

阿蘇西ろくにおける地下水かん養

Recharge, discharge of groundwater around western foot area of Mt. Aso

はら だ かず ひこ
原 田 和 彦*た なか のぶ ひろ
田 中 伸 廣**

1. ま え が き

阿蘇外輪山の西ろく台地とこれに連なる熊本平野には、八景水谷^{はけのみや}、水前寺、江津湖や浮島など多数のゆう泉があり、熊本平野は地下水の豊富な地域として知られている。熊本市の上水道水源はこれらのゆう水や地下水を利用して開発され、昭和56年現在で日最大 248 000m³ と我が国の水道企業体のなかでも最大規模の地下水を採取している。また、これらの豊かな地下水を利用して農業や工業が発達し、近年では高速自動車道の開通や熊本新空港の整備に伴い、熊本市はLSIなどの生産基地、シリコンアイランドの中核都市として脚光をあびている。このような産業の発展とともに熊本都市圏は拡大の一途をたどり、都市用水の需要も増大している。熊本都市圏15市町村約 600 km² での地下水採取量は熊本県の調査¹⁾によると昭和54年度では年間 2.7 億m³ にも達している。このためか、平野低地部では地盤沈下などの地下水障害の発生も懸念されている。

これら豊富な地下水は古くから阿蘇火山に源を発するといわれてきたが、近年多くの調査研究によって、地下水のかん養源や流れが次第に明らかにされてきた。阿蘇西ろくの組織的かつ近代的な調査研究は昭和30年代初めから農林省熊本農地事務局を中心に開始された。これらの調査研究の一部は宮本ら²⁾によって公表され、これによると熊本市北西部にある八景水谷ゆう泉群は白川北岸と菊池台地西部の台地でかん養された地下水の流れの合流点にあたり、地表流域約 40 km² に降る雨の約 38%、2 000 万～3 000 万 m³/年によってかん養されることが明らかにされた(宮本ら、1961)。

ここではそれ以後、熊本市水道局、九州農政局、熊本大学や熊本県などによる調査研究をもとに、柴崎達雄、釈倉克幹、吉川満ら諸氏の協力によって、筆者らが進めている調査研究の一部を地下水のかん養と管理という観点から報告するものである。

2. 地下水盆と地下水流動系

熊本平野から阿蘇火山西ろく周辺の水文地質学的研究は九州農政局³⁾、釈倉^{4),5)}、渡辺ら⁶⁾によって進められている。

これらの研究から地下水の入れ物と考えられる地下水盆の形状が明らかにされつつある。また、熊本市水道局^{7),8)}の調査研究によって阿蘇西ろくから熊本平野に至る地下水の流れを広域地下水流動系としてとらえることができるようになってきた。

2.1 地下水盆—古加勢川流域

地下水の入れ物の単位としての地下水盆を帯水層の集合体と考えれば、地下水の流動と変動の場である地下水盆の構造の把握と水文地質学的な帯水層単元の確立がまず必要となる。

阿蘇西ろくにおける基盤岩類は変成岩類、花崗岩類および白亜紀層よりなる。これらの基盤岩類の大部分は阿蘇火砕流堆積物や段丘礫層などに被われているため、現在地表ではそのごく一部しか観察することができない。

阿蘇火砕流堆積物の放出前に既にあった火山岩類は先阿蘇火山岩類とよばれ(渡辺ら、1969)⁹⁾、下位から豊肥火山岩類、坂梨流紋岩類および権現山玄武岩類に細分できる。これらの先阿蘇火山岩類以外に阿蘇火砕流堆積物放出以前の水域に堆積した砂礫層、シルト層、火山灰まじり砂層などの互層より成る湖成層があり、これらは水文地質学的な難透水基盤となる。この基盤岩類が地下水盆の基底となり、図—1に示したような形状を成しているものと考えられる⁹⁾。この地下水盆の形状は数10万年前の阿蘇カルデラ形成以前の古地形を示しており、釈倉により古加勢川流域と呼ばれている⁹⁾。現在ではその後の阿蘇火山活動によって埋められ、地表ではみることはできないが、地下では地下川や地下貯水池を形成していると考えられる。

この地下水盆を埋めている地層は図—2の模式図に示したようになっている。主要な帯水層は(a)島原海湾層、(b)段丘砂礫層、(c)阿蘇火砕流堆積物、(d)砥川溶岩である。

