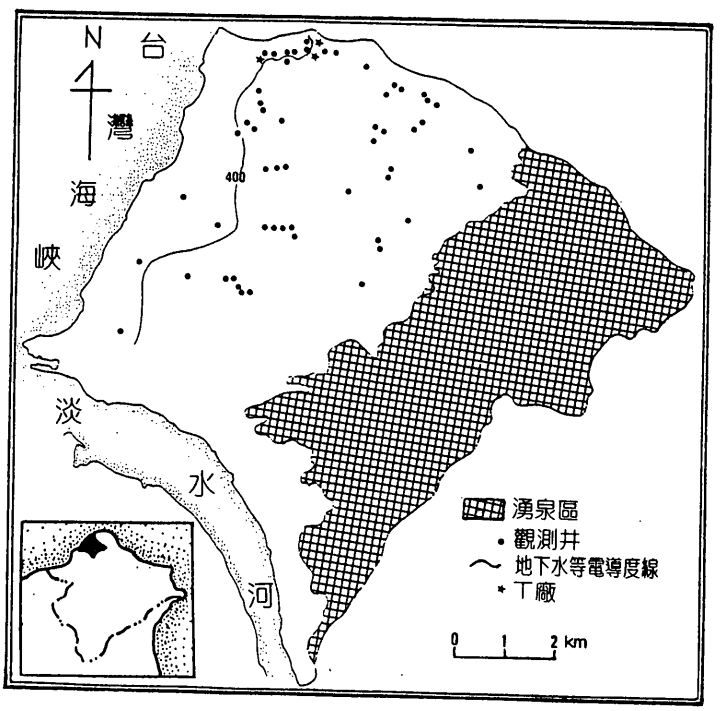


圖18　83年2月地下水電導度分布圖

主要由東北及東側往西及西南流動，地下水的補注主要來自東北側大屯溪及東側公司田溪的滲透補注。在時間上冬季受東北季風之影響，降雨較爲豐沛，所以雨水入滲多，一般而言，10月至翌年2月降水量較多，地下水的高水位期也出現於這個時期，7、8月是降水量較少的時期，對應呈現地下水位較低的情形，全區的冬夏地下水位變動量[1)]，約在1－3公尺左右。

㈣地下水電導度的分布與變化

在觀測地下水位時，同時進行以電導度計測，水源取樣於開口式淺井，目的在量度溶於水中的無機鹽類，以預知水中鹽分總量的概值。在空間上，大部分水井的電導度在150－400μs/cm之間，電導度值有由東向西逐漸增加的趨勢，可能與離補注區之距離遠近和西部靠海有關，值得注意的是在北部大屯溪下游的北側，夏季時電導度在500μs/cm以上（圖17），異常高於其他地區，根據筆者初步調查訪問結果，可能是受到鄰近工廠的污染。冬季時受到降雨的稀釋，電導度值下降至400μS／cm左右，與沿海地區的電導度值相近（圖18）。

㈤地下水流動量

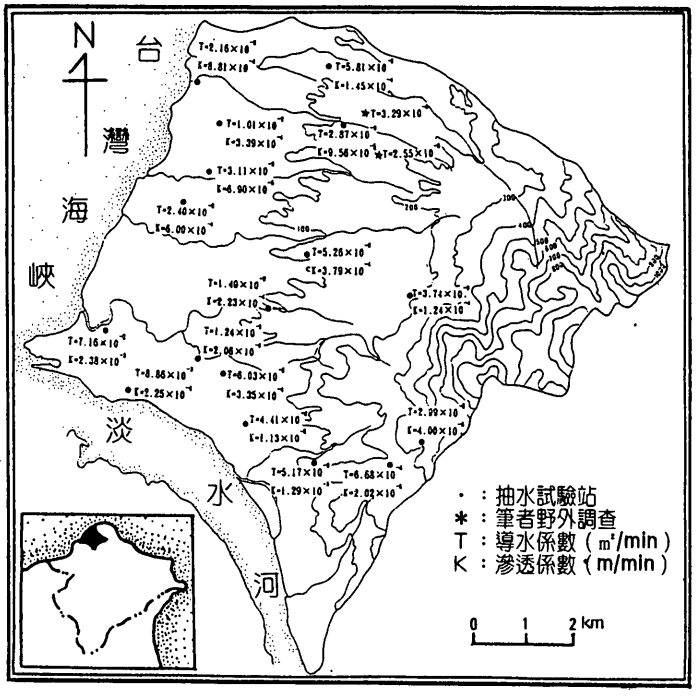


圖19　地層係數分布

藉由深井的地層剖面資料比對抽水試驗所得之地層係數（圖19），採用戴西定律中地下水流動量的應用公式（楊萬全，1981：37-50）

---

1)地下水位變動即豐水期減去枯水期的地下水位差。參見徐達蓉（1982）：台中港特定區的水資源研究，台灣師大地理研究所碩論。

$$Q=TWI\ (I=\frac{dh}{dL})$$

式中　Q—地下水流動量

T—導水係數，採100m－50m水位等高線附近的導水係數平均值

W—水流幅寬，採75m等水位線之流幅

I—水位坡降

dh—水位差，100m－50m水位等高線之水位差

dL—水流距離，100m－50m水位等高線之平均距離

由冬夏兩季資料所計算的結果得知，夏季的地下水流動量顯然少於冬季（表6），與季節的氣候變化趨勢大致雷同。

表6　夏冬兩季的地下水流動量

時期	T(m／min)	W(m)	dh(m)	dL(m)	Q(m^3／day)
82.07–08	0.0236	7500	50	1600	21046
83.02	0.0236	7500	50	1500	22449

資料來源：整理自圖15、16、19

四、地下水流動機制與水平衡

㈠、湧泉分布與地形地質

湧泉的分布和其湧出量反應火山體內部地下水的流動狀況，所以火山的地形地質構造和地質構成物質，強烈地影響火山地區的水文特性（丸井敦尙，1993：91），因此地質調查爲火山區地下水研究的必要工作之一（山本莊毅，1983：91-99）。

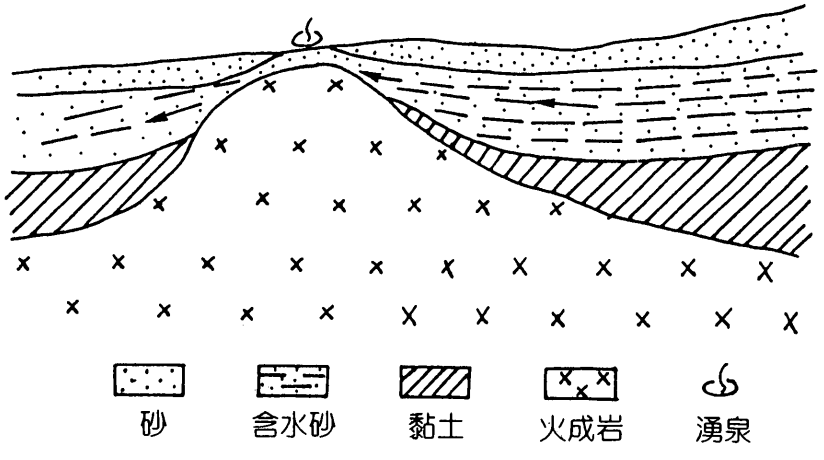


圖20　湧泉的形成原因（王德明，1985）

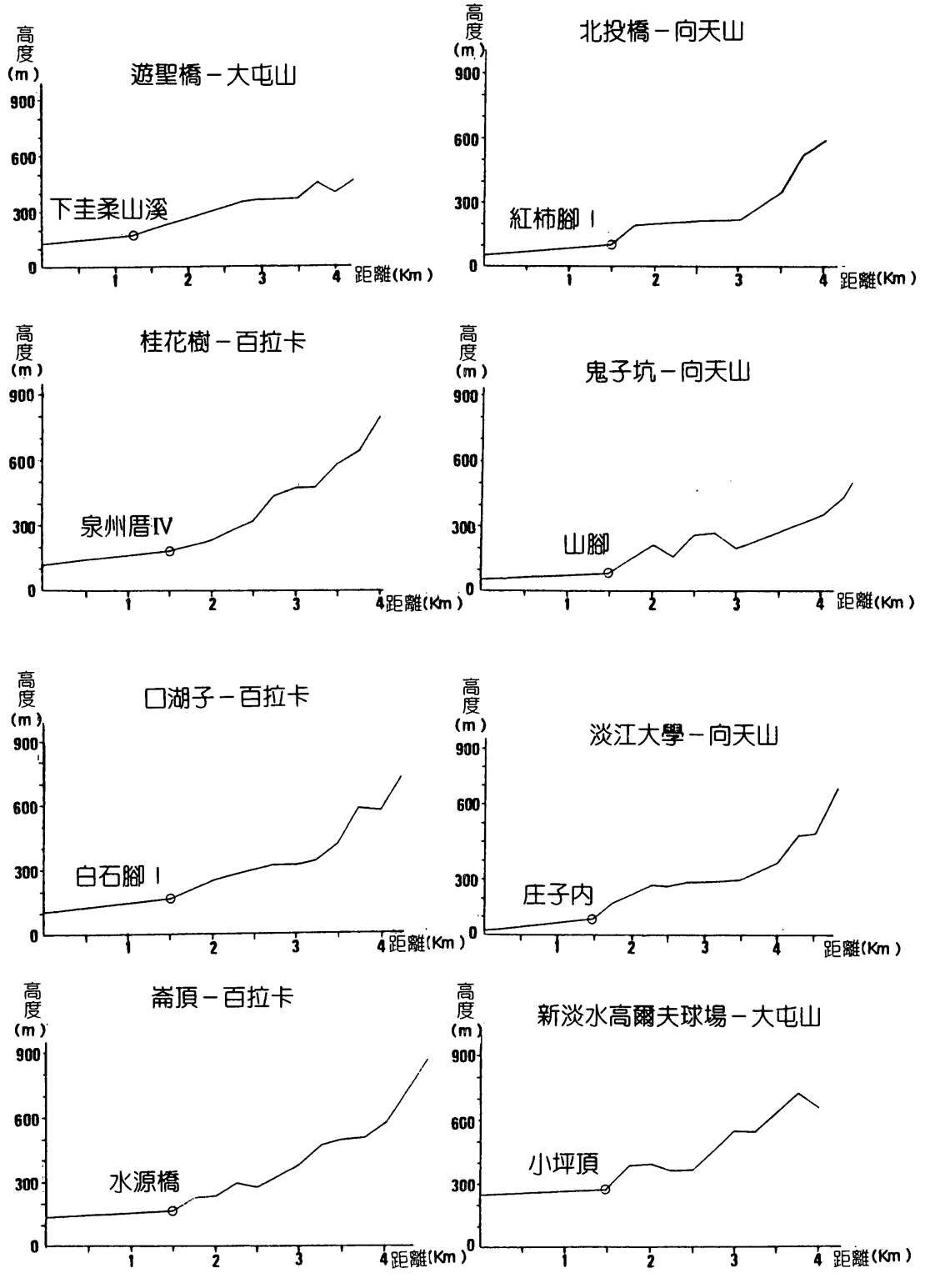

遊聖橋－大屯山
高度(m)
900
600
300
0
下圭柔山溪
1
2
3
4
距離(Km)
北投橋－向天山
高度(m)
900
600
300
0
紅柿腳Ⅰ
1
2
3
4
距離(Km)
桂花樹－百拉卡
高度(m)
900
600
300
0
泉州厝Ⅳ
1
2
3
4
距離(Km)
鬼子坑－向天山
高度(m)
900
600
300
0
山腳
1
2
3
4
距離(Km)
口湖子－百拉卡
高度(m)
900
600
300
0
白石腳Ⅰ
1
2
3
4
距離(Km)
淡江大學－向天山
高度(m)
900
600
300
0
圧子內
1
2
3
4
距離(Km)
崙頂－百拉卡
高度(m)
900
600
300
0
水源橋
1
2
3
4
距離(Km)
新淡水高爾夫球場－大屯山
高度(m)
900
600
300
0
小坪頂
1
2
3
4
距離(Km)

圖21　地形剖面圖

火山體噴出時期與噴發位置的差異，使噴出物質構成不連續的地質，岩漿分期噴發，後期熔岩覆蓋於前期的上面，兩個不同時期的熔岩層之間可能會夾雜著沈積岩層、凝灰岩層或是風化之半固結岩，這些夾層如果厚度及延展均很優良的時候，則會形成含水層。因此一般在山麓的範圍內火山砂礫和熔岩，形成含水層，泥流、集塊岩、凝灰岩等爲難透水層，所以不同時代火山噴發物的交界面及其基盤的凹地末端部最易見到湧泉的出現（山本莊毅，1983：91）。因此當雨水、河水或雪水等經由覆蓋層的凝灰角礫岩空隙或安山岩裂隙滲入地下，可能成爲中間流流出，也可能繼續下滲形成地下水流，於下滲過程中遇到透水性較差的火成岩或水成岩時受阻而成水平流，兩者透水性不同，在其交界面附近易形成泉水（圖20），在山麓地帶最爲明顯（楊萬全，1980：82）。

