

# 水質から地下水の起源・流動を探る —熊本平野の例—

永井 茂・石井 武政 (環境地質部)  
Shigeru NAGAI Takemasa ISHII

地下水の調査を行う場合調査手法の一つに水の化学分析が含まれることが多い。しかし分析結果の考察では水の利用——生活用水や工業用水など——の立場での水質・化学成分の特徴・水質の型の記述が通常の例であって更に一つつこんだ考察はほとんどなされていないのが現状である。

水は流域の地質などの自然環境を反映した水質をよく示している。従って地下水の起源——天水・地表水や流動を考えると地下地質・地下水位等の調査資料に加えて水質を参考にすればこれらのことをより一層明らかにできる。その事例が熊本平野の地下水調査で得られたのでここに紹介する。この手法はほかの地域でも応用できると考えられるので参考になれば幸いである。なお詳細な同平野の調査報文は工業用水296号(1983)に記載されている。

## 1. はじめに

地下水の水質は雨水に近い——溶存成分が少ない——ものから温泉も含め海水に近い——溶存成分が多い——ものまで千差万別である。なぜこのような差が生ずるのか原因はほぼ2つに大別される。

1つは涵養源の違い。例えば①雨水→地下水②地表水(河川水 かんがい用水)→地下水③両者の組合せ等である。特に②の場合地表水の水質は流域の地質・水文環境によって大きく異なる。

もう1つは地下水が流動する地層の地質・水理的性質の違い。例えば①帯水層とその周辺の地層の性質(溶出成分の質と量)②帯水層中の流動・滞留時間(溶出量 粘土鉱物による吸着・置換反応)③揚水等による地下水位の低下(塩水化 粘土層からの水のしぼり出し)④火山・断層による地下深部からの温・鉱泉の混入等である。

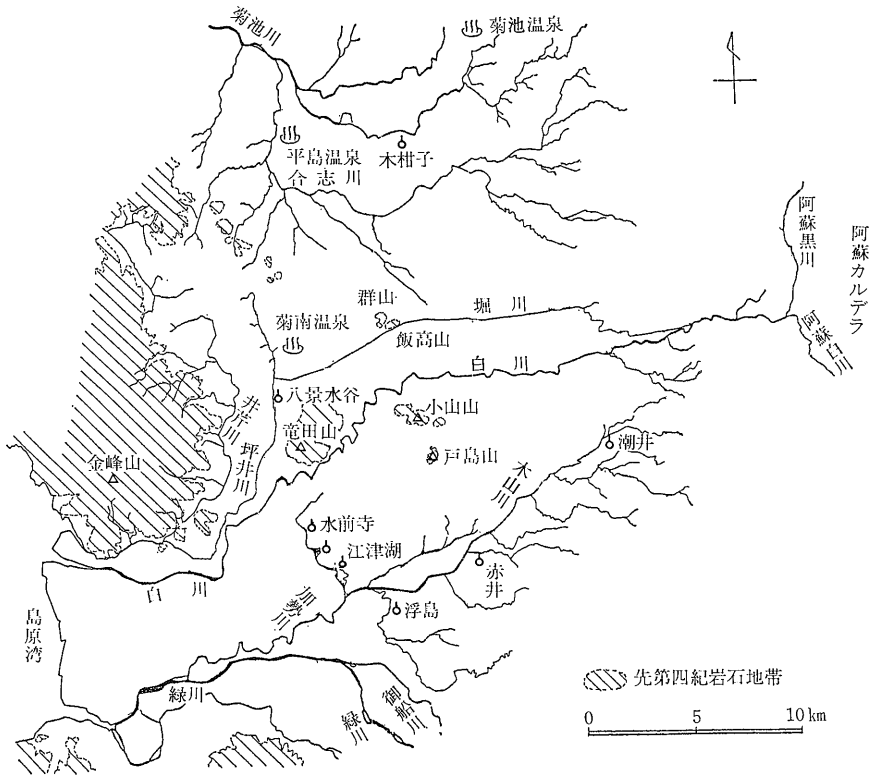
一般に涵養源や水理地質環境が似た地下水の水質はほぼ同じである。そこで逆に水質の違いから地下水の水系区分を行うことによって涵養源や流動を解明することが可能になる。ところで阿蘇西麓台地を含む熊本平野の地下水について地下地質・地下水位・降水量・蒸発散量・河川の流量・揚水量等をもとにした水

文地質学的調査研究がこれまで数多く行われてきた。しかし同平野の地下水については解明された点も多いが推測の域を出ない点も多々あった。昭和51~53年に科学技術庁によって「地下水の水収支の解析手法に関する総合研究」が熊本平野を研究対象地域として実施されたとき筆者らは水質の観点からこの研究に参加した。そして同平野の地下水の涵養源・分布区域・相互関係を水質の特徴に基づいて明らかにして5つの地下水系に区分した。また本地域の水収支において最も重要な課題となっている白川からの地下水涵養について白川の特異な水質を利用した混合比からその解明を試み従来の水文地質学的方法では解明が困難であった点をかなり明らかにすることが出来た。以下にその概要を紹介する。

## 2. 熊本平野の概要

はじめに熊本平野の概要を述べる。第1図に示すように本地域は東側が阿蘇西麓台地 西側が白川・緑川で形成された沖積低地で両者は地質的にも水文的にも大きく異なる。東側の台地部は先阿蘇火山岩類を水文地質学的基盤としその上に阿蘇火山噴出物が堆積している。そしてその中の下位からA<sub>so</sub>1~A<sub>so</sub>4と呼ばれる火砕流堆積物が主要帯水層となっている。一方西側の低地部は非火山性堆積物から成りいわゆる軟弱地盤である。次に水文地質に関して重要と考えられる事項を列挙する。

- 1) 台地の中央部に基盤岩から成る小さな山がほぼ南北方向に突出している。後述するとおりこれらは本地域の地下水流動を規制している。
- 2) 益城台地南部~木山川低地~江津湖周辺にかけて広範囲に砥川溶岩が伏在し大きな地下貯水池の役割を果たしている。また木山川低地~江津湖西部には湧泉・自噴井が多数存在する。
- 3) 台地縁辺部には八景水谷・水前寺・江津湖・浮島・赤井・潮井など著名な湧泉が多数存在する。
- 4) 地下水位はかんがい期の5~9月に高く非かんがい期の10~4月に低いという季節変動がある。



第1図 熊本平野の概要 (永井ほか 1983)

- 5) 坪井川上流部～菊池市にかけて温泉が分布し 地下水の水質に影響を与えている。
- 6) 阿蘇カルデラを主集水域とする白川が 本地域のほぼ中央を東から西に貫流している。その途中の大津町瀬田で かんがい期には上井手用水(堀川)・下井手用水に分水され 大量の水が堀川～白川間の田畑をかんがいでいる。この白川・堀川が本地域の水収支に大きな役割を果たしている。
- 7) 江津湖下流の加勢川(大六橋)での流量測定によると 加勢川流域には その流域涵養量をはるかに上まわる年間3億7千万 m<sup>3</sup> 日量にして約100万 m<sup>3</sup> の水が他流域から地下水として流入している。
- 8) 白川(世継橋)・合志川(佐野橋)での流量測定では 逆に日量にしてそれぞれ63万 m<sup>3</sup> 30万 m<sup>3</sup> の地表水が流域外へ流出している。