(1) 島原海湾層

平野低地部の有明粘土層下位に分布し、砂を主体とし、礫を伴うこともある。有明海底の—40m面は本層で形成されており、厚さは最大25mに達する。

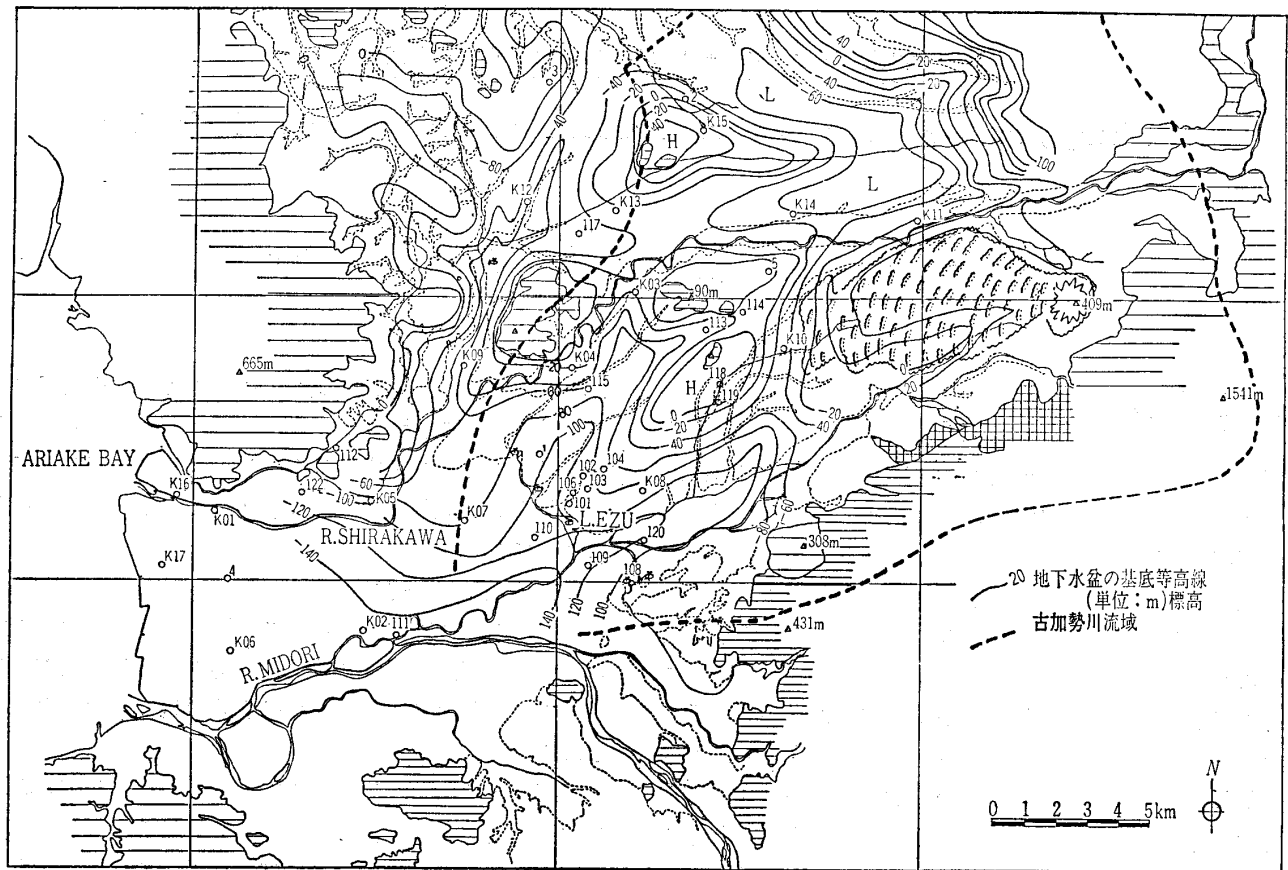
また、本層は鹿児島本線以西の低地部では深度30～50mの小規模な掘抜き井戸による取水の対象となり、被圧地下水の帯水層である。

(2) 段丘砂礫層

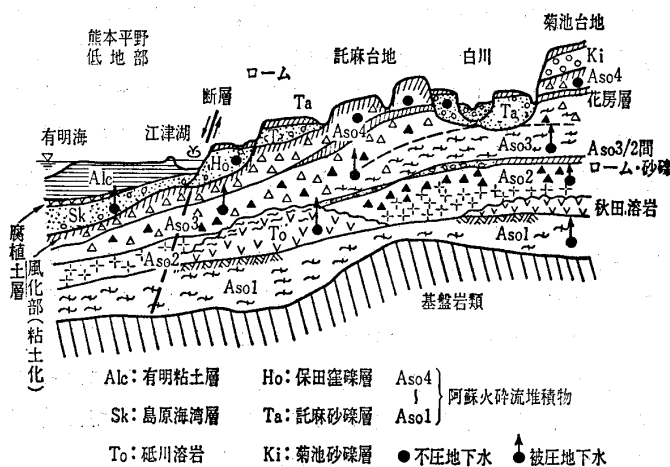
熊本平野の東部から北部にかけて、標高 20m から 200m

*国際航業九州本社 主任技師

**熊本県企画開発部 技師



図—1 阿蘇西ろくの地下水盆と古賀勢川流域



図—2 阿蘇西ろく熊本平野の水文地質模式図

程度の洪積台地が広がっている。これらは標高の高い方から(a)菊池面, (b)託麻面, (c)保田窪面と3段の地形面に区分される。これらの段丘は砂礫と上部のロームより構成され, 下位の阿蘇火砕流堆積物(Aso 4)の風化粘土部を難透水層とし, 不圧地下水の帯水層を形成する。