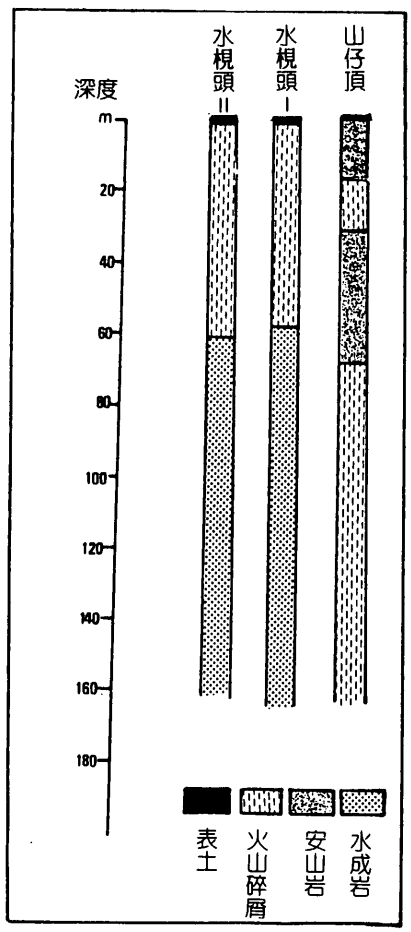


圖22　大屯火山西南坡面地質剖面圖

爲了了解本區湧泉的產生與地質地形的關係，在地形上，選擇下圭柔山溪、泉州厝IV、白石腳Ⅰ、水源橋下、紅柿腳Ⅰ、山腳、庄子內、小坪頂等8個代表湧泉，作由東向西的地形剖面（圖21），由剖面圖中顯示，本區湧泉帶形成於坡折點240－60m的範圍處。在地質上，爲了解火山噴發物的地層構造與原地面之關係，選擇本區最大的湧泉一位於水梘頭的水源橋下，於其附近及東西兩側，共實施三點的地層電阻探測（圖22），並印證圖20湧泉之形成原因，由地層電阻探測及附近地層剖面資料研判的結果得知，透水性佳的火山碎屑物地層，並無出現在湧出點附近薄、東西兩側厚的現象，顯示本區的湧泉並未出現在基盤（中新世沈積岩）和火成岩交界處的火成岩中，推測應是不同時代火山噴發物，由於上下岩層透水性的差異，導致在其交界面易形成泉水。

(二)、湧泉分布與河川源流

1.湧泉分布與河川等級

島野（1987：102-104）在調查日本阿蘇火山口和周圍火山碎屑物覆蓋區的湧泉分布時，發現河流等級組成特徵和湧泉分布之間密切的關係，此爲火山區重要的水文特性之一。從島野的研究中存在阿蘇火山地區的湧泉至少超過1500個，大約是每三平方公里有一個湧泉，高度400－600m之間範圍爲湧泉分布密度最高的地區，由河流水系網中得知，很多河流的水量來源與湧泉有密切的關係。本研究區據筆者調查結果約有28個湧泉，平均湧泉密度大約也是三平方公里一個，與日本阿蘇火山地區的值相當。較高的湧泉密度集中在175－75m的標高範圍內，這與公司田溪和

興福寮溪之間廣大的火山碎屑堆積物有關。

河谷壁、河谷底部或河谷的源頭，常可發現湧泉的存在，本區的湧泉位於河川一級水系者約佔40%（圖23）；在長期乾旱後，位於二級水系的湧泉也常成爲河川源頭的開始。在一些含有多孔性和透水性佳地層的緩坡高地上，因爲透水性甚佳，使得大多數的降雨滲透到地底下，形成地下水，導致在整個坡面的高地地表，河川的直接補注率低，形成低密度的河系。然而較大的入滲率意味著本區地下水流動量佔很大的比例，亦即說明火山碎屑物和熔岩流具有優良的水儲存能力，所以很多河流流量來源和湧泉有關（Kayane，1992：53-54）。

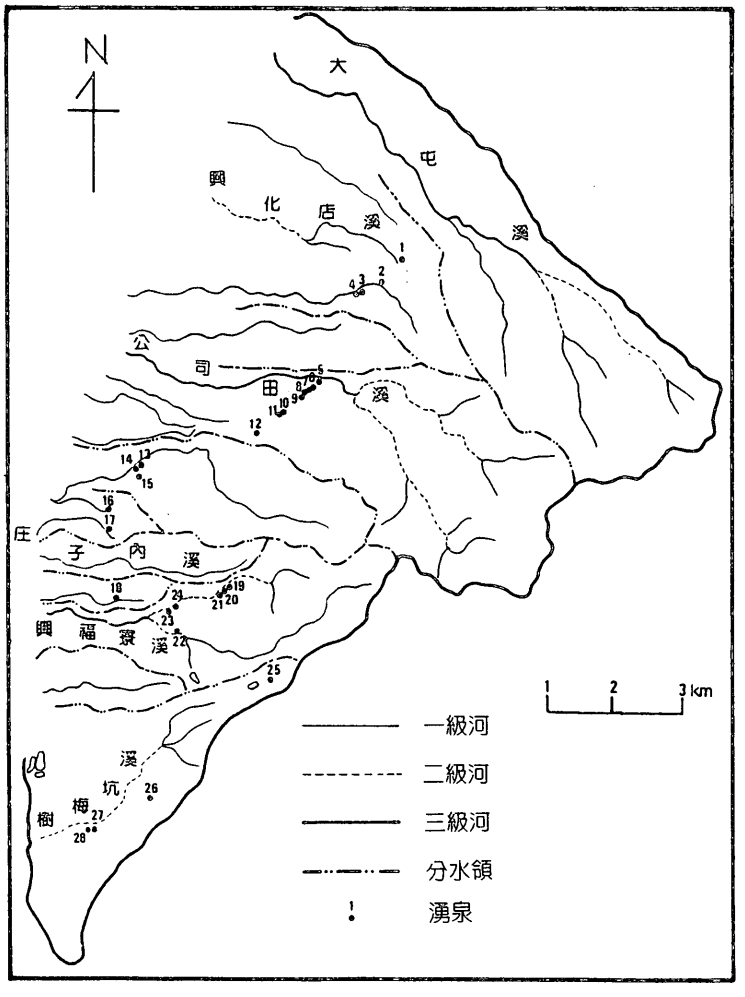


圖23　大屯火山西南坡面湧泉與河川源流

根據史崔拉（A.N. Strahler）河流等級區分法，本區湧泉與所屬河流等級的關係見表7，慈雲寺後的湧泉位於興化店溪的一級水系上；牛屎崎與下圭柔溪源頭二個湧泉同屬下圭柔溪的一級水系；公司田溪擁有數目最多的湧泉，泉州厝群、白石腳群位於三

級水系，水源橋下、紅柿腳群、山腳爲一級水系；庄子內水源地和樟腦寮爲庄子內溪一級水系；興福寮溪上游的樹林口群、三空泉群則爲二級水系；樹梅坑和竹圍群屬於樹梅坑溪的二級水系；至於小坪頂軍營後的湧泉則無明顯歸屬的河系。

表 7　湧泉與河川源流等級

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
地點	慈雲寺後	牛屎崎腳	下圭柔溪 I	下圭柔溪 II	大溪橋旁	泉州厝 I	泉州厝 II	泉州厝 III	泉州厝 IV	白石腳 I	白石腳 II	水源橋下	紅柿腳 I	紅柿腳 II	紅柿腳 III	山腳	庄子內	樟腦寮	樹林口 I	樹林口 II	樹林口 III	三空泉 I	三空泉 II	三空泉 III	小坪頂	樹梅坑	竹圍 I	竹圍 II
所屬河流	興化店溪	下圭柔山溪	下圭柔山溪	下圭柔山溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	公司田溪	庄子內溪	庄子內溪	興福寮溪	興福寮溪	興福寮溪	興福寮溪	興福寮溪	興福寮溪		樹梅坑溪	樹梅坑溪	樹梅坑溪
河流等級	I	I	I	I	III	III	III	III	III	III	III	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II	I	II	II	II

2.火山體水文學分區：

山本（1970：267-282）研究富士火山體的水文概況時，即指出位於濕潤地區的層狀火山，依照水文學的觀點大致可將火山體區分爲山頂補注區、山腰補注區、山麓湧泉區三區（圖24），富士山高3776公尺，山頂終年白雪覆蓋，係玄武岩的層狀火山（strato volcano of basaltic rock），從山頂到2000公尺爲山頂補注區（upper recharging zone），雖然多積雪，卻係無水域，此區坡陡，植被少，多新熔岩，船底狀谷地發達，積雪融雪後多入滲地中不流出地表，所以地面看不見水流；2000－700公尺爲山腰補注區（middle recharging zone），爲缺水域，其坡陡，有樹林，有谷頭多深谷，雨水由谷底或地表入滲，有小的湧泉；700－800公尺以下爲山麓湧泉區（spring zone），屬豐水域，多湧泉，多湖泊，有常流河等。在本區大屯火山也是層狀火山，根據湧泉與河川源流的關係，大致也可將大屯火山西坡面依照水文學的觀點區分爲三區，大致以標高800公尺以上爲山頂補注區，主要由安山岩熔岩流所覆蓋，坡度陡，植被以草類爲主，雨水由地表入滲到地下深層儲留；800－240公尺爲山腰補注區，坡度變爲較緩，有樹林，地質上由安山岩熔岩流及玄武岩熔岩流和火山碎屑物所覆蓋，有大屯溪和公司田溪谷地源頭，爲放射狀水系的源流區，雨水由谷底和地表入滲形成地下水；240公尺以下逐漸出現湧泉，175公尺以下分布最廣，形成山麓湧泉區，除了下游河谷爲現代沖積層及沿海有部分沙丘外，幾乎皆爲火山碎屑物所覆蓋，這些湧泉多數成爲常流河

的源頭（表 8 ）。此種以水文學觀點區分的火山水文分區，在其他地區的層狀火山大概都可看到。

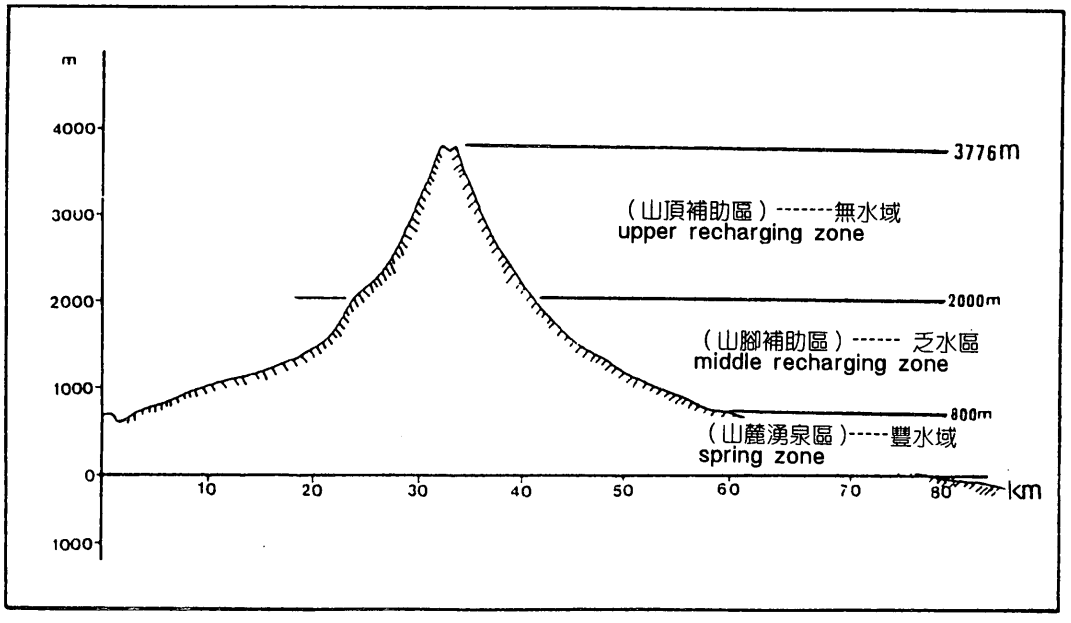


圖24　富士火山體的水文學分區（山本莊毅，1970）

表 8　大屯火山西南坡面和富士火山體水文學分區之比較

	西南坡面(1081公尺)	富士山體(3776公尺)
山頂補注區	山頂－800公尺	山頂－2000公尺
	傾斜急、植被少	傾斜急、植被少
	安山熔岩覆蓋	新期熔岩覆蓋
	雨水由地表入滲	積水，雪水由地表入滲
山腰補注區	800－240公尺	2000－800公尺
	傾斜度緩、有樹林	傾斜度緩、有樹林
	火山碎屑、安山岩	谷頭、深谷、雨水由地
	玄武岩覆蓋、谷頭	面或谷底入滲
山麓湧泉區	240公尺以下	800公尺以下
	多湧泉	多湧泉
	有常流河	有常流河、湖泊