### 3. 試料採取・水質分析及び解析方法

現地調査は4回——1976年2月・9月及び1977年2月・9月——行い 採取地点107箇所 採取試料数154点である。採取試料の内訳は温泉4点 湧泉19点 地下水(井戸)109点 河川水22点である。なお 本地域は水

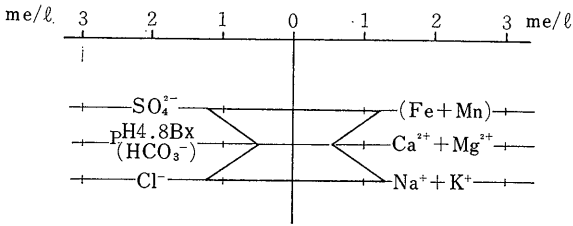
第1表 mg/l→me/l換算係数

成分	換算係数	成分	換算係数
Cl <sup>-</sup>	0.0282	Ca <sup>2+</sup>	0.0499
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.0208	Mg <sup>2+</sup>	0.0822
pH4.8Bx (CaCO <sub>3</sub> mg/ℓ)	0.0200	Na <sup>+</sup>	0.0435
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0164	K <sup>+</sup>	0.0256
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0161	Fe <sup>2+</sup>	0.0358
		Mn <sup>2+</sup>	0.0364

位の季節変動があるため 採取地点の一部については2～4回重複して試料採取を行っている。

水質分析は水温 pH 導電率 溶存酸素(DO) pH 4.8Bx (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Cl<sup>-</sup> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> F<sup>-</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Fe Mn SiO<sub>2</sub>の17成分である。水質分析結果の解析には 主要成分からヘキサダイアグラム(六成分水質図)とキーダイアグラム(水質型図)を作成し 両者を用いて まず地下水を同一水質型に区分した。次にそれらの分布域 河川や温泉などとの関連を加味して検討を行った。なお 水質解析にあたって分析値 mg/l は当量値 me/l に換算している。換算係数を第1表に示す。

ヘキサダイアグラムは 第2図の成分配置で各当量値



第2図 ヘキサダイアグラム

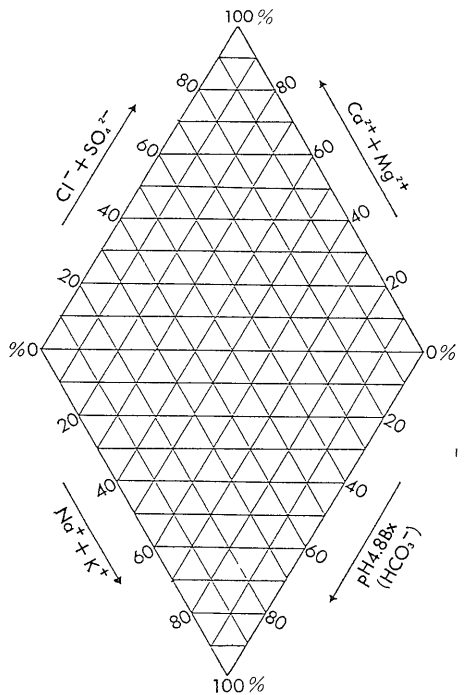
をプロットし 各点を結んだものである。この図は図の形が水質型を 図の大きさがほぼ溶存成分量を表わす。図が単純であり 水質の比較・区分に便利である。

キーダイアグラムは 当量値を用いて各試料の

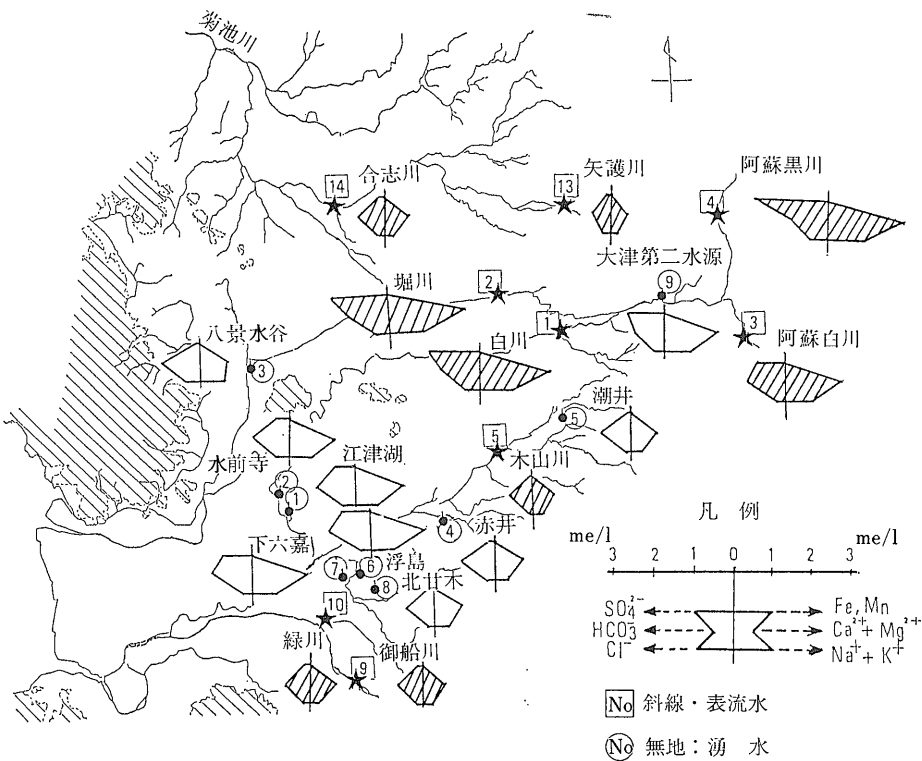
$$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 (\%)$$