(3) 阿蘇火砕流堆積物と放出間隙物

阿蘇火山周辺に広く堆積する阿蘇火砕流堆積物は, 火砕流放出間隙の間隙物である降下火山灰, 水成堆積物, 溶岩流によって, 堆積時代の古い方から(a) Aso 1, (b)砥川溶岩, 秋田溶岩, (c) Aso 2, (d) Aso 3/2 間ローム・砂礫, (e) Aso

3, (f)高遊原溶岩, 花房層, (g) Aso 4 に分類できる。

Aso 1 火砕流堆積物は全般的に溶結度が高く, 割目や節理が発達し, 基盤の低所を埋めて堆積している。結晶化して硬く, 裂か水を帯水する。

阿蘇火砕流堆積物のうち, Aso 2 と Aso 3 は非溶結から中溶結で, 一部では強溶結の岩さい(滓)流となって谷を埋めている。非溶結から中溶結部は有力な被圧地下水の帯水層となる。また, Aso 3/2 間では一部で河成の砂礫堆積物を挟む。

Aso 4/3 間間隙物である花房層は当地域の北東部に広く分布するロームおよび粘土の難透水層である。本層の厚さは10m前後であり, この分布が盆状の構造をなす菊池台地では, Aso 4 火砕流堆積物と段丘砂礫層が共通の帯水層単元を構成し, 大規模な宙水帯を形成している²⁾。

Aso 4 火砕流堆積物は当地域に広範囲に数10m以上の厚さで分布する軽石流の堆積物である。台地の西部およびその西側では本層の上部は風化し, 粘土化して難透水層となる。本層上位の段丘砂礫層では不圧地下水が帯水し, 更に下位の砥川溶岩の地下水を加圧する役目も果たす。

(4) 砥川溶岩

砥川溶岩は Aso 2/1 間の間隙物で, 熊本市の中心部から嘉島町の東部にかけて分布し, 比較的多孔質な溶岩である。この砥川溶岩は岩質から二分され, 上部の10m前後は極めて多孔質で高い透水性と貯留性を持ち, 阿蘇西ろく一帯でかん養された大量の地下水を貯留し, あたかも地下の