㈢、水平衡探討

爲了解火山區複雜的地質結構影響地下水的流動情形，選擇公司田溪的南邊源流紅柿腳三個湧泉及其南部庄子內和山腳兩大湧泉爲範圍，取其地形的封閉性及流出口狹窄，適

合作爲測定流量的控制點，依據地形分水嶺將其分爲北區和南區（圖25），藉以探討兩區補注區、補注量及流出量的關係。

北區：

此區上部主要由凝灰角礫岩和兩輝石角閃石安山岩所覆蓋，面積3.28平方公里，地面水與紅柿腳Ⅰ湧泉匯流後，稱爲公司一圳，約在標高95公尺處流出。此區年雨量爲4154mm，全年全區總雨量約爲：

$4154mm/yr \times 3.28Km^2 = 4.154m/yr \times 3.28 \times 10^6m^2 = 13.625 \times 10^6m^3/yr$

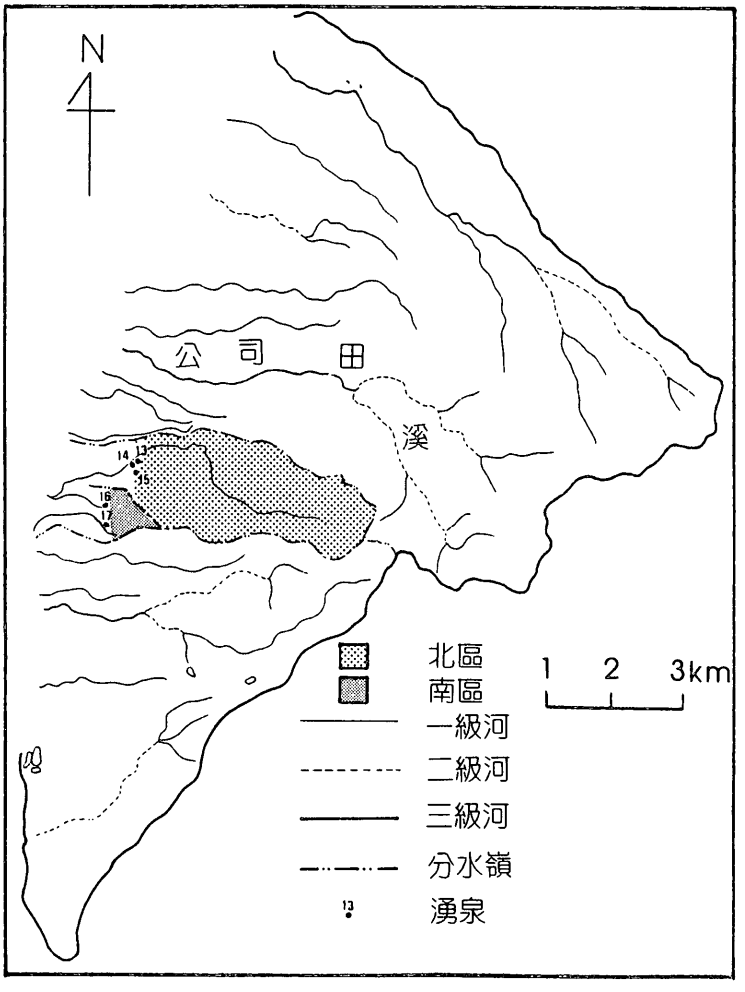


圖25 公司田溪南源流區

山區樹林茂密，扣除70%的地面逕流，餘30%爲中間流（through flow or interflow）和地下水流計算，可得補注水量爲：

$13.625 \times 10^6m^3/yr \times 0.3 = 4.087 \times 10^6m^3/yr \fallingdotseq 11199CMD$

但紅柿腳湧泉的湧泉量和溪流量在數月不雨後總水量僅3100CMD，補注量卻高達

11200CMD，即多出8000CMD以上的水源。

南區：

本區地質概況與北區相似，面積0.26平方公里，年雨量也以4154mm計算全年全區總雨量爲：

$4154mm/yr \times 0.26Km^2 = 4.154m/yr \times 0.26 \times 10^6m^2 = 1.08 \times 10^6m^3/yr$

山區樹林茂密，也扣除70%的地面逕流，餘30%的補注水量約：

$1.08 \times 10^6m^3/yr \times 0.3 = 0.32 \times 10^6m^3/yr \fallingdotseq 888CMD$

而南區山腳、庄子內的湧泉量約9000CMD，補注量卻不及900CMD，多出8000CMD以上的水源，此多出之水源只有來自北區的地下水流（表9），因層狀火山之故，水源順沿地層傾斜方向，越過地形分水嶺向南流動的結果所致。

表9　南北兩區補注量與流出量的關係

區域	面積 (km2)	降雨量 (mm)	全年全區總雨量 m^3/yr	實際補注量 (CMD)	湧泉量 (CMD)
	A	B	A×B	(A×B)×0.3	觀測量
北區	3.28	4154	13.625×10^6	11199	3100
南區	0.26	4154	1.08×10^6	888	9000

若以地下水的水平衡來考量，泉的湧出量決定於補注區域面積及其補注量，若湧泉的集水面積A，補注量R，則平均湧出量爲$Q=A \times R$，則可算出公司田溪的補注率爲：

$(9000+3100)CMD/(3.28+0.26)km^2 \fallingdotseq 3.41mm/day$

一般地區的地下水補注率約爲1 mm／day，顯示火山區地下水補注率甚高。

四、地下水流動機制綜合探討

1.湧泉流出過程

(1)裂隙流動系統

第一類型湧泉的湧出地點恰好位在安山岩熔岩流與火山碎屑物的交會點上，電導數值在150μS／cm左右，由數值顯示雨水入滲於比湧泉地高的上游地區，且流經相當淺層的岩層裂隙（圖26a），如本區慈雲寺後、下圭柔山溪源頭的兩個湧泉。

(2)局部流動系統

因爲河流下切火山碎屑物弱固結部份，形成峽谷，泉水由谷壁或谷底流出，補注區爲靠近泉水湧出地的高地地區，其性質類似於Toth（1963）所提出的地下水流動系統觀念中的局部流動系統（圖26b），本區大多數的湧泉皆屬於此種類型。

2.地下水流動機制討論

外在的水文環境—氣候、地形地質、水文、土地利用等因子對於湧泉的湧出影響甚大，例如與氣候中的降水量關係即頗爲密切，筆者在研究區觀測湧泉一年的結果顯示，

湧出規模大的湧泉（數千CMD以上），湧出量較不受短暫降雨的影響，全年的流量變動性小，流量穩定，不過由長時期觀之，仍有冬夏豐枯季節的差異；而湧出規模僅有數百至數十CMD者，則在短期數天降雨後，一星期內水量則到達最高峰，隨後再慢慢消退，趨於穩定的狀態。由1984－1993年鞍部、淡水氣候測站的降雨量資料顯示，1993年兩站分別創下近十年來最低與次低的降雨總量，導致本區有數處湧出規模小的湧泉，例如泉州厝II、IV、竹圍I及三空泉I等湧泉，在長期不雨之後，呈現近於乾涸的狀態，可見外在水文環境是影響地下水流動變化重要一環。

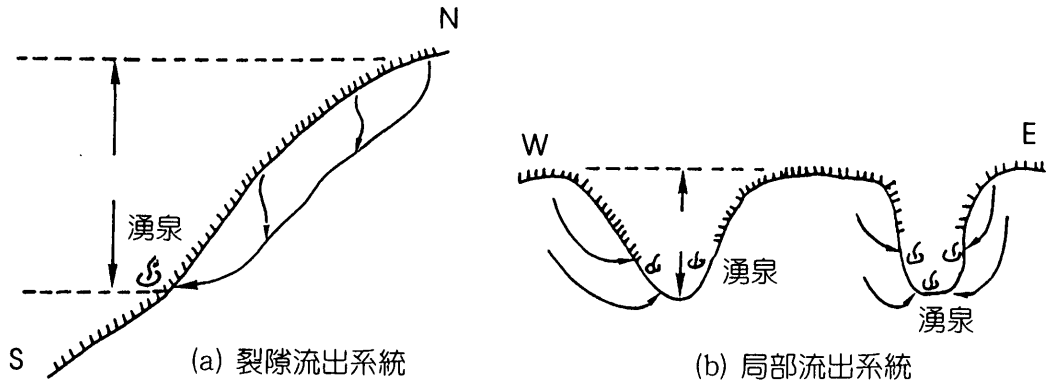


圖26　湧泉的流出過程（Kayane，1992）

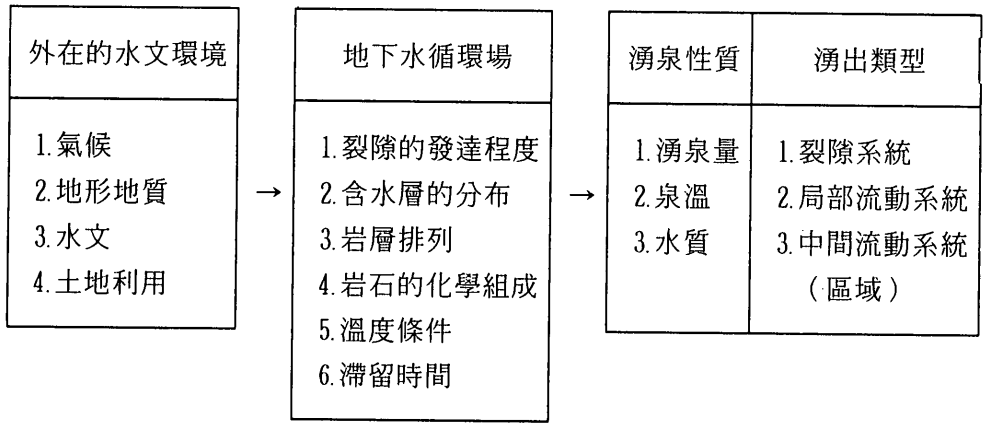


圖27　地下水流動機制

雨、雪降落地面或到達地面，除不透水的水泥地，房屋建地、柏油路面等無法入滲外，水會入滲至地中，形成土壤水或繼續下滲流入飽和帶後成爲地下水，因此地下水在地中循環時，深受地下水循環場—水文地質的影響。湧泉爲地下水輸出形式之一，由水溫、電導度和湧泉量等湧泉性質，可確定湧泉的地域性，地下水到湧泉流出爲止，其所流經岩石的裂隙發達程度、含水層分布、溫度環境、岩石的化學成分、岩層排列及地下

水的滯留時間強烈地影響湧泉性質和湧出過程（圖27）。因此山麓地帶湧泉的地域性，可想作是反應火山體構造的結果，含有湧泉地表水流資料的蒐集，可藉此明瞭火山體本身的地下水循環實況。

五、地下水資源利用的空間性

㈠水資源的分布

由於火山體的水文特性，造成水源在空間分布上的差異，大致可將本區水資源分爲三區（圖28），位於60－240m的湧泉帶，泉水爲居民生活及農業用水主要來源，湧泉帶以西除了淡水市區及其鄰近地區，可仰賴淡水供水系統的給水管線取得自來水外，其他地區一方面距湧泉帶遠，又無法得到自來水給水管線的供給，因此幾乎每戶都開挖寬口式淺井，以井水爲主要生活用水來源。河溪水在各地則扮演灌溉用水水源。