$$\frac{HCO_3^-}{HCO_3^- + Cl^- + SO_4^{2-}} \times 100 (\%)$$

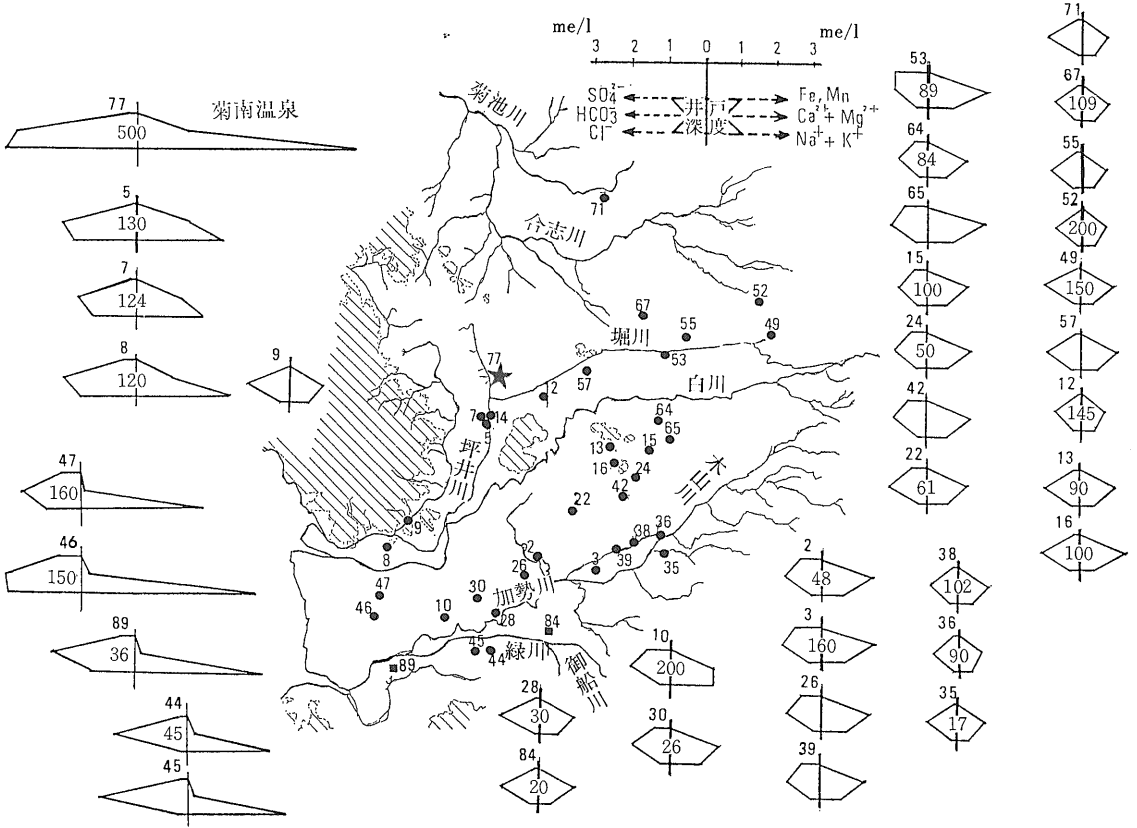
を計算し それらを第3図の両百分比の交点にプロットして作成する。この図は水質型のみしか指示しないが同時に多数の試料をプロットできるので 水質型の分類と 相互の関連性の把握に便利である。



第3図 キーダイアグラム



第4図 河川・湧泉の水質 (永井ほか 1983)



第5図 地下水の水質 (永井ほか 1983)

#### 4. 水質と水系区分

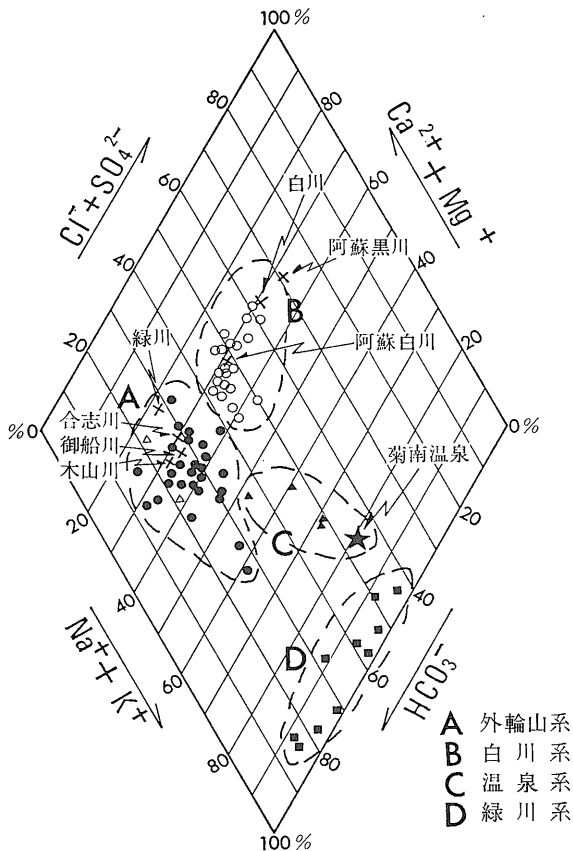
##### 1) 河川水・湧泉の水質

主要な河川・湧泉の水質をヘキサダイアグラムで採取地点上に図示したのが第4図である。なお河川は斜線で区分した。まず緑川・御船川・木山川・合志川など本地域の大部分の河川はその水質型がCa-HCO<sub>3</sub>型で溶存成分量が少なくほぼ類似した水質である。しかし白川だけは上流の阿蘇黒川・阿蘇白川・分水路の堀川も含めて水質型がCa-SO<sub>4</sub>型でかつ溶存成分量が多く特異な水質となっている。これは主要な集水域が阿蘇カルデラであるため火山活動や温泉の影響を受けているからであろう。次に湧泉の水質はほぼ2つの型に大別される。1つは八景水谷・赤井・潮井などの型——水質型はCa-HCO<sub>3</sub>型で溶存成分が少ないものもう1つは水前寺・江津湖・浮島などの型——SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が多く溶存成分も多いものである。後者の分布域は地域的に限定されている。

##### 2) 地下水の水質

これも主要なものをヘキサダイアグラムで第5図に図示した。試料数が多いのでヘキサダイアグラムは欄外に表示しそれぞれの採取地点は番号で対応させてある。なお図中の数字は井戸の深さ(m)である。本地域の地下水の水質は地域的に非常に特徴的な差異が見られる。東側の台地部は前述の湧泉の場合と同様な傾向がある。すなわち堀川を北限とする菊陽町と大津町から江津湖周辺までは水前寺・江津湖型の水質の地下水が分布しそれををさんで東西両側には八景水谷・赤井型の水質の地下水が広範囲に分布する。両者の境界は北は堀川西は基盤の突出する小さい山を結ぶ線東は木山川流域のNo.38とNo.39の間である。

次に八景水谷周辺の深い(深度120m以上)井戸から採取した地下水は水質型がCa-HCO<sub>3</sub>型とNa-Cl型の間で溶存成分量が非常に多く水温も20数度と高い。No.77は温泉水(菊南温泉)であるがこれらと水質が似かよっている。また坪井川下流のNo.8も同様な水質である。次に緑川下流域の地下水は全く異質な水質を呈している。すなわち水質型がCa<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>の



第6図 キーダイアグラムによる水系区分 (永井ほか 1983)

非常に少ない  $\text{Na}-\text{HCO}_3$  型である。ただし一部塩水化によって  $\text{Cl}^-$  の多いものもある。また 緑川中流域の地下水 (NO.28,84) が 水質型と溶存成分量において周辺の地下水と水質が異なっている。

### 3) 水系区分と分布域

本地域の湧泉・地下水の水質には 前述のとおり地域的にはっきりした差異が認められる。これを第6図のキーダイアグラムでみると 本地域の湧泉・地下水の水質型は 次の4グループの地下水に明瞭に区別できる。

