

(51) 地下水盆管理システム—熊本地下水盆の管理システムとそのあゆみ—

THE PROGRESS OF THE KUMAMOTO GROUNDWATER BASIN MANAGEMENT SYSTEM

原田 和彦*

By KAZUHIKO HARADA

; Since the early years of 1970s, Research Group for Water Balance had pursued a study of the hydrogeological systems in the Kumamoto groundwater basin as a basic research for the planning and an effective water resources management. I have summarized those hydrogeological studies on Kumamoto Area and basic concepts of permissive limit or capacity of the environment is being settled among the concerned persons in the field of groundwater pollution. It is necessary for the evaluation of groundwater resources based on socio-engineering and environmental geology in each groundwater basin to build a groundwater model.

; Groundwater basin, Hydrogeology, Simulation, Management, Environmental capacity, sustained yield

1 はじめに

水の惑星と呼ばれる地球に存在する水は、約14億km³であるが、地表水や地下水などとして利用可能な淡水量は、地球上の全水量のわずか0.8%にすぎない。このわずか0.8%の淡水が、動植物の生命を維持し、人類にとっては、生産活動の様々な段階においても必要不可欠な資源のひとつとなっている。

近代技術は非常に高度化し、過酷な自然条件のなかでも生産施設を構築することが可能となった。しかし、自然条件を無視した人間の生産活動は環境の破壊という形で次世代に負債を残し、人類の生存さえ脅かすことが明かにされてきた。元来、日本在来の土木技術は農業をはじめとして築城、築堤、築港、干拓、掘割りなど山や水と共存することを前提とし、自然と旨く折り合いをつけながら、この列島で営々と生活を営むことを前提としてきた。

今日でも自然と旨く折り合いをつけながら