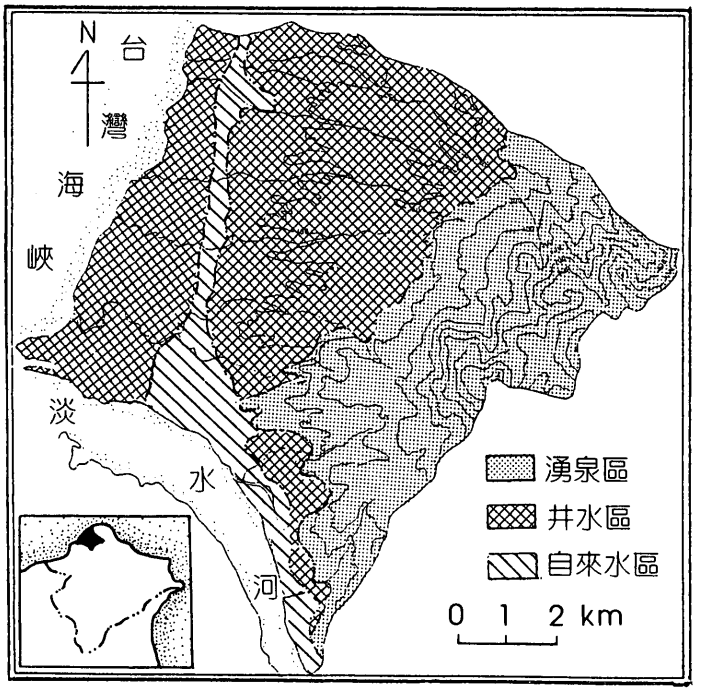


圖28　大屯火山西南坡面水資源供應系統

㈡水資源利用之空間差異

自然環境構成要素—水在空間分布上的差異，導致人類對水源的利用方式也產生差異。本區目前大多數地區仍無自來水供應，因此水源可供應的類別深受水文環境影響，爲究明這些水源利用與居民生活之關係，於是實施了用水情形的問卷調查。問卷抽樣地區的範圍包括井水區的北投里、埤島里、泉水區的水源里、忠寮里、樹興里、三芝鄉的興華村及自來水區的水碓里、鄧公里、中興里三里。根據問卷內容除填卷者的基本資料外，主要分成與居民生活較息息相關的生活用水和農業用水兩部分，希望透過162份有

效問卷的整理，得知各里（村）不用水標的水源類別的百分比，並分成平常時期和缺水時期，分析水源使用上的時間變化，更進一步探討居民的需求期望，以瞭解其用水偏好（楊慧鉑，1990：42）。

1.生活用水

生活用水爲日常生活直接使用的水，包括烹飪、飲用、個人清潔用水、廚房掏洗及洗衣等，大致可分爲飲食用水、洗衣用水、洗菜用水及盥洗用水等四類，以下就以不同時段各村里不同用水標的和偏好水源使用情形，進行分析說明。

(1)飲食用水

居住在湧泉帶附近的忠寮里、樹興里、興華村的居民在考慮便利無需花費開挖水井，且泉水的水質優良等誘因影響下，泉水成爲最主要的飲用水源，湧泉帶以西的埤島、北投兩里，因無泉水可直接飲用，則開挖水井使用地下水，水碓、鄧公、中興三里有淡水自來水給水系統的供給，在提供方便穩定又較不易匱乏的前提下，成爲飲水主要水源，水源里面積較大，只有在靠近湧泉帶地區有泉水供應，因此在問卷統計上，主要的飲食用水仍以井水爲主（圖29）。就抽樣地區而言，泉水和井水幾乎同爲主要飲食用水來源，而泉水具有全年流量穩定的特性，被替代爲缺水時期最主要的水源，泉水的質甘純淨的特質，仍深深影響當地居民的選擇成爲較偏好的水源。

(2)洗菜用水

洗菜用水和飲食用水同樣以安全、乾淨爲優先考慮，忠寮、水源、樹興三里在時間和心理偏好上並無有所不同，皆以泉水爲洗菜用水水源，興華村在缺水時期，泉水有被溪水取代的現象，水碓、鄧公、中興三里有自來水提供長期穩定的水源，在時間和偏好上並無替代或輔助的水源，北投里、埤島里平常時期雖以井水爲主要水源，但北投里在缺水時期，井水有被取代爲泉水的現象，在心理上也偏好於質甘純淨的泉水（圖30）。

(3)盥洗用水

受限於家庭衛浴設備管線的固定性，水源被取代的現象較少，各時期所使用的水源和飲食用水是相同的，唯埤島里和有自來水供應的水碓、鄧公、中興三里偏好於湧泉作爲盥洗水源（圖31）。

(4)洗衣用水

洗衣用水爲生活用水中唯一無水源變動現象的用水型態，忠寮、水源、樹興三里及興華村主要以湧泉水作爲洗衣用水水源，在泉水湧出附近或圳道邊搭建臨時的洗衣場，成爲本區普遍的現象。北投里以井水爲主，埤島里則以河溪水爲水源，水碓、鄧公、中興三里依然是使用自來水（圖32）。

2.農業用水

農業用水是人類爲了生存而種植穀類、蔬菜、水果、花卉、養殖魚蝦、飼養馬、牛、羊、雞、犬、豬等六畜的用水（楊萬全，1991：30），大致可歸類爲水田灌溉用水、旱作地灌溉用水及飼養家禽家畜用水。在162份有效問卷當中，回答家長職業爲農業者有63位，約