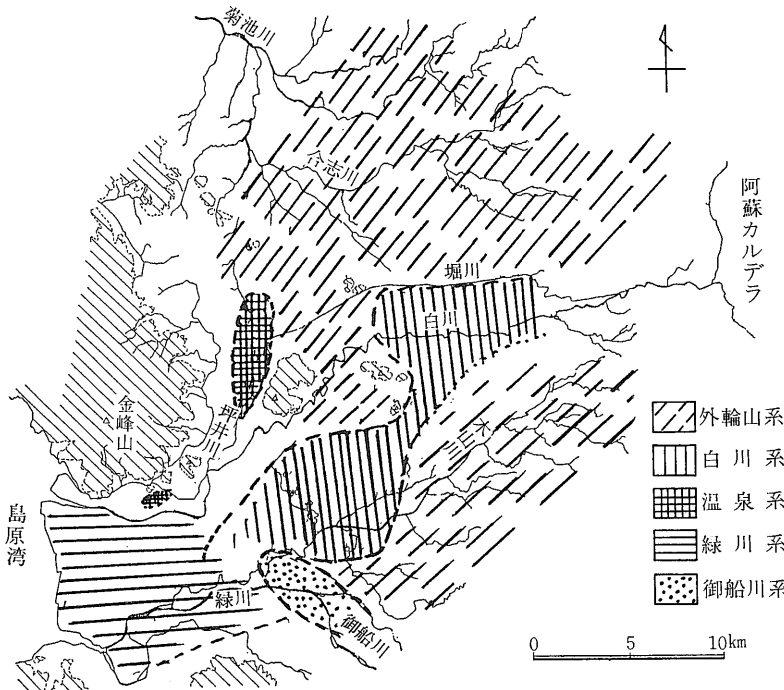
Aグループは 東側の台地部に広範囲に分布し 外輪山及び台地上の降水が起源であると考えられるのでこれを“外輪山系地下水”とする。

Bグループは 白川と前記外輪山系地下水分布域との間にプロットされ 白川表流水と外輪山系地下水とが混合した地下水と考えられるのでこれを“白川系地下水”とする。

Cグループは 菊南温泉と外輪山系地下水分布域との間にプロットされ 温泉水と外輪山系地下水とが混合した地下水と考えられるのでこれを“温泉系地下水”とする。

Dグループは 分布域が緑川下流域なので“緑川系地下水”とする。

なお 御船川下流域から加勢川中流域にかけての地下水は キーダイアグラムでは外輪山系地下水との区別が



第7図 各水系分布域 (永井ほか 1983)

第2表 各水系の水質一覧表 (永井ほか 1983)

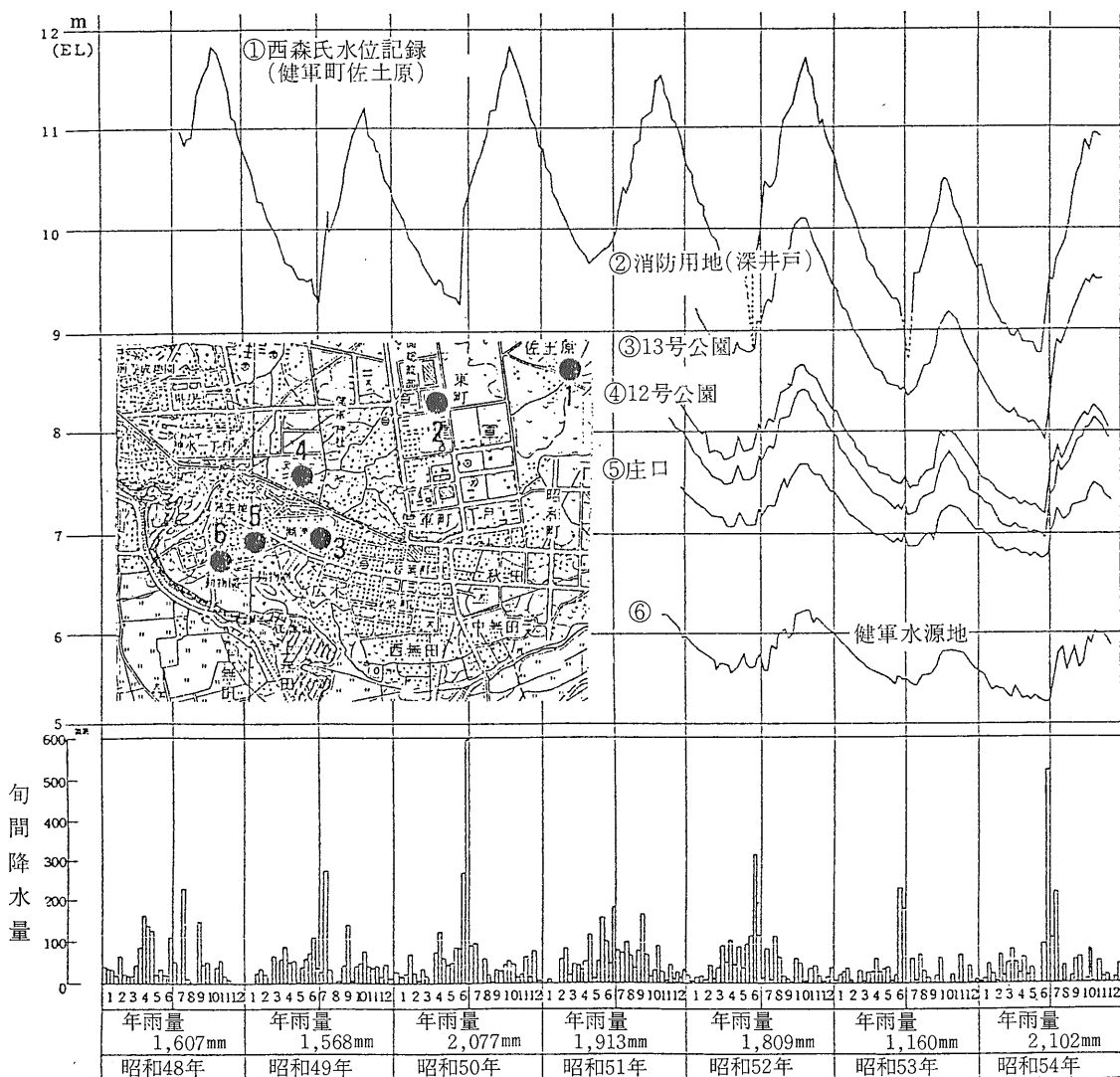
代表的ヘキサダイアグラム		
外輪山系	<p>52 大津町 本田技研3号井</p>	<p>水質型……Ca-HCO<sub>3</sub>型                      溶存成分量……最少                      DO 8~10mg/l 多い                      NO<sub>3</sub><sup>-</sup> かなり多い                      F<sup>-</sup> 0.1mg/l前後 少ない                      Fe, Mn, 少ない                      起 源……外輪山、台地上の降水</p>
白川系	<p>2 熊本市 健軍13号井</p>	<p>水質型……Ca-HCO<sub>3</sub>型とCaSO<sub>4</sub>型の間                      溶存成分量……やや多い                      DO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Mn, 外輪山系と同じ                      SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 20~40mg/lと多い                      F<sup>-</sup> 0.2mg/l前後で外輪山系の2倍                      起 源……外輪山系と白川表流水の混合</p>
温泉系	<p>5 熊本市 八景水谷1号井</p>	<p>水質型……Ca-HCO<sub>3</sub>型とNa-Cl型の間                      溶存成分量……本地域最多                      水温 20数度Cと高い                      DO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, かなり少ない                      F<sup>-</sup> 0.8~1.0mg/lと多い                      起 源……深部よりの温泉水と外輪山系の混合</p>
緑川系	<p>47 飽田町 2号井</p>	<p>水質型……Na-HCO<sub>3</sub>型                      一部Na-HCO<sub>3</sub>型とNaCl型の間                      溶存成分量……多い                      Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 極端に少ない                      DO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 少ない                      Fe一部に多い                      起 源……不明 停滞性地下水</p>
御船川系	<p>28 熊本市 木部町</p>	<p>水質型……Ca-HCO<sub>3</sub>型                      溶存成分量……少ない                      SiO<sub>2</sub> 40数mg/lと本地域最少                      DO 2mg/lと少ない                      NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 少ない                      ここだけ“カラー”栽培適                      起 源……御船川が緑川より涵養</p>