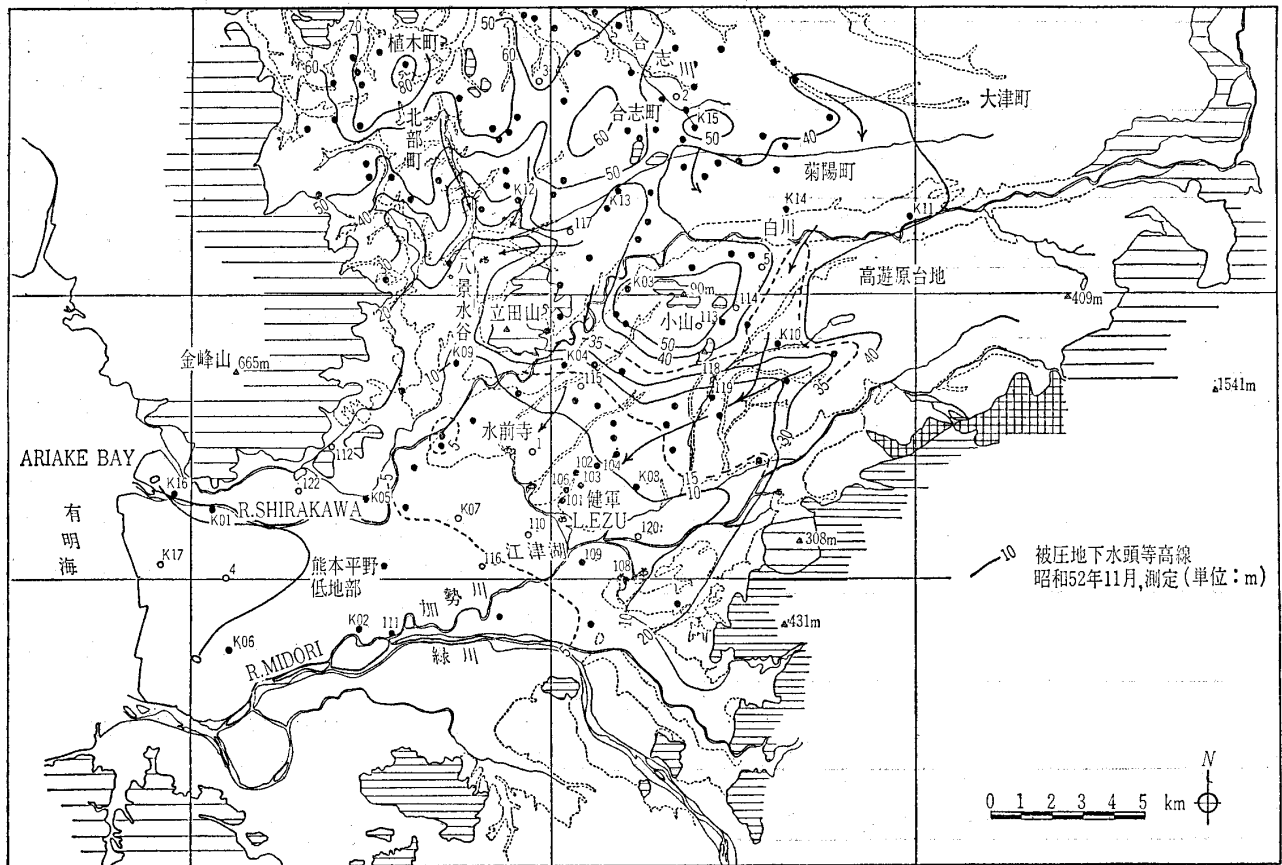


図-3 被圧地下水頭分布図と地下水流動系（昭和52年11月）

一大貯水池の役目を果たす。この地下ダムからあふれた地下水が、水前寺・江津湖ゆう泉群のゆう水となるとともに熊本市水道局の健軍・沼山津などの諸水源地の水源となる。

以上のように阿蘇火砕流堆積物は火山から放出された時の条件および流下や堆積時の条件の相異によって、しらす状から溶結凝灰岩状と著しく異なった岩相を呈する。このため、同じ層序の堆積物でも岩相によって有能な帯水層となったり、難透水層や加圧層となるうえに、難透水層が介在する場合には、各々の火砕流は独立した帯水層単元を構成する。

2.2 地下水流動系

地下水の流れは地下水盆の構造や帯水層の性状によって規制され、地下水のくみあげや地下ダムなどの人工的な条件によって大きく変化する。

地下水流動系は多数の井戸の水位測定記録や地下水観測井の記録から地下水面図あるいは被圧地下水頭等高線図を作図することから明らかにすることができる。

図-3は昭和52年11月時点のAso 3以深の深井戸の測水記録より作図したものである¹⁰⁾。地下水流動系は大別して二つあり、一つは阿蘇西ろくの白川北岸から合志川にまたがる地域から白川の下を流下して、高遊原台地の西縁を南下し、ここで東側からの地下水を合流して南西の水前寺・江津湖ゆう泉群に至る流動系である。この流動系は図-1に示した古加勢川流域の菊陽町白川北岸から江津湖に至る

地下谷に一致するものである。

すなわち、大津町から菊陽町、合志町の菊池台地と託麻台地でかん養された地下水は、白川北岸の地下貯水池に貯留され、あふれた地下水は一部西流して八景水谷ゆう泉群に至る。また一部は南西して水前寺へ、大部分の地下水は高遊原の西縁を流下して、砥川溶岩上部の多孔質からなる一大地下貯水池に至り、あふれた地下水は江津湖のゆう水となるのである。

他のひとつの流動系は八景水谷ゆう泉群に至る流れである。この流れは植木町から北部町の阿蘇火砕流堆積物の台地と菊池台地西部でかん養され南下して、一部白川北岸の地下貯水池からの流れを合流して八景水谷に至るものである。

これらの地下貯水池の貯留量の変化は地下水位観測井によって知ることができ、図-4は菊陽町久保田、図-5は西合志町須屋、図-6は熊本市健軍（消防局）の地下水頭の変化を後述する地下水かん養量とともに図示したものである。

地下水頭は5月ごろより上昇を始め、9月から10月にかけて最大となる。その上昇量は年によって異なるが、久保田で10m程度である。昭和53年7月から54年5月にかけては降水量が少なく、これに伴って地下水頭の上昇も少ない。