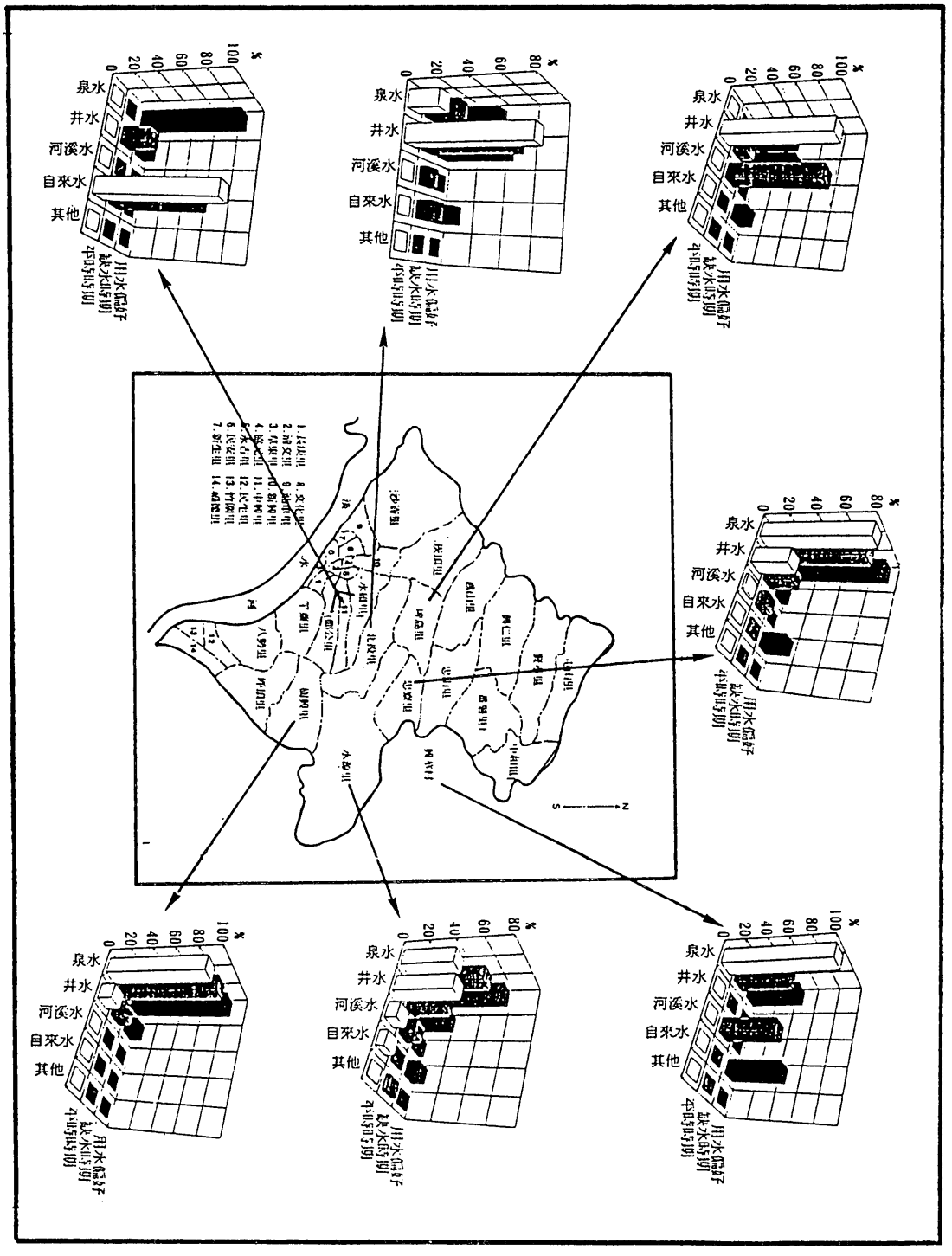


圖29　各村（里）飲食用水水源的百分比

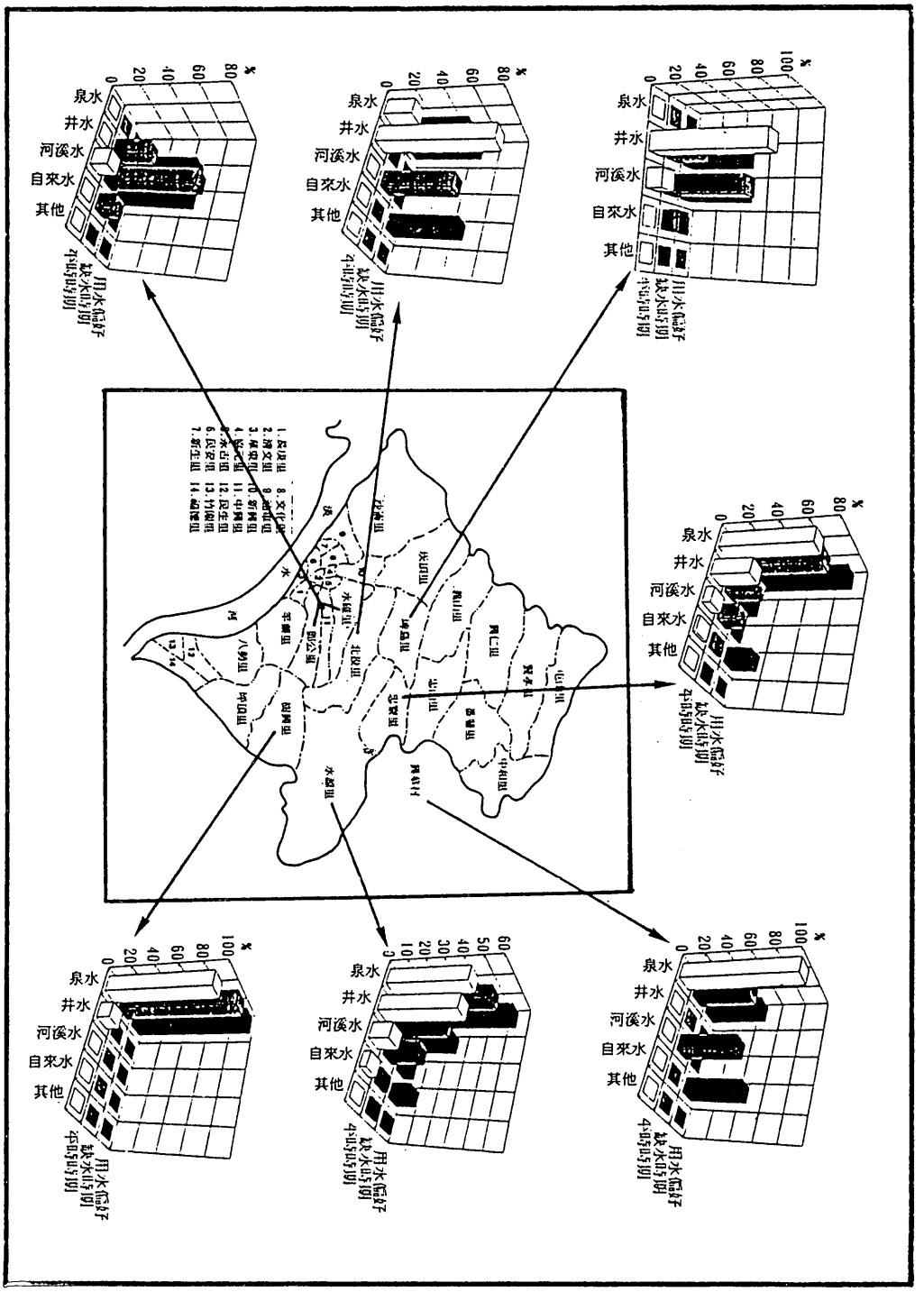


圖30　各村（里）洗菜用水水源的百分比

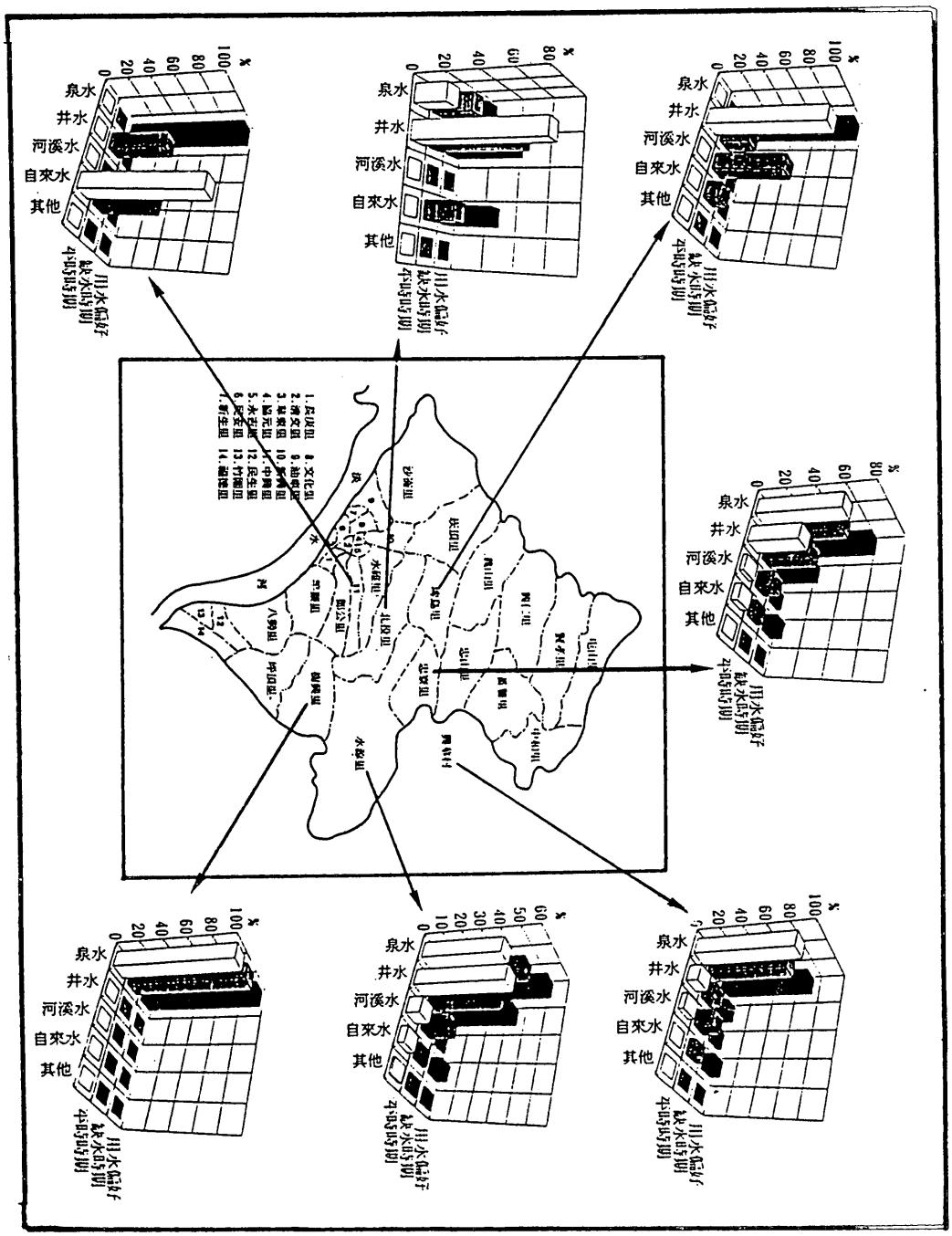


圖31　各村（里）盥洗用水水源的百分比

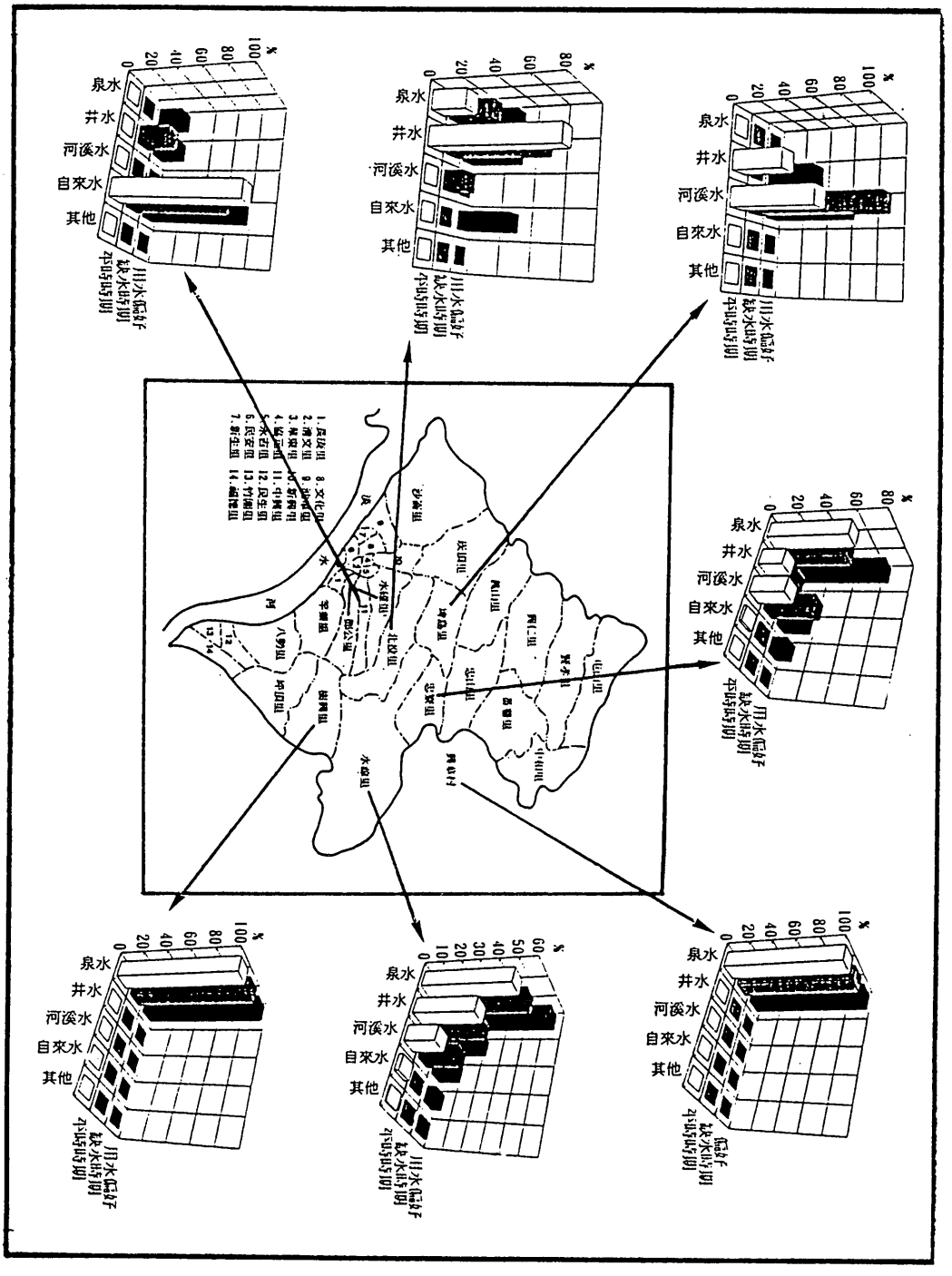


圖32　各村（里）洗衣服用水水源的百分比

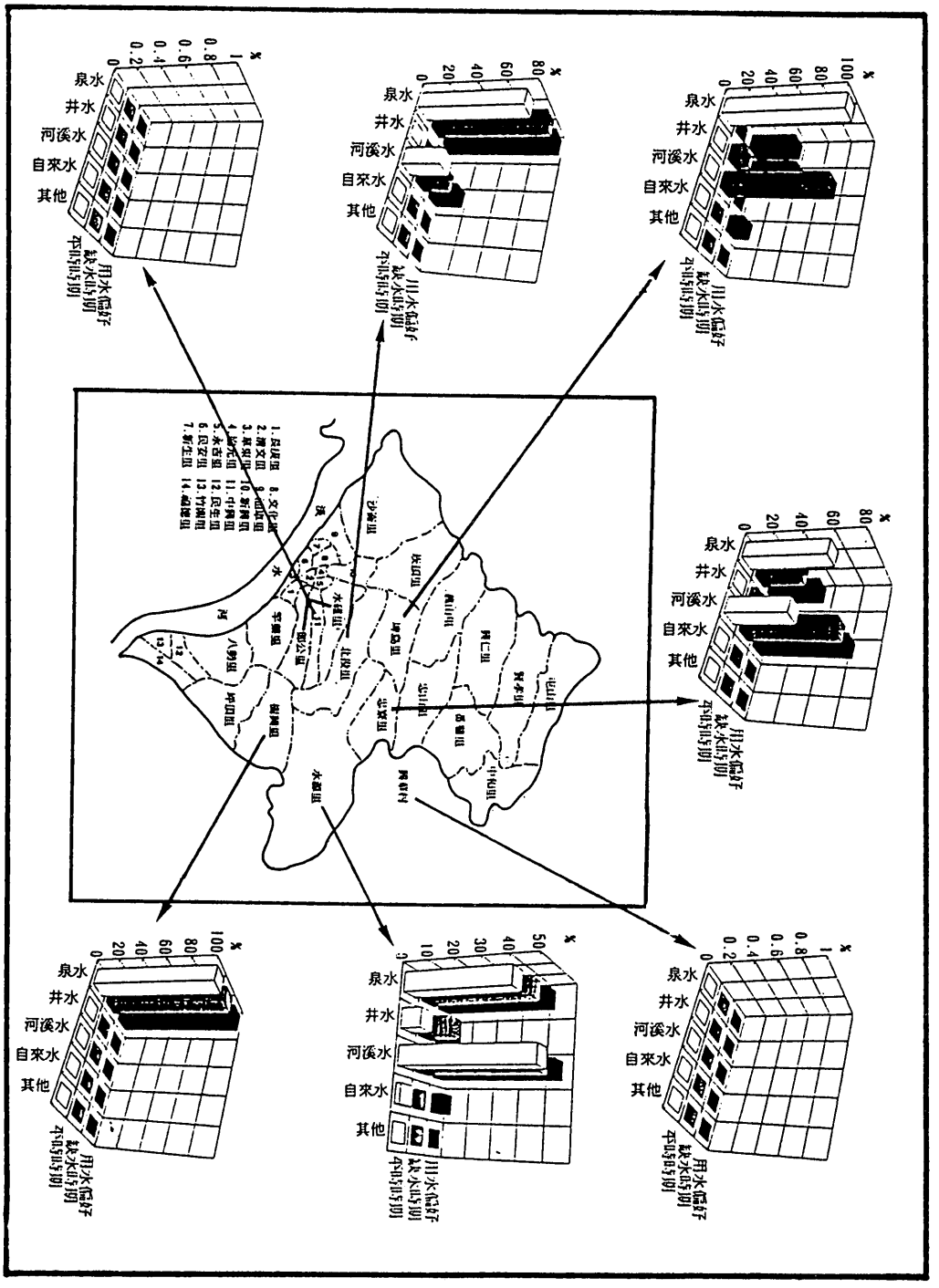


圖33　各村（里）水田灌概用水水源的百分比

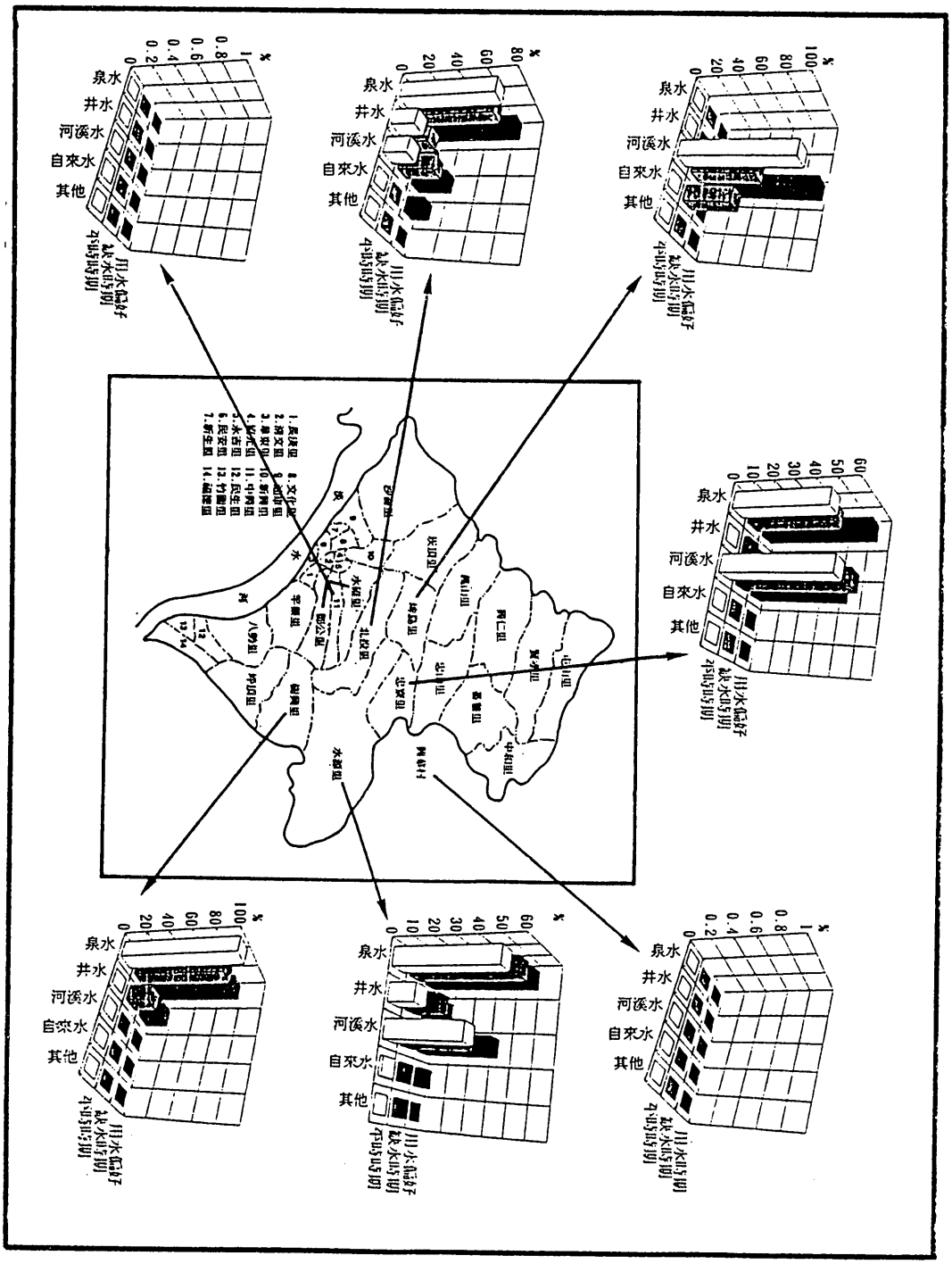


圖34　各村（里）旱作地灌溉用水水源的百分比

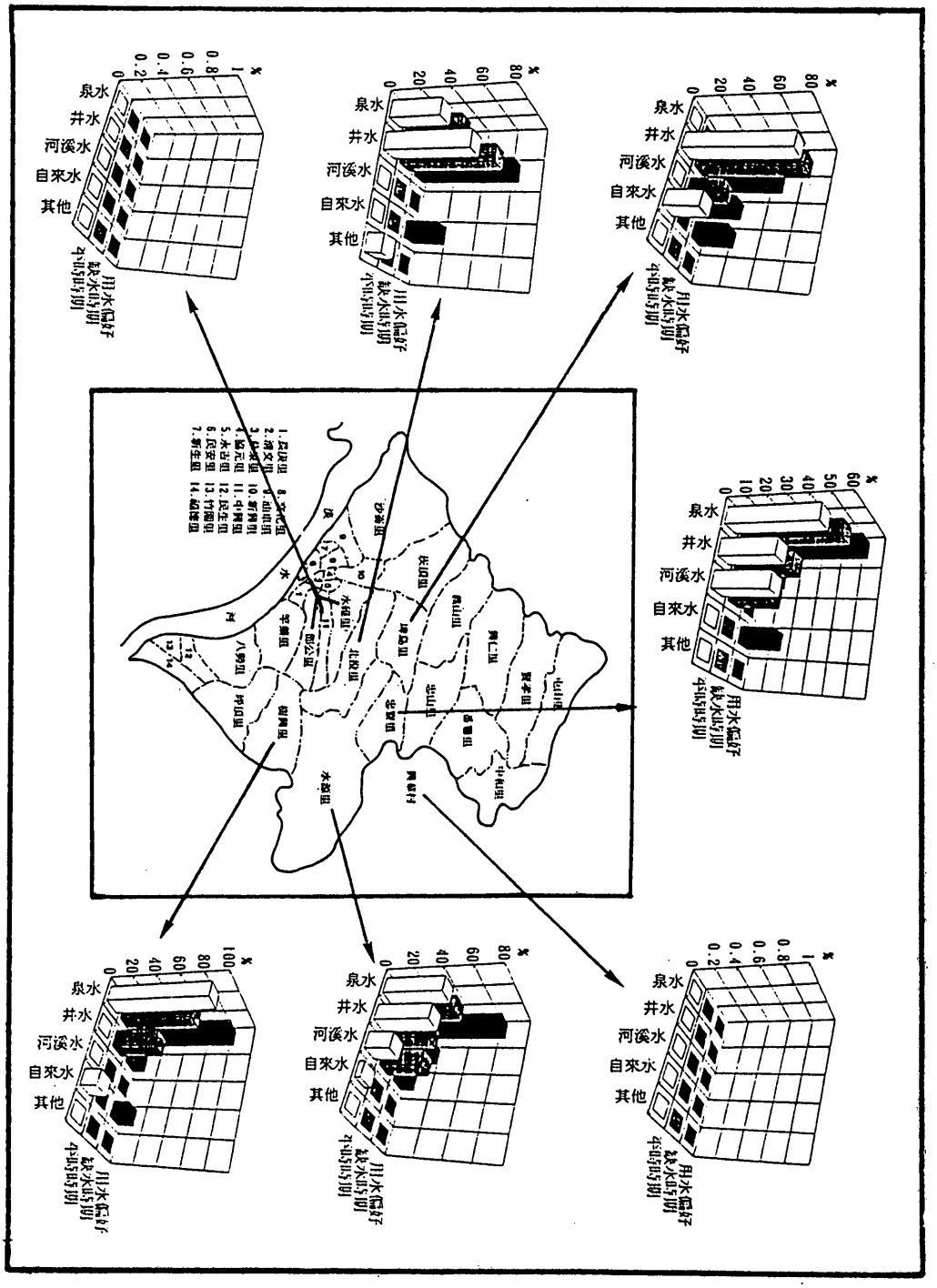


圖35　各村（里）飼養家禽、家畜用水水源百分比

用水及飼養家禽家畜用水。在162份有效問卷當中，回答家長職業爲農業者有63位，約佔三分之一強，水碓、鄧公、中興三里及三芝鄉興華村因樣本數少，無人填寫農業用水利用情形，故無法做分析，僅以忠寮、水源、樹興、北投、埤島五里作分析探討。

(1)水田灌溉用水

就水田用水而言，除了水源里以河溪水爲水源外，平常時期泉水爲各里主要灌溉水源，乃因北基水利會在湧泉流出口築圳道供灌溉之故；缺水時期除了埤島、水源由泉水轉採河溪水爲替代水源外，其他各里並無變動現象；用水偏好大致和平時採用的水源雷同（圖33）。

(2)旱作地灌溉用水

一般在湧泉附近、溪岸或圳道旁，即可發現旱作地的分布，因此以農田附近最易取得的水源爲選擇考慮。除了忠寮里和埤島里以河溪水爲灌溉水源外，其餘各村皆以泉水爲各時期及心理偏好上主要的使用水源（圖34）。

(3)飼養家禽家畜用水

各時期除了埤島里、北投里以井水爲飼養水源外，其餘各村皆以泉水爲飼養水源（圖35）。

由以上家庭用水及農業用水的分析顯示，各里（村）因水文環境的不同，各地受限於當地可取得水源，並根據不同的用水目的，導致各村里在用水型態上呈現明顯的差異。

㈢湧泉的利用型態

湧泉帶地區並無淡水自來水給水管線的供應，因此湧泉與當地居民的生活，經濟活動尙保留直接的密切關係，甚至影響附近的土地利用情形（陳國章，1982：72-90）。本區內湧泉利用型態主要可分爲生活用水、農業用水、工業用水及養殖漁業用水等四種利用類型（表10）。據調查顯示，湧泉規模較大者，其利用型態富多元化，除生活用水、農田灌溉用水爲原始利用型態外，尙有多餘的水源供給養殖漁業用水及工廠的使用，例如水源橋下、白石腳群的湧泉；湧泉規模小者，則因水量少利用量有限，利用型態趨向單一，僅供給單純的生活使用或悉數引爲農田灌溉。爲了能詳細了解不同湧出規模湧泉利用型態，依照湧泉量湧出等級大小分別取水源橋下、樹林口群、泉州厝群三處湧泉，作爲個案探討，以了解不同湧泉規模的利用差異情形。