困難であるが 外輪山系地下水とは起源を異にすると考えられるので これを“御船川系地下水”とすることにした。次に 上述のとおり区分した各地下水系の分布域を 第7図に示す。

4) 各地下水系の特徴

各地下水系の代表的ヘキサダイアグラムと それぞれの特徴・起源を第2表に一覧表として示す。ここでは 2点だけ補足説明しておく。

緑川系地下水の水質型——Na-HCO<sub>3</sub>型で Ca<sup>2+</sup>・Mg<sup>2+</sup>が少ない——は 一般に第三紀層中や温泉の一部



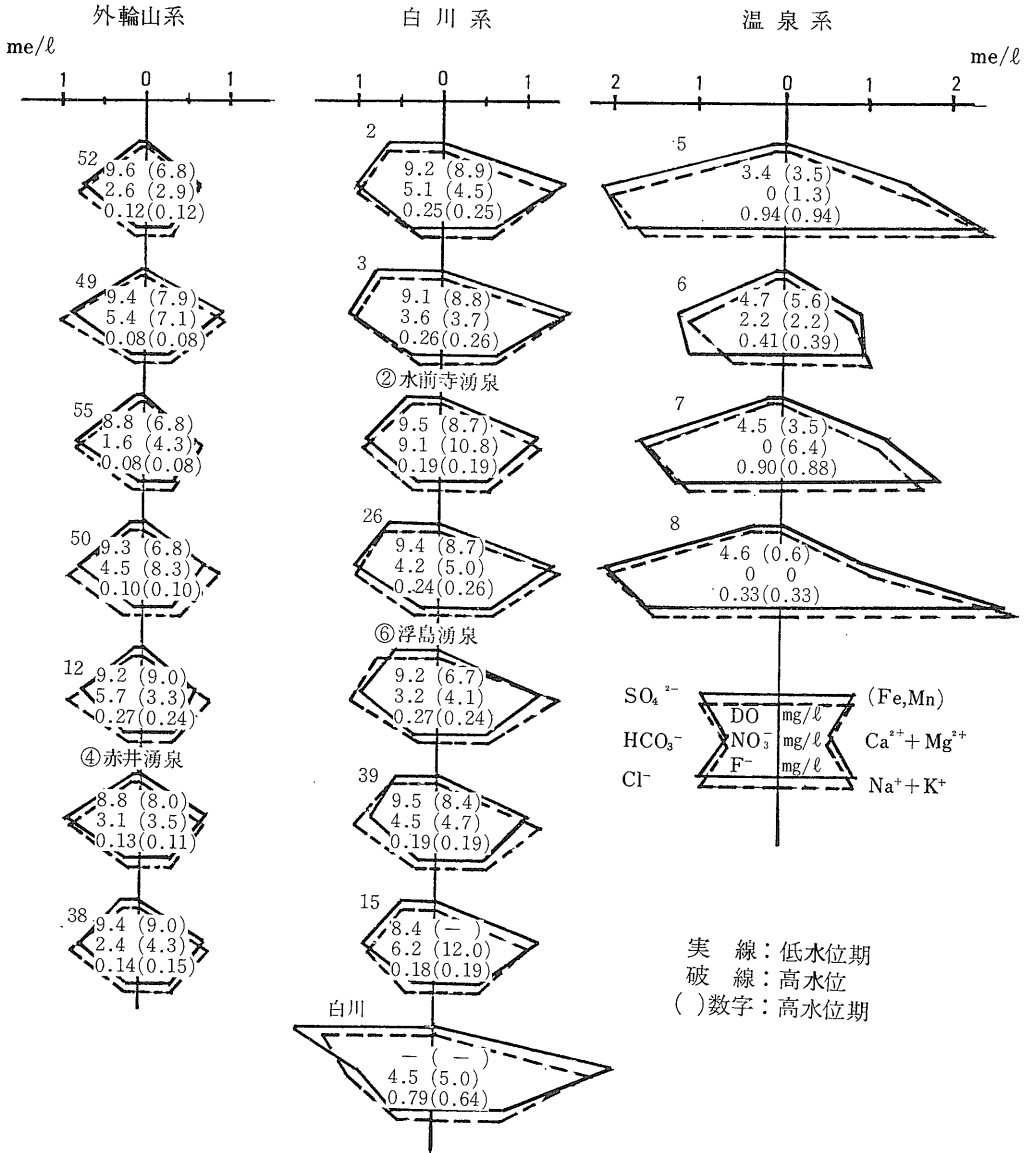
④年降水量 昭和46年2,119%  
昭和47年2,415%

第8図 健軍水源池周辺の地下水位 (観倉ほか 1980)

(本地域では山鹿温泉・菊池温泉がこの型)などに多く見られるものである。地下水は帯水層中を流動する過程で帯水層及びその周辺の粘土鉱物と吸着・置換反応を行いとくに水中の  $Ca^{2+}$ ・ $Mg^{2+}$  が粘土鉱物中の  $Na^+$  と置換することが多い。そのため地下水が長期間流動すると  $Ca^{2+}$ ・ $Mg^{2+}$  が極端に少ない  $Na-HCO_3$  型の特異な水質となると考えられる。これらのことから緑川系地下水の分布域を“停滞水域”とした。緑川下流域は一見上流域から水が集まる地域と考えられるが水質の観点では涵養量が少なく流動速度のおそい地域であると推定される。それが原因してか、緑川下流域の一部に

は地下水の汲上げに起因する塩水化・地盤沈下という地下水障害が発生している。

次に御船川系地下水に関連して——加勢川中流域の木部町一帯では地下水を利用した“カラー”(水芭蕉に良く似た白い花で切花として珍重されている)のフレーム栽培が盛んに行われている。このカラー栽培には水質が大きく影響して木部町の中でも少し西に離れると葉ばかり生育してしまい商品にならないという。カラー栽培に不適な地区の地下水は白川系地下水であり  $NO_3^-$  が多く含まれている。カラー栽培に最適の地区の地下水は水質型・溶存成分量が外輪山系地下水と似ている。