江津湖上流にある図-5の観測井の水頭は前述した砥川溶岩の被圧地下水頭を示したものである。これは健軍地下一帯にある砥川溶岩の上部多孔質部に貯留された、一大地

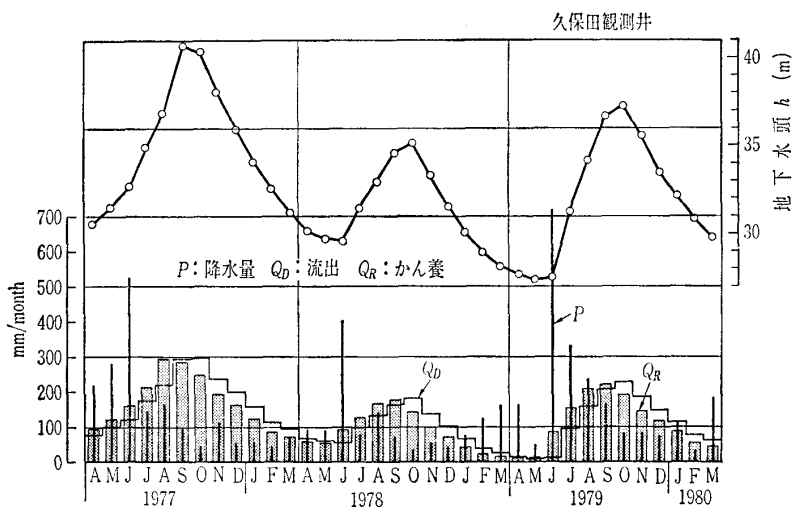


図-4 阿蘇西ろく地下水区(久保田)の地下水頭変化とかん養量

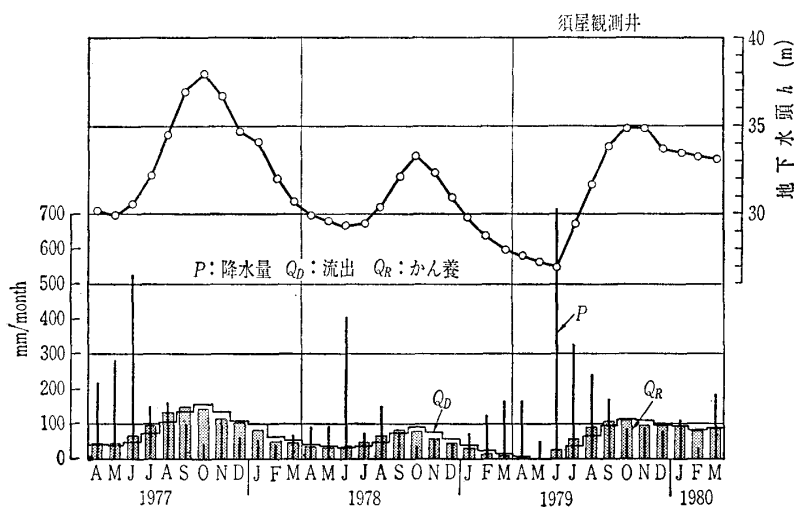


図-5 八景水谷地下水区(須屋)の地下水頭変動とかん養量

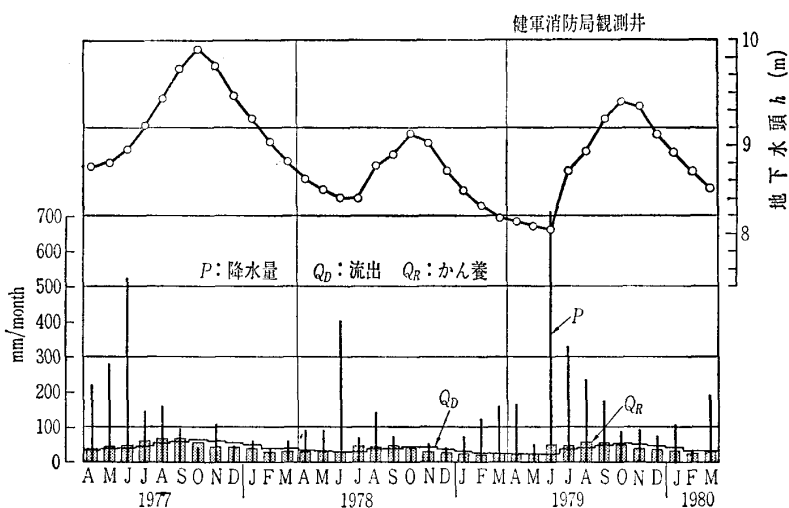


図-6 健軍地下水区(消防局A)の地下水頭変動とかん養量

下貯水池の貯留量変化を示している。この水頭も5月から8月にかけて上昇し、10月でピークに達する。ただし、地下貯水池の容量が大きいいためか、その上昇量は0.8~1.4m程度である。

このように5月から6月にかけて地下水頭が上昇し、10

月以後下降する原因は阿蘇西ろくから江津湖上流(健軍)に至る広い台地への降雨とかんがい用水のかん養によるものと考えられる。

2.3 ゆう水量

上流域でかん養され、水前寺・江津湖ゆう泉群に向かって流下してくる地下水はAso4火砕流堆積物の風化粘土によって被圧化され、砥川溶岩の上部多孔質部に貯留される。被圧化された地下水は、水前寺・江津湖付近では上位の加圧層となるAso4火砕流堆積が薄くなり、かつ断層が存在するという条件が重なって、地表へとふきあがることになる。