1.水梘頭水源橋下（圖36）：

(1)農業用水

水梘頭地名由來是因當地有火山湧泉，設立水梘引泉水灌溉，所以稱爲水梘頭，所謂「梘」即指引水的竹管，早期居民從此處加設竹管引泉水至農田裡灌溉。最大的水梘頭圳於乾隆41年（西元1776），由業戶謝開始所置，其流路總長爲913公尺，灌溉面積達119公頃（北基水利會），泉水量受乾溼季節影響小，水量十分穩定，每日流量在一萬噸以上。

表10　湧泉的利用型態

編號	地點	生活用水	農業用水	養殖漁業用水	工業用水
1	慈雲寺後	●	●		
2	牛屎崎腳		●		
3	下圭柔溪 I	●	●		
4	下圭柔溪II		●		
5	大溪橋旁		●		
6	泉州厝 I		●		
7	泉州厝II	●			
8	泉州厝III	●	●		
9	泉州厝IV	●	●		
10	白石腳 I	●	●	●	
11	白石腳II	●	●		●
12	水源橋下	●	●	●	●
13	紅柿腳 I		●		
14	紅柿腳II	●	●		
15	紅柿腳III		●		
16	山腳*	●	●		
17	庄子內	●	●		
18	樟腦寮	●			
19	樹林口 I	●	●		
20	樹林口II	●	●		
21	樹林口III	●	●		
22	三空泉 I	●	●		
23	三空泉II	●	●	●	●
24	三空泉III	●	●		
25	小坪頂	●	●		
26	樹梅坑		●		
27	竹圍 I		●		
28	竹圍II		●		

●：表湧泉的主利用類型

*：該湧泉有一部份水作爲礦泉游泳池之用

資料來源：筆者野外調查

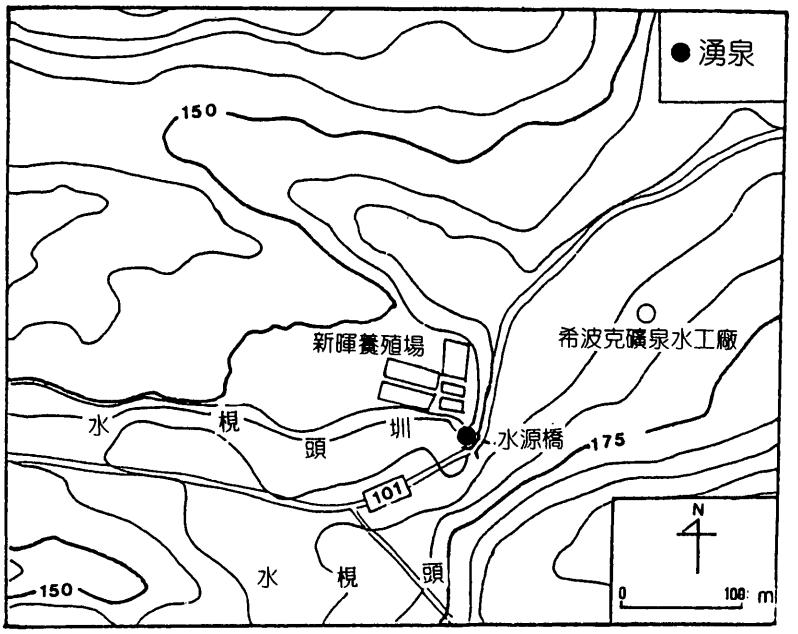


圖36　水梘頭水源橋下湧泉之位置

(2)生活用水

光緒21年淡水在尋求自來水源時，鑑於本區湧泉水量豐水質優良的特性，也曾受到當局的青睞，但因湧泉距鎮有5公里以上，導水公費難以籌集而作罷（台北縣志，3481-3484）。湧泉出口在水源橋下，目前成爲本區頗具規模人工鋪設的洗滌場，包括洗衣、洗車、洗滌家具、洗菜用水的地點，在假日亦可看到在此烤肉遊憩的人群。

(3)養殖漁業用水

因湧泉量大又幾乎完全免費的有利條件下，因應產生養殖漁業的產業活動。新暉養殖場成立至今已有二十多年，養殖用水的水源直接分取水梘頭圳約四分之一的水量，養殖場佔地約2900坪，但養殖池不到1000坪。養殖場成立之初以養殖鰻魚外銷爲主，後因受大陸、日本傾銷價格的影響，而改養觀賞魚類如金魚、錦鯉等，銷售市場也僅限於國內的水族館及一般觀賞飼養人家（涂秀喻，1991：20）。