第9図 低水位期と高水位期の水質比較 (永井ほか 1983)

しかし DO・NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及び SiO<sub>2</sub> が外輪山系地下水より少なく とくに DO・NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が少ない点で大きく異なっている。このことから最適の地下水は 御船川あるいは緑川から涵養された地下水であって 外輪山系地下水とは別個のものであると考えられる。

### 5. 地下水位の季節変動と水質

本地域の地下水位が かんがい期 (5~9月) に高く 非かんがい期 (10~4月) に低いという季節変動があることは前述のとおりで 第8図に地下水位経年変動の一例

を示す。水位の変動が水質に与える影響の度合を 高水位期 (9月) と低水位期 (2月) の水質比較によって確かめた。第9図は 両者のヘキサダイアグラムを重ねて表示し また特殊成分として DO・NO<sub>3</sub><sup>-</sup>・F<sup>-</sup> の含有量を図中に記入したものである。実線及び数値は低水位期 破線及び ( ) 内の数値は高水位期のものである。

外輪山系地下水は 全体的に高水位期に主成分及び NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が増加する。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> の増加は かんがい期に地表で使用する肥料に原因があると考えられる。DO は湧泉・自噴井を除く台地上の井戸で高水位期に減少する。



第3表 浮島湧泉の経時変化 (永井ほか 1983)

	採水年月日	水温	導電率 uS/cm	pH	DO Omg/ℓ	pH48B <sub>x</sub> CaCO <sub>3</sub> mg/ℓ	Cl <sup>-</sup> mg/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/ℓ	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/ℓ	F <sup>-</sup> mg/ℓ	Ca <sup>2+</sup> mg/ℓ	Mg <sup>2+</sup> mg/ℓ	Na <sup>+</sup> mg/ℓ	K <sup>+</sup> mg/ℓ	SiO <sub>2</sub> mg/ℓ	時期
浮島湧水	1977.2.26	19.5	170	7.8	9.2	47.4	10.3	26.2	3.2	0.27	13.3	6.8	10.3	5.2	55.4	渴
	1977.9.23	21.5	208	8.1	6.7	48.0	9.6	33.3	4.1	0.24	17.0	5.7	11.8	5.0	47.2	豊
	1978.2.23	19.2	183	7.2	9.4	44.4	7.4	25.0	2.8	0.22	14.3	5.0	10.3	4.1	57.2	渴
	1978.9.24	23.4	224	7.1	8.2	52.0	9.1	35.5	2.8	0.27	14.9	8.4	11.9	4.3	49.8	豊

第4表 加勢川・白川・菊池川流域における相互の流出入水の明細 (靱倉 1982)

水系	流量観測点	流域面積 ① ×10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	流域損失 年間 ② m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	蒸発散量 年間 ③ m	相対損失高 年間 ④=②-③ m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	地下水の 流域変更量 ⑤ ×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	地下における流域外流出量 年間平均 ⑥=①×④-⑤ (日量)	推定される流出入先 日量 万m <sup>3</sup>
菊池川	山鹿測水地点 ただし合志川を差引済	429	0.6	0.65	-0.05	ナシ	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ・×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> -21 (-6)	合志川から菊池川 本川へ 6
〃	合志川 (佐野橋)	157	1.5	0.8	0.7	ナシ	110 (30)	合志川から加勢川へ24. 合志川から坪井川へ0.5
白川	世継橋	477	1.2	0.65	0.55	31.1 渡鹿等から	231 (63)	白川から坪井川へ3 白川から加勢川へ60
加勢川	大六橋	220	-1.0	0.7	-1.7	ナシ	-374 (-102)	合志川から24. 白川から 60. その他から18

これは高水位期には帯水層(溶岩など)が水で飽和状態になるが、低水位期にはその一部に空隙が生ずるためと考えられる。

温泉系地下水は高水位期に溶存成分が減少する。これは外輪山系地下水と深部から湧出する温泉系との混合の割合に関係があり、高水位期には地下水圧が高いため、外輪山系地下水の割合が多くなるためと推測される。

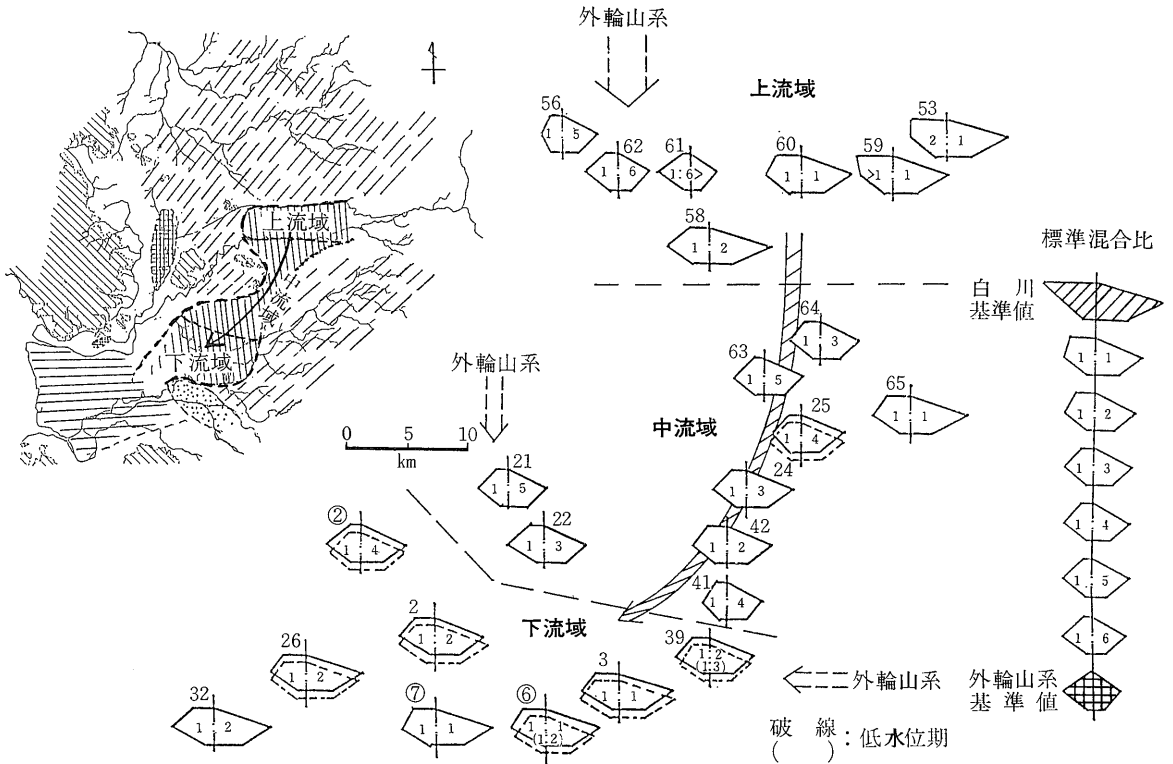
白川系地下水は外輪山系地下水との境界に近いNo. 39 ⑥で高水位期に溶存成分が増加し、低水位期にはその逆になる。これは高水位期には白川系地下水の水圧が高いため、外輪山系地下水が白川系に入り込まず、逆に低水位期には水圧が下がるので、外輪山系地下水が大量に混入して希釈するためと考えられる。これに対し、白川系地下水域の中央部での水質変化は少ない。No. ⑥(浮島湧泉)は2年間で各2回、計4回の水質分析を行ったが、第3表に示すように、両年とも高水位期の溶存成分量が低水位期よりも多くなっている。