水前寺・江津湖ゆう泉群のゆう水量について、定量的かつ連続的に観測された記録はないため不明な点が多い。しかし、昭和48年、49年の熊本県の調査¹¹⁾では平均のゆう水量は水前寺で0.9 m³/s、江津湖で5.9 m³/s、浮島で2.0 m³/sとなっており、合計のゆう水量は8.8 m³/s (76万 m³/日、年間2.77億 m³)と非常に大量のゆう水があることが判明する。

3. 地下水かん養量の評価

以上述べてきたように阿蘇西ろくから熊本平野にかけて流動し、貯留している地下水の開発、保全と管理を考えるうえで阿蘇西ろく台地の地下水かん養量をどのように評価するかが重要となる。

3.1 地下水かん養量評価の方法

菅原(1972)¹²⁾は河川流出の時系列観測値がその流域の降雨パターンに対して明らかな応答関係にあることに注目し、タンクモデルとよばれる流出解析モデルを開発し、河川流出特性をモデル的に再現することに成功している。この流出モデルの考え方はそのまま地下水の流出解析にも応用できる(吉川, 1976)¹³⁾。しかし、地下水系にこの直列タンクモデルを適用する場合には、三段以上の直列タンクモデルとし、最下段のタンクを帯水層タンクとし、帯水層タンクに貯留率の概念を導入して、帯水層タンクの水位を地下水位と考えて、モデルの検証値とする点が、菅原のタンクモデルと異なる点である。

この直列タンクモデルで最下段の帯水層タンクに流入する量が地下水かん養量となる。そこで直列タンクモデルを用いて地下水かん養量を算定したうえで、平面二次元の地下水流動モデルに地下水かん養タンクモデルをサブモデルとして、組み込んで、阿蘇西ろくから熊本平野に至る地下水流動系を再現した例が図-7¹⁾である。こ

の図では地下水の流動量をベクトル表示してあるため、白川北岸から江津湖に至る広域な地下水の流れが良く判明している。

タンクモデル法による地下水かん養量の算定方法以外に地下水位のハイドログラフから直接かん養量を算定する方法がある。地下水位はかんがい用水や降雨によって上昇するとともに常に一定の率で流出し、地下水位は低下する。このような地下水位の変動は地下水の流入と流出の収支によって決定される。

地下水の流出と流入の関係は次の水収支式で示される。

$$Q_R - Q_D = ASdh/dt \dots (1)$$

ここで、 Q_R : 流入量, Q_D : 流出量

$ASdh/dt$: 貯留量の変化で S は貯留係数, A は地下水盆の面積, dh/dt は地下水位の変化量を表す。

また地下水位は次のような低減曲線式で低下する¹⁴⁾。

$$H = H_a + (H_0 - H_a)e^{-ct} \dots (2)$$

ここで、 H : t 時間後の地下水位,

H_0 : 初期水位,

H_a : 基底水位,

c : 地下水低減率

(2)式の $H - H_a$ を h , $H_0 - H_a$ を h_0 とすれば

$$h = h_0 e^{-ct} \dots (3)$$

となり、水位を対数で表示すれば、低減率 c を求めることができ、また地下水低減速度は(3)式を微分して

$$dh/dt = -ch_0 e^{-ct} = -ch \dots (4)$$

となる。そこで地下水流出量は流入量 Q_R がいないとき、

$$Q_D = AS \cdot dh/dt = AS \cdot ch \dots (5)$$

となる。そこで(1)式の水収支式からかん養量 Q_R を逆算できることになる。このような簡易な方法で阿蘇西ろくの観測井の地下水位ハイドログラフから求めた地下水かん養量を図-4から図-6に示す。

4. 水収支と地下水の開発保全

阿蘇西ろくから熊本平野に至る地下水盆を(a)阿蘇西ろく地下水区, (b)八景水谷地下水区, (c)健軍地下水区, (d)熊本平野東部地下水区, (e)熊本平野西部地下水区の5地区に分割して、各々の水収支を検討した。

地下水かん養のある地下水区は上記の(a), (b), (c)の3地下水区である。これら地下水区の代表的な観測井の地下水位からかん養量を算定し、揚水量やゆう水量を集計したと