(4)工業用水

礦泉水工業也是利用當地豐富湧泉量興起的經濟生產活動之一，希波克礦泉水工廠位在淡水鎮水梘頭九號，利用此地泉水與交通之便[2)]，成立至今約有四年多的時間，廠房一、二樓近300坪，員工數約5－6人，每日生產量約一千箱左右。

2.樹林口群（圖37）：

(1)生活用水

樹林口聚落在行政上屬於樹興里的一部份，聚落海拔的高度約在170－150公尺之間，位於興福寮溪的源頭附近，共有湧泉三處（樹林口Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ），聚落約有住戶三

2)希波克礦泉水工廠位在北新路旁。

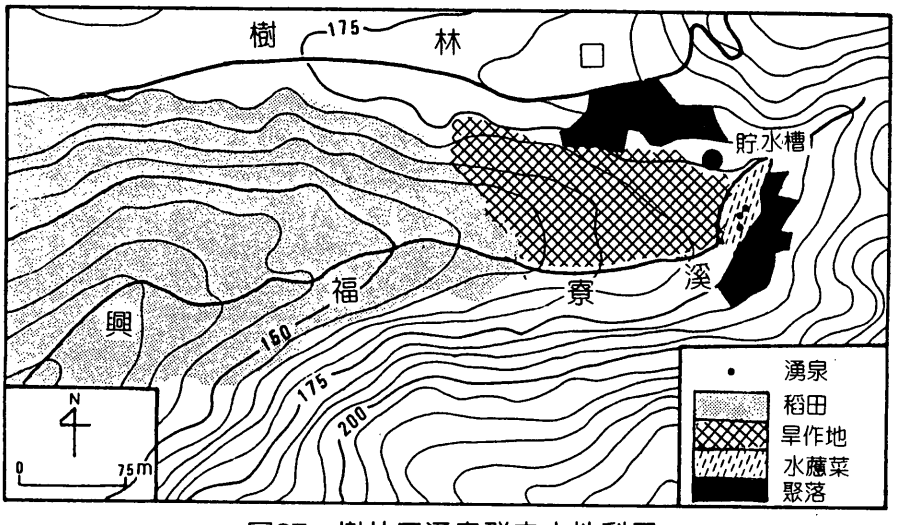


圖37　樹林口湧泉群之土地利用

十餘戶，湧泉長久以來即爲本地賴以生活、農業灌溉用水的主要水源。由於湧泉位於河流的左岸，而聚落主要位在右岸，因此早期居民取水爲原始的挑水回家使用的方式，後期電力普及之後，即在湧泉流出口處使用 6 吋水管收集後，以重力流方式流至聚落附近的儲水槽儲存，各戶再接取水管利用馬達抽到家中使用，樹林口 I 湧泉水量最多，成爲本地生活用水的主要水源[3)]。

(2)農業用水

本區的農業土地利用可分爲水田地和旱作地兩大類型，興福寮溪左岸的170－175公尺的等高線範圍幾乎都栽種水蘿菜和蓮藕，直接取用泉水灌溉，水蘿菜種植以乾淨不斷流動的水且具有終年保持一定水溫爲最佳環境（陳國章，1982：76），本地泉水溫度不管在冬夏皆保持在22℃左右，泉水順沿梯田流下，保持灌溉用水不斷流動，形成水蘿菜生長良好的水文環境，因此有水蘿菜一般附近就有湧泉，所以水蘿菜爲發現湧泉的良好的觀察指標。興福寮溪右岸則以水稻田和旱作爲主，旱作地主要栽種筊白筍、菠菜、同蒿、甘藍、絲瓜等，這些作物僅供自給。灌溉方式多採挑水或用水管接引泉水或就近取溪水灌溉。生活與農業用水利用剩餘的泉水流至溪中，保持溪水穩定流量，提供水稻田的灌溉水源。

3.泉州厝群（圖38）：

泉州厝群共有四處湧泉（泉州厝 I 、泉州厝II 、泉州厝III 、泉州厝IV），湧泉量皆在數百至數十CMD之間，由於湧泉量少，利用上顯得十分單一，泉州厝 I 、III 、三處湧泉悉數作爲灌溉水田和旱作地，例如稻田、水蘿菜、蓮藕、筊白筍、蕃薯、菠菜、同

3)樹林口聚落一向以樹林口 I 湧泉為生活用水來源，但是今年（1994）的乾旱時期，水量稍嫌不足，則在休耕時期，一併將樹林口II 、III兩個湧泉水全部收集至儲水槽，供給家庭生活用水。

蒿、絲瓜及蓮霧等，或作爲平時洗滌用水來源；泉州厝II、IV兩處湧泉爲泉州厝居民接管引水作爲家中飲用、盥洗、洗菜等生活主要用水的水源[4]，生活用水剩餘的水量，則作爲洗衣用水或流至菜園或稻田灌溉。

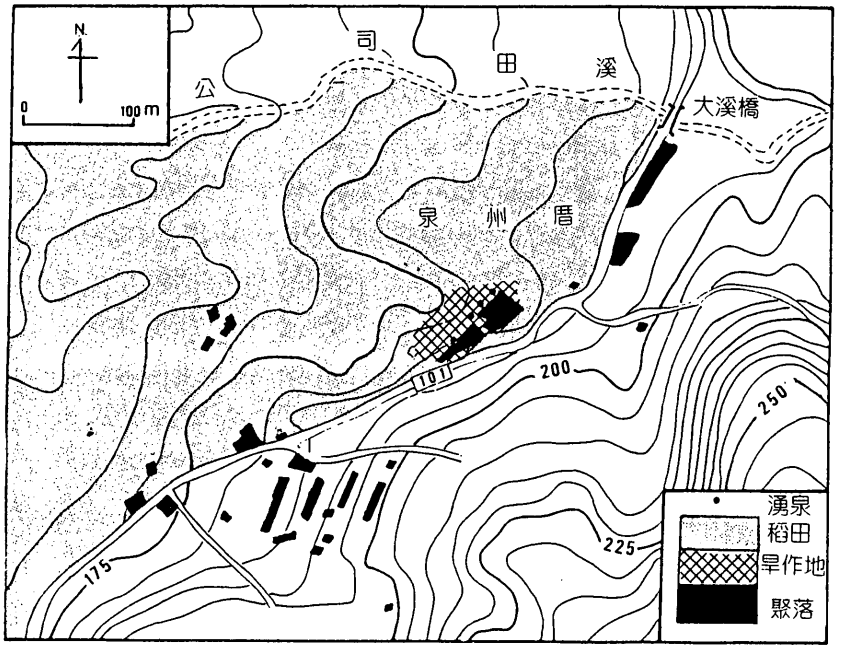


圖38　泉州厝湧泉群之土地利用

四、水資源的合理開發與利用

自從「資源有限」和「成長極限」兩大認識自1970年代蔚爲國際環保思潮以來（於幼華，1993：26），各界也逐漸重視水資源合理經營策略及資源使用節流的觀念。以往對於水資源的管理策略，簡單的分爲兩類，其一是供給面的管理，即透過水庫、水道的興建增加供水能力，傳統上我們以此種方式達成供需平衡的目的。近來，由於自然條件的限制、環境意識的提昇及成本的考量，供給面的管理對於供需失衡解決的能力顯然不夠，仍需由需求面的管理共同因應，即透過各用水標的內之節約及各用水標的的靈活調配，達成節約用水及有效的分配的目的。未來，水資源永續經營之目標，則應更積極的在供給方面，鼓勵積極地保育涵養水源，以增加水資源的生產，在需求面的管理，則除了促使水權能於標的用水內標的用水間靈活移轉外，更進一步的是透過產業結構的調整、土地合理的規劃利用，來減少用水的需求（蔡勳雄，1993：52）。基於以上的觀念，審視本區水資源的問題大略可分爲兩方面來探討，一是水資源如何合理分配與有效利用，其次則是山坡地的開發問題。

---

4)泉州厝I湧泉共有6支1吋管接到各户家中作為生活用水，泉州厝II湧泉水量較多（見表3-1），共接13支1吋管。

1.水資源的合理分配與有效利用：

近年來由於都市化的結果，自來水與工業用水的需求大增，而與農業用水的利用發生競合，每當面臨缺水，農業用水首當其衝（柯三吉，1993：94），結果社會要求農業用水量減少之壓力日增，但農業界則認爲農業用水因地區、時間等特性，不能僅以總用水量作爲衡量其浪費與否之依據，尤其近年來經常發生乾旱，農業用水也時常發生時有時無的現象（歐陽嶠暉，1993：32）。

實際上近年來，農民的耕作意願低落，過去許多主要稻米產區，今已變爲建地，而山區很多交通不便之稻田已廢耕，因此許多湧泉水任其流失，實屬可惜。湧泉水質優良，一般在火山地區大多利用作爲自來水水源，例如在日本八丈島三原山北坡面鴨川水源即是典型的例子（新藤靜夫，1992：141-142），在當地大規模湧泉直接於湧出地附近，設立引水設施；小湧泉則依照水量的多寡，將數個湧泉水源收集後，再輸送到各戶家中使用。本區的湧泉在長期乾旱河水多乾枯時，湧泉總量仍達40000CMD以上，泉水量不因長期乾旱而有很大的改變，若能充份開發利用，實爲良好的自來水源。若以臺北市每人每日500公升的消費水量，則可提供8萬人次的使用，因此只要轉移一部分水量作爲生活、工業用水，淡水鎭即不必大費周章向外買水。但本區之地面水權爲北基水利會既得水權，有優先使用的權利，此既得之水權不論如何不合理或浪費仍有其優先權，因此本區水資源若要充分開發利用，水權、水管理問題不能配合即無法完善。

2.山坡地開發建地，減少雨水補注能力，導致湧泉量的減少：

隨著人口成長、都市之擴張與交通的改善，本研究區山坡地近來有被開發成別墅區及遊憩區等用地的趨勢，民間建設公司不了解山坡地特性及水土保持的重要性，濫加開墾的結果，導致近年來有湧泉量減少的現象[5)]，此種情形在日本東京台地區的湧泉，也因都市化的擴張，不透水地面積的增加，阻礙雨水的的入滲，湧泉量近年來大爲減少，甚至有乾涸的現象產生（新井正，1987：481）。爲了能長久保有此穩定豐富的水源，日本東京的前車之鑑，應引以爲戒，因此山坡地保育爲目前刻不容緩的重要工作。

六、結論

本文以大屯火山西南坡面分布的湧泉和地下水爲對象，探究火山坡面地下水流動特性、影響機制及水資源利用之空間性。首先，分析收集地形地質、氣候、水文、土地利用等水文環境資料；其次，在湧泉方面，實施湧泉分布、特性、水質分析、流動機制等調查研究，在地下水方面，透過實地地下水位、地下水質、水力特性、訪問等調查，了解火山坡面地下水流動情形；最後，利用問卷及訪問分析火山地區水資源利用空間分布特性，研究分析結果如下。

---

5)小坪頂軍營後的湧泉、三空泉II湧泉等湧泉，據附近居民指出湧泉量目前不及以前的一半，甚至後者的湧出位置也因而移動。

㈠、湧泉之分布及其流動特性

1.湧泉特性：

本調查區可確認的湧泉共有28個，成帶狀遍布在60－240公尺的火山碎屑物坡面上，湧泉量規模由上萬至數十CMD不等，湧出規模大的湧泉湧出量在上萬至數千CMD左右，全年流出量穩定變化少，相對地，湧出規模小者湧出量約數百及數十CMD，這些湧泉易受短時期季節降雨的影響，湧出量變化大。從這些湧泉冬季和夏季湧出量的比值（r），得出湧出規模大者比值在0.8以上，相對地，湧出規模小者，比值在0.8以下。全數湧泉泉溫無論在夏季或冬季皆在22℃左右，電導度值在140－265μS／cm之間，呈現北部低南部高的趨勢。

2.湧泉南北流出系統

由電導度值將本區的湧泉流出系統分成北部系統和南部系統，北部系統的電導度在155－185μS／cm，南部系統約在235－265μS／cm。計算各系統湧泉點距凝灰角礫岩的平均距離，結果得出北部系統平均距離約0.43km，南部系統平均距離約爲2.25km，顯然距離遠者其滯留時間較長，電導度值高，距離近者其滯留時間短，相對地電導度值較低。此外，選擇15個湧泉進行水質分析，水質分析測定項目包括陰離子的 Cl^-、SO_4^{2-}、NO_3^-、、HCO_3^-和陽離子Na^+，K^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}及pH，TDS。化學分析所得的結果以Key diagram說明地下水質的水質組成概況，本地區湧泉的水質多屬於Na^+—HCO_3^-型爲主，再以Hexa diagram表示水質分布的地區差異，由水質圖形明顯表示南北兩地爲不同的地下水流動系統。