## 6. 白川からの地下水涵養と流動の解明

### 1) 白川からの地下水涵養

流量測定(第4表)によると、加勢川流域には年間3億7千万m<sup>3</sup>、すなわち日量約100万m<sup>3</sup>の水が流域外から地下水として流入している。一方、白川からは日量63万m<sup>3</sup>、合志川からは30万m<sup>3</sup>の地下水が流域外に流出しており、これらが加勢川流域にまわることはほぼ確実である。白川からの流出=地下水涵養には、大津町・菊陽町を流れる堀川から南方の託麻台地に広がる水田と、かんがい水路とが大きな役割を果たしている。

託麻台地は極めて透水性の良い託麻砂礫層で形成されていて、水田にかんがいた水は大半が容易に地下に浸透してしまう。そのために、かんがい水を大量に白川から引いて使用することになる。このことは、一般的な水田の日減水深が20~30mmであるのに対し、託麻台地ではそれが165~285mm(取水量/かんがい面積)に達することからも裏付けられる。この大量に使用されるかんがい用水は、上井手用水(堀川)など、白川から分水されたいくつかの分水路で全てまかなわれている。



第10図 白川系地下水の混合比 (永井ほか 1983)

中でも最大規模の堀川は 常時  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$  最大  $14 \text{ m}^3/\text{sec}$  日量にして  $70 \text{万} \sim 120 \text{万} \text{ m}^3$  の水を白川から導水している。しかし その下流の八景水谷北方の坪井川に流入する寸前には 流量  $1 \text{ m}^3/\text{sec}$  に減少している。従ってこの間で用水のほとんどが水田や水路を通して地下に浸透していることは明らかである。託麻台地全体では 日量にして  $240 \text{万} \sim 330 \text{万} \text{ m}^3$  の水が白川から水田のかんがいに引水されている。仮にその半分が地下浸透したとしても その水量は日  $100 \text{万} \text{ m}^3$  を超えることになる。このように 白川からの流域外流出＝地下水涵養が かんがい期において託麻台地上の水田で行われていることは水文学的にはほぼ確実視されている。筆者らは 白川より涵養を受ける地下水を前述のように白川系地下水として区分したが 白川表流水と外輪山系地下水の水質的な差異を利用した“混合比”を用いて白川系地下水の流動機構を水質面からさらに詳細に検討した。

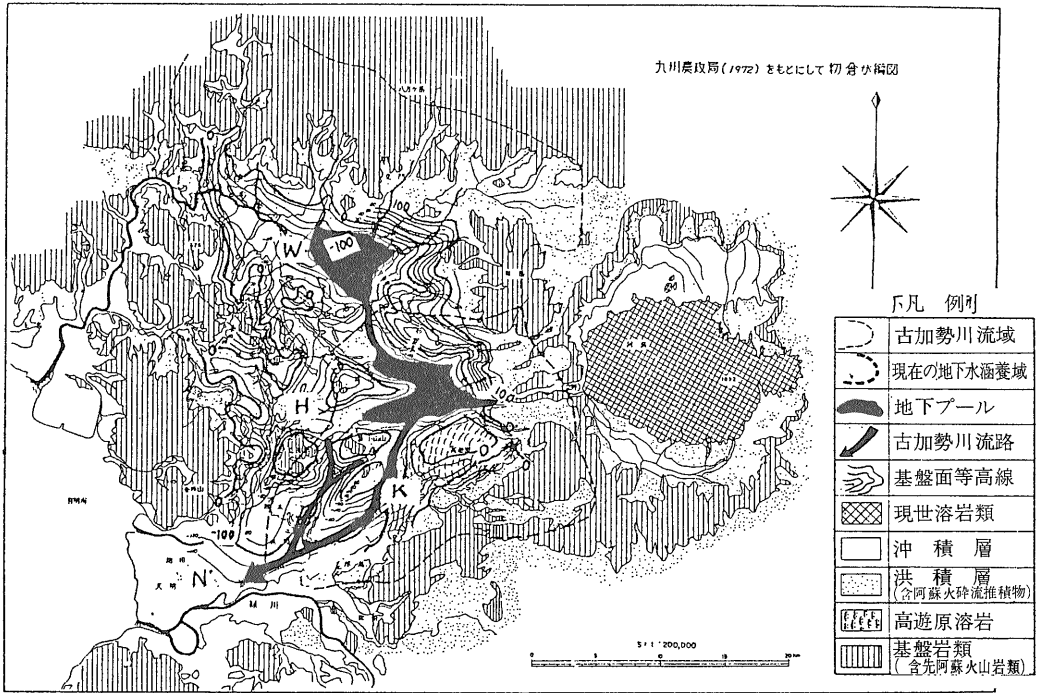
## 2) 混合比

白川系地下水は外輪山系地下水と白川の表流水とが混合したものである。両者の水質が大きく異なるので水質から両者の混合割合を求めることが可能である。ただし 基礎となる両者の水質 とくに白川の水質が大

きく変動するので この点を留意する必要がある。本研究では 4 回の現地調査を行った。そのつど採水した白川表流水の 4 回の分析値の平均を白川表流水の“基準値”とし 外輪山系地下水は 堀川以北の 5 井の平均値をその“基準値”とした。両基準値をもとに 白川 1 容に対する外輪山系地下水の割合 (混合比) が 1 容から 6 容まで  $1:1 \sim 1:6$  になる混合水質値を求め これから標準混合比のヘキサダイアグラムを作成する。次に、白川系地下水の各試料のヘキサダイアグラムと先に作成した標準混合比のヘキサダイアグラムとを比較してそれぞれの混合比を求め 図中に記入する。このヘキサダイアグラムを 白川系地下水の拡大図の各採取地点上にはり付け 水文学的見地から 上流域 (涵養域) 中流域 (流動通路域) 下流域 (流出域) に区分して 涵養と流動を検討する (第10図)。

## 3) 上流域 (白川系地下水の涵養域)

No. 53 59 60の混合比は  $1:1$  あるいはそれ以上となっている。ただ意外なのは その西側の地域の No. 56 61 62の混合比が  $1:5$  あるいは  $1:6$  以下と小さく 白川からの涵養量が少ないように見えることである。水文環境がほぼ同じなのになぜであろうか。



第11図 阿蘇西麓台地の基盤地形と古加勢川流域 (切倉ほか 1980)