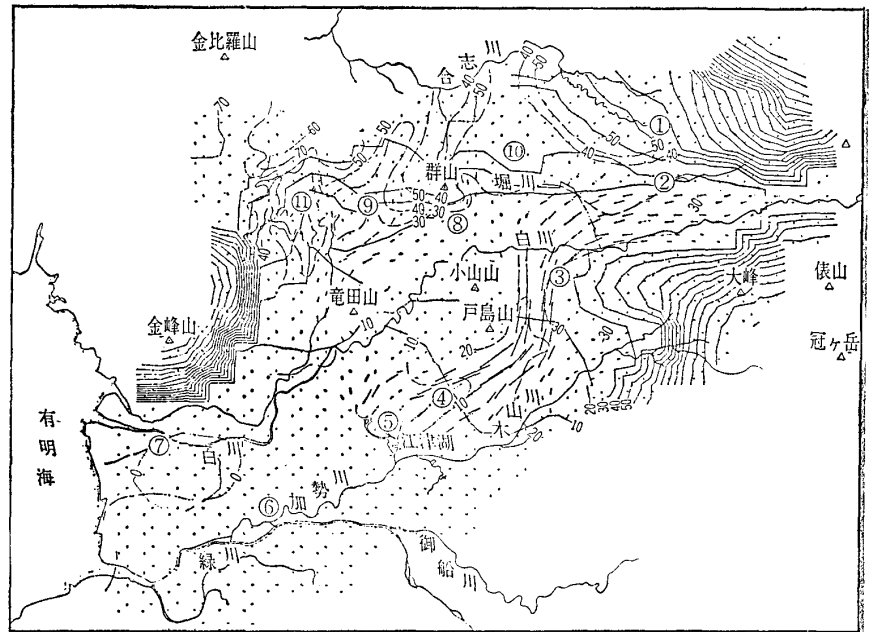


図-7 モデルによる地下水流動系の再現(昭和46年6月)

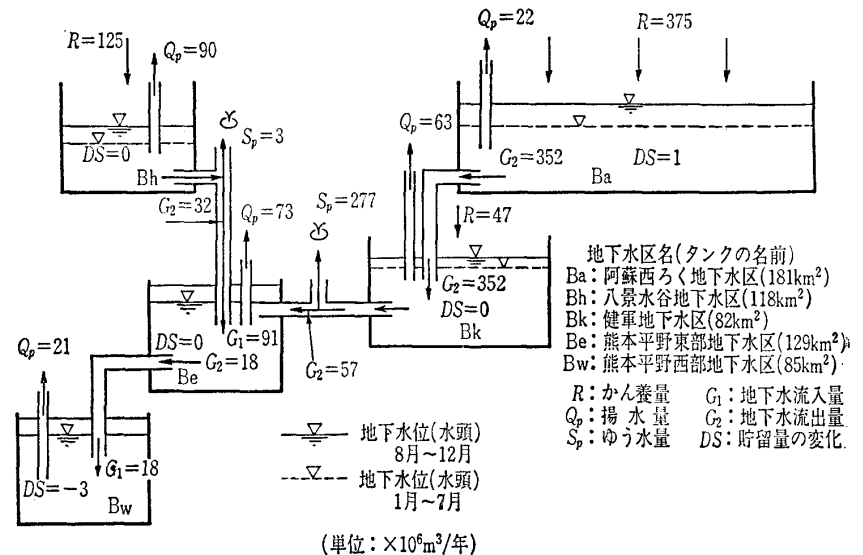


図-8 阿蘇西ろく一熊本平野地下水盆の水収支図(昭和52年度)

ころ、図-8に示すような水収支図を得ることができた。

この水収支から阿蘇西ろくの地下水かん養と今後の地下水の開発と保全を考察すると次のようになる。

(1) 阿蘇西ろくから熊本平野に至る約600km²の地下水かん養量は図-8に示すように約5.5億m³/年にも達する。このかん養量の約68%は白川北岸から合志川にまたがる台地部の阿蘇西ろく地下水区内の降雨や水田のかんがい用水、白川からの伏没かん養などによるものと推定される。

また、残りの地下水かん養源は八景水谷地下水区と健軍地下水区の台地部の降雨などによるものと考えられる。

(2) 本地域の地下水揚水量は約2.7億m³/年と集計され、水前寺・江津湖などゆう泉群のゆう水量は約2.8億m³/年と推定され、流出量とかん養量は水収支のうえでつりあいがとれている。このため、地下水くみあげ量の増加は必然的にゆう水量の減少をまねくものと考えられることができる。

(3) 熊本平野低地部の地下水は図—7に示すように地下水流動の少ない停滞水型であり、図—8の水収支図からも判明するとく上流からの地下水流入もさ程多くない。そのうえ上部には軟弱な有明粘土層が厚く発達することから地下水の過剰揚水は地盤沈下等の地下水障害を発生させる懸念があり、今後は地下水の揚水規制を実施する必要がある。

(4) 図—8に示すように八景水谷地下水区のかん養量は1.25億 m^3 /年であるのに対し、揚水量は0.9億 m^3 /年となっており、これ以上の地下水取水は困難である。このため、今後の地下水開発は水前寺・江津湖より上流の健軍から阿蘇西ろくの台地部に限られる。しかし、地下水取水量の増加は必然的に水前寺・江津湖ゆう泉群のゆう水量の減少につながる。これらのゆう水の一部は下流の農業用水などに利用されているため、地下水の開発にあたっては他用水への影響や水質悪化などの事前評価が必要となる。