㈡、湧泉帶以西之地下水流動特性

1.從枯水期和豐水期兩次調查結果所繪成的地下水流網圖得知，在空間上本區的地下水主要由東北及東側往西及西南流動，地下水的補注主要來自東北側大屯溪及東側公司田溪的滲透補注。在時間上冬季受東北季風之影響，降雨較爲豐沛，所以雨水入滲多，一般而言，10月至翌年2月降水量較多，地下水的高水位期也出現於這個時期，夏季7、8月是降水量較少的時期，對應呈現地下水位較低的情形，全區的冬夏地下水位變動量約在1－3公尺左右。依照電導度測量結果，在空間上大部分水井的電導度在150－400μS／cm之間，電導度值有由東向西逐漸增加的趨勢，可能與離補注區之距離遠近和西部靠海有關，值的注意的是在北部大屯溪下游的北側，夏季時電導度在500μS／cm以上，異常高於其他地區，根據筆者初步調查訪問結果，可能受到鄰近工廠的污染，冬季時受到降雨的稀釋，電導度值下降至400μS／cm左右，與沿海的電導度值相近。

2.由冬夏兩季地下水位及地層係數資料所計算的結果得知，夏季的地下水流動量爲21046CMD，顯然少於冬季的22449CMD，與季節的氣候變化趨勢大致雷同。

㈢、地下水流動機制與水平衡

1.在地形上，本湧泉帶形成於坡折點240－60m的範圍處。在地質上，由地層電阻探

測及地層剖面資料研判的結果，本區的湧泉並未出現在基盤（中新世沈積岩）和火成岩交界處的火成岩中，而是不同時代火山噴發物，上下岩層透水性不同，導致在其交界面易形成泉水。

2. 本區湧泉位於河川一級水系者佔40%，顯示許多河流流量和湧泉有關。根據湧泉與河川源流的關係，大致可將大屯火山西南坡面依照水文學的觀點區分爲三個水文區。

(1)標高800公尺以上爲山頂補注區，主要由安山岩熔岩流所覆蓋，坡度陡，植被以草類爲主，雨水由地表入滲到地下深層儲留。

(2)800－240公尺爲山腰補注區，坡度變爲較緩，有樹林，地質上由安山岩熔岩流及玄武岩熔岩流和火山碎屑物所覆蓋，有大屯溪和公司田溪谷地源頭，爲放射狀水系的源流區，雨水由谷底和地表入滲形成地下水。

(3)240公尺以下逐漸出現湧泉，175公尺以下分布最廣，形成山麓湧泉區，除了下游河谷爲現代沖積層及沿海有部分沙丘外，幾乎皆爲火山碎屑物所覆蓋，這些湧泉多數成爲常流河的源頭。

3. 爲探討補注區、補注量及流出量的關係，選擇公司田溪南邊源流紅柿腳三個湧泉及其南部庄子內和山腳兩大湧泉爲範圍，依據地形分水嶺分爲北區和南區，結果得出北區紅柿腳湧泉的湧泉量和溪流量在數月不雨後總水量僅3100CMD，補注量卻高達11200CMD，即多出8000CMD以上的水源；而南區山腳、庄子內的湧泉量約9000CMD，補注量卻不及900CMD，多出8000CMD以上的湧泉量，此多出之水源只有來自北區的地下水流，因層狀火山之故，北區水源順沿地層傾斜方向，越過地形分水嶺向南區流動的結果，並推算出公司田溪地下水天然補注量爲3.41mm／day。

4. 本區湧泉流出過程可分爲兩種類型

(1)裂隙流動系統

第一類型湧泉的湧出地點恰好位在安山岩熔岩流與火山碎屑物的交會點上，電導數值在150μS／cm左右，由數值顯示雨水入滲於比湧泉地高的上游地區，且流經相當淺層的岩層裂隙（圖4-7a），如本區慈雲寺後、下圭柔山溪源頭的兩個湧泉屬於此型。

(2)局部流動系統

因爲河流下切火山碎屑物弱固結部份，形成峽谷，泉水由谷壁或谷底流出，補注區爲靠近泉水湧出地的高地地區，其性質類似於Toth（1963）所提出的地下水流動系統觀念中的局部流動系統，本區大多數的湧泉皆屬於此種類型。

地下水深受外在水文環境及地下水循環場—水文地質的影響，湧泉爲地下水輸出形式之一，由湧泉的水溫、電導度和湧泉量等指標，可確定湧泉的地域性，地下水到湧泉流出爲止，其所流經岩石的裂隙發達程度、含水層分布、溫度環境、岩石的化學成分、岩層排列及地下水的滯留時間強烈地影響湧泉性質和湧出過程。

四、水資源利用的空間性

1. 大致可將本區水資源供應系統分爲三區：
   (1)湧泉區：位於60－240m的湧泉帶，泉水爲居民生活及農業用水主要來源。
   (2)自來水區：淡水市區及台二線沿線，可仰賴淡水供水系統的給水管線取得自來水，本區獲得之自來水水源有雙圳頭水源、鄧公水源、淡海水源、老梅溪水源、板新供水系統、臺北自來水事業處。
   (3)井水區：本區以井水爲主要利用水源，因距湧泉帶遠，又無法得到自來水給水管線的供給，因此幾乎每戶都開挖寬口式淺井，以井水爲主要生活用水來源。河溪水在各地則扮演灌溉用水水源。
2. 由問卷調查本區各地用水型態的結果顯示，不論在家庭生活用水或是農業用水，各地用水深受當地水文環境的限制，呈現不同時期的用水與個人偏好的用水型態。
3. 本區內湧泉利用型態主要可分爲生活用水、農業用水、工業用水及養殖漁業用水等四種利用類型。湧泉規模較大者，其利用型態富多元化，除生活用水、農田灌溉用水爲原始利用型態外，尚有多餘的水源供給養殖漁業用水及工廠的使用，例如水源橋下、白石腳的湧泉；湧泉規模小者，則因水量少利用量有限，利用型態趨向單一，僅供給單純的生活使用或悉數引爲農田灌溉，例如泉州厝群的湧泉。
4. 本區水資源的問題大略可分爲兩方面來探討：
   (1)水權和水管理不能配合，使水資源無法合理分配與有效利用。
   (2)山坡地開發建地，減少雨水補注能力，導致湧泉量的減少。

〔附記〕本文為作者之國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文（民83年6月）摘錄而成。曾於83年7月16日第44屆全國地理學會年會中發表。全文得以順利完成，蒙恩師楊萬全博士之啓發與指導、系所師長的關懷、所裏同學及家人協助野外調查工作，以及水基水利會淡水工作站、台北縣水利課鼎力協助，特此申謝。

參考文獻

一、中文部份

王鑫（1983）：陽明山國家公園地質及地形景觀，內政部營建署陽明山國家公園處。

王德明（1985）：普通水文地質學，北京：地質出版社。

王智澤、葉弘德（1993）：地下水資源開發中「安全出水量」問題，第二屆水源水質保護區環境管理研討會論文集，pp.83-96。

何春蓀（1955）：臺灣之地下水地質，台銀季刊，7(2)，pp.112-128。

何春蓀（1986）：臺灣地質概論臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所，pp.100-193，108-109。

於幼華等（1993）：我國水資源政策問題之探討，水資源永續發展研討會，時報河川保護小組，財團法人時報文教基金會，pp.92-104。

林朝棨（1957）：臺灣地形，臺灣文獻委員會，pp.251-256。

周聞經、王名增（1959-60）：大屯火山灰探勘報告，經濟部礦產測勘團四十八四十九年度工作年報，.59-75。

黃鑑水（1988）：五萬分之一臺灣地質圖第四號，臺北幅及說明書，經濟部中央地質調查所。

陳正宏等（1988）：陽明山國家公園及臨近地區火山地質史研究，內政部營建署陽明山國家公園處。

陳肇夏、吳永助（1971）：臺灣北部大屯地熱區之火山地質，中國地質學會，no.14，pp.5-20。

陳國章、楊萬全（1982）：故宮附近泉水的利用與經濟活動，中國地理學會會刊，no.11，pp.72-78。

陳國章、楊萬全（1982）：臺北天母東緣的泉水與土地利用，中國地理學會會刊，no.11，pp.79-90。

陳清恭、蔡清彥（1983）：陽明山國家公園之氣候，內政部營建署陽明山國家公園管理處。

淡海新市鎮整體開發計畫技術報告（1993），內政部營建署。

淡海新市鎮雨水、污水、自來水系統規劃報告卷三自來水系統（1993），內政部營建署。

崔尚斌（1965）：大屯山區之氣候，文化大學地理研究所碩論。

曹以松（1991）：恆春地區地下水資源之調查評估研究，臺大農業工程學系，pp.72。

陽明山國家公園溫泉水資源調查與利用規劃及管理研究計畫報告：內政部營建署陽明山國家公園處，1987。

楊萬全（1991）：人類活動與水文環境的關係，人文及社會學科教學通訊，1(5)，pp.28-39。

楊萬全（1980a）：Wenner法電阻探測，地理教育，no.6，pp.3-12。

楊萬全（1980b）：大屯火山彙南坡面的水文研究，地理學研究，no.4，pp.69-92。

楊萬全（1981）：抽水試驗，中國地理學會會刊，no.9，p.37-50。

楊萬全（1983）：地下水開發對水文環境的衝擊—臺北盆地的個案研究，臺灣師大地理研究報告，no.9，pp.73-118。

楊萬全（1988）：陽明山國家公園水資源調查研究— I.各流域水文特徵之調查研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處。

楊萬全（1993）：水文學（增訂版），地理研究叢書第二號第二版，師大地理系所。

楊慧鉑（1990）：臺北縣金山地區水資源概況及供需型態之研究，臺灣師大地理研究所碩論。

費立沅（1989）：臺灣富水層水文地質探討，水文地質研討會論文專集，經濟部中央地質調查所。

臺北縣志卷十七，水利卷志，第四章給水，p.3481-3484。

臺灣省重要都會區環境地質資料庫七十九年調查報告，臺灣省政府建設廳，pp.22-27。

臺灣省重要都會區環境地質資料庫七十五年調查報告，臺灣省政府建設廳，pp.29-45。

鄧國雄（1988）：陽明山國家公園之地形研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處。

劉清約（1983）：淡水鎮土地利用之空間體系，文化大學地理研究所碩士論文。

二、日文部份

小原常弘（1990）：標茶丁上オソッベッ原野の湧水の湧水量のについて，地下資源調查所報告，no.62，pp73-84。

山本莊毅（1983）：地下水調查法，東京，古今書院，490p.。

山本莊毅（1970）：富士山の水文學研究—火山體の水文學序說，地理學評論，48(7)，pp.267-282。

山本莊毅（1966）：改訂增補地下水探查法，地球出版社，pp.83-114。

山口久之助（1970）：羊蹄山的湧水とその水收支について，地學雜誌，81(5)，1972，pp.4-20。

丸井敦尙等（1993）：南八ヶ岳の水文環境，ハイドロロヅ—，23(2)，pp.91-103。

丸井敦尙（1991）：層狀に堆積した斜面における降雨流出プロセスと地中水貯留機能，地理學評論，64(3)，pp.145-166。

肥田登（1990）：扇狀地の地下水管理，東京，古今書院，pp.103-109。

東浦將夫（1970）：新庄盆地の水收支，地理學評論，48(7)，pp.490-496。

島野安雄（1987）：阿蘇山周邊地域における湧泉分布と若干の性狀について，ハイドロロヅ-，17(2)，pp.99-110。

島野安雄（1993）：竹田盆地周邊地域の湧泉，水の地理學—その果と課題，日本地理學會，pp.3-15。

笠原俊則（1983）：淡路島諭鶴羽山地南麓における取水，水利型態と水利空間の變化，地理學評論，56(6)，pp.383-402。

都筑守、板寺一洋（1990）：岩手山南麓の湧泉，ハイドロロヅ-，20(2)，pp.97-102。

新井正（1987）：東京の台地部における湧水の的現狀，地理學評論，60(7)，pp.481-484。

新藤靜夫（1992）：火山島における地下水の開發と保全—伊豆諸島の場合—地下水學會誌，34(3)，pp.137-151。

新見治（1990）：泉と地下水，地學雜誌，98(2)，pp.25-41。

樋根勇（1980）：水文學，東京，大明堂，272p.。

三、英文部份

Kayane, I. (1992) : Water Cycle and Water Use in Bali Island, 320p.

Love, A. J., et al (1993) : Groundwater flow regime within the Gambier Embayment of the Otway Basin, Australia: evidence from hydraulics and hydrochemistry, Journal of Hydrology, no.143, pp.297-338.

Todd, D. k. (1980) : Groundwater Hydrology (2ed) , John Wiley & Sons. 535p.