水文調査によれば 加勢川流域には合志川流域からも地下水が流入しているという。切倉(1982)は 阿蘇火山噴出物が堆積する以前の古地形を調べた結果 合志川流域から江津湖方向に向けて古加勢川の谷があり この谷を通して合志川・白川流域から現加勢川流域に地下水が流動する としている(第11図)。この切倉説と対比すると 混合比の小さい流域がまさにその古加勢川の谷に相当する。そして白川からの涵養量をはるかに上回る大量の外輪山系地下水が北側の合志川流域から流入して 白川系地下水を希釈するために 混合比が小さくなったと考えることが出来る。大津町の地域には井戸がないので 水質データは得られなかった。しかし かんがい用水路の発達状況などからみて この地域も大量の地下水を涵養する地域であることはほぼ確実である。

#### 4) 中流域(白川系地下水の流動通路域)

この流域では白川系地下水は 現地形とはかかわりなく全く別の通路 つまり前述の古加勢川の谷を通して下流域に流動する。そして中央部の空港道路付近の流動範囲は 基盤岩の影響を受けて非常にせまく くびれた形になっている。混合比は 空港道路より北では東側が大きく西側が小さく 上流域での涵養の違いを反映している。一方 空港道路より南側の混合比は 1:2 ~ 1:4 で次に述べる下流域のそれよりも小さい。上

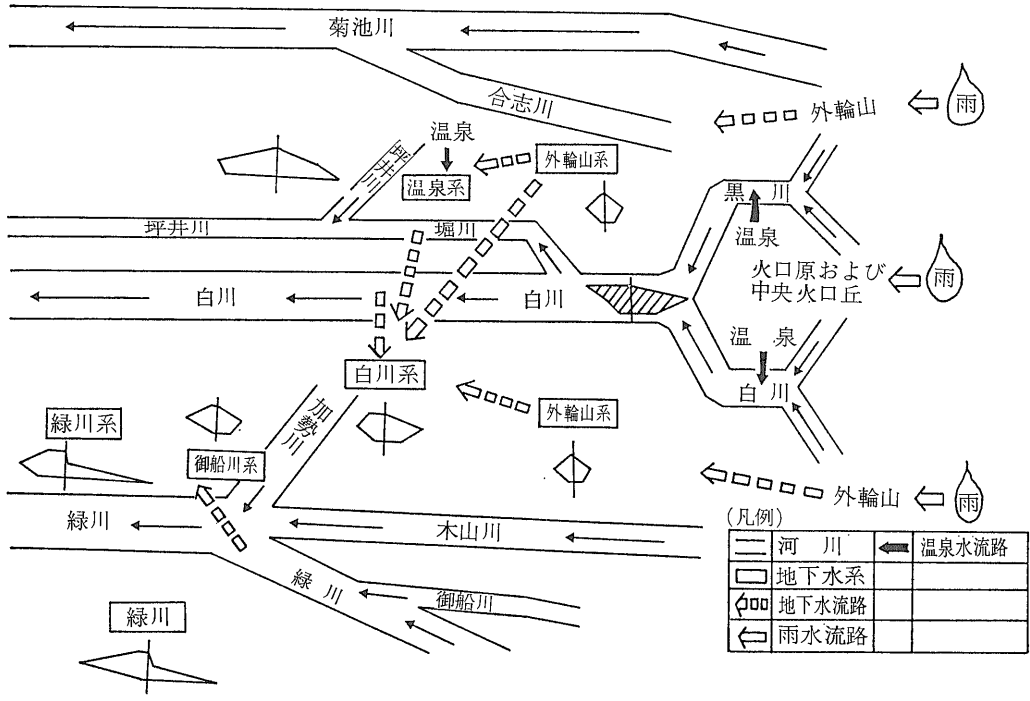
流から下流へという白川系地下水の一連の流れにおいて 水系外から外輪山系地下水が流入するから 本来なら下流ほど混合比が小さくなる筈であるが 実際は逆になっている。これについての検討は下流域の項で述べる。

台地西部の No. 21 22は 下流域の No. ②(水前寺公園)も含めて混合比が小さい。これは 北側より外輪山系地下水の流入があり 希釈されるためである。

#### 5) 下流域(白川系地下水の流出域)

この地域一帯の地下には 砥川溶岩が分布して 一種の地下貯水池を形成している。ポンプ揚水をしている水道水源を除くとほとんどの井戸が自噴井であり 湧泉もまた多い。下流域の混合比は 1:1 ~ 1:2 であり 中流域より大きい。なぜ下流域の方が混合比が大きいのか 幾つかの仮説が考えられる。すなわち

- ① 白川系地下水の上流域から下流域への本流は 中流域では試料採取した井戸よりもっと東側を通る。
- ② 白川系地下水の本流は 中流域では非常にせまい通路を流れており 採水した井戸はその通路からはずれている。
- ③ 地下水の流動速度が遅く 中流域と下流域で数年 ~ 10年位の時差があり その差が水質に反映している。
- ④ 下流域にある砥川溶岩の大きな地下貯水池に現在



第12図 熊本平野の地下水流動模式図 (永井ほか 1983)

の水質よりも悪かった (溶存成分が多い) 時期の白川の水を大量に貯水していた。この場合 白川からの涵養量 外輪山系地下水との混合比が現在と同じであっても 白川の基準値が大きくなるので 砥川溶岩に貯水されている水の混合比は現在の混合比より大きくなる。そのため現在 上・中流域から流入する水の混合比が 1 : 2 ~ 1 : 3 であっても 以前に貯水されていた混合比の大きい水と混り合って流出するため 流入水より流出水の混合比が高くなるという考え方である。現時点では結論を出し得ないが ②あるいは④の可能性が大きいと 筆者らは考えている。

6) 白川からの地下水涵養量

未解明の点が残されているが 下流域の混合比が 1 : 1 ~ 1 : 2 であることから 上流域で水路・水田を通して地下に浸透し 古加勢川の谷を流動して加勢川流域に流出する白川の水の量は 下流域での総流出量の 1/3 強と考えられる。

7. 熊本平野における地下水涵養・流動機構

最後に 総まとめとして水質からみた熊本平野における地下水の涵養と流動について 水系区分との関連を含めた模式図を示す (第12図)。

おわりに

熊本平野の地下水調査では 水質—水文化学的手法をとり入れて 1) 地下水系の区分 2) 水系相互の関係 3) 水質の差を利用した混合比法による地下水の涵養と流動 4) 地下水障害発生の可能性など これまで水文地質学的手法だけでは不十分であった点を解明することができた。一般に 従来の地下水調査において 水質は水の使用面で良・否の判定などに利用されることが多く また化学分析はその専門家に一任されて 水文化学と水文地質学の両面からの考察がほとんどなされていない といえる。今後は 地下水研究に水質の手法を十分にとり入れられることを期待するものである。最後に 本稿をまとめるにあたり 種々御指導いただいた地質調査所環境地質部水資源課主任研究官村下敏夫氏に深謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 永井 茂 石井武政 黒田和男 (1983) : 熊本平野の水文化学的研究 工業用水 No. 296
- 2) 初倉克幹他 4名 (1980) : 熊本市及びその周辺の地下水について 熊本市水道局
- 3) 初倉克幹 (1982) : 流域をまたがる広域涵養帯の保全の必要性 水資源に関するシンポジウム (第21回) 前刷集 p. 435~441