(5) 阿蘇西ろくの台地部では熊本都市圏の拡大に伴って急速に宅地化が進行し、水田面積が減少して、地下水かん養量が減少する可能性が非常に高い。このため、今後とも地下水利用を進めるためには、冬期の水田を利用した人工地下水かん養池や雨水の地下浸透工など積極的な地下水強化策を図るとともに、自然に備わった地下貯水池（地下ダム）を科学的に管理し、有効に利用することが重要である。

参 考 文 献

- 1) 熊本県：熊本地域地下水利用等基礎調査解析業務報告書，1981.
- 2) 宮本 昇・柴崎達雄・高橋 一・畠山 昭・山本荘毅：阿蘇火山西ろく台地の水理地質，地質学雑誌，Vol. 68，No. 800，pp. 282-292，1961.
- 3) 九州農政局：阿蘇カルデラ火山の地質と地下水，pp. 1-33，1972.
- 4) 初倉克幹：阿蘇西ろくの地下水について，日本応用地質学会，昭和51年度研究発表会要旨，pp. 46-49，1976.
- 5) 初倉克幹・吉川 満・杉山 茂・高橋宏徳：阿蘇西ろくにおける地下水かん養，日本応用地質学会，昭和52年研究発表会要旨，1977.
- 6) 渡辺一徳・小野晃司：阿蘇カルデラ西側，大峰付近の地質，地質学雑誌，Vol. 75，No. 7，pp. 365-374.
- 7) 熊本市水道局：熊本市域地下水調査解析業務報告書，pp. 1-105，1978.
- 8) 熊本市水道局：熊本市およびその周辺の地下水について，pp. 1-58，1980.
- 9) 初倉克幹：阿蘇火砕流放出当時とその後の熊本平野の古地図，日本地質学会1981年会講演要旨，p. 90.
- 10) 熊本県：熊本地域地下水関係資料及び解析作業委託業務報告書，pp. 1-32，1978.
- 11) 熊本県，熊本市，水資源開発研究会：熊本市及び周辺地域地下水調査業務報告書，pp. 1-83，1975.
- 12) 菅原正己：流出解析法，共立出版，pp. 1-257，1972.
- 13) 吉川 満：不圧の地下水流出のタンクモデルシミュレーション，西田彰一教授退官記念論文集，新潟大学理学部地質鉱物学教室研究報告，第4号，1976.
- 14) 水収支研究グループ：地下水資源学，共立出版，pp. 219-231，1973. (原稿受理 1982.12.7)

第2回 未来の工学に関するパネル討論会—アモルファス材料—

主催：日本工学会

幹事学会：応用物理学会・日本化学会・日本造船学会

日 時：昭和58年6月10日（金）10：00～16：30

会 場：建築会館ホール（東京都港区芝5丁目26-20 電話 03-456-2051(代) 交通 国電：田町，都営地下鉄：三田下車）

趣 旨：アモルファス材料は、今後の夢の材料として期待されています。アモルファス物質そのものは古くて新しいものですが、この数年来新規な学問分野が開かれ、また新しい工業製品がめざましく延びています。エネルギー問題に、集積回路工業に、ファイン・セラミックス工業に広く深く巨大な進歩を遂げました。

この機会に、物理と化学の各々の領域から種々の話題を持ち寄って各種のアモルファス材料の原理と応用に関し、意見を交換して討論を深めたいと存じます。いままでの問題点を整理できるように各方面の講師陣を揃えましたので、今後の展望を得るべき有意義な機会と存じます。多数のご参加を期待いたします。

I. 講 演：アモルファス物質に共通するものを中心として

アモルファス物質の素質

アモルファスセラミックス

アモルファス金属

エネルギー材料としてのアモルファス物質

アモルファス薄膜太陽電池

アモルファス薄膜デバイス、撮像デバイス

シリコン微細加工技術におけるアモルファス半導体の応用

長岡技術科学大学 横 田 良 助

電子技術総合研究所 並 河 洋

大阪大学 金 丸 文 一

東北大学 増 本 健

東京大学 鯉 沼 秀 臣

三洋電機(株) 桑 野 幸 徳

(株)日立製作所 丸 山 瑛 一

日本電信電話公社 古川 昭・水島宣彦

II. 総合討論および質疑応答

参 加 費：10 000円（ただし、日本工学会加盟学協会の会員は、6 000円）、学生：2 000円

申込み方法：任意の用紙に氏名、勤務先職名、連絡先を明記（日本工学会加盟の学協会に所属している会員の方は、所属学協会名を付記すること）のうえ参加費を添えて下記宛お申込みください。

定 員：195名（定員になり次第締切ります）

問合せ・申込み先：(社)日本工学会 104 東京都中央区銀座8-5-4 日本鉱業会館内 電話 03-574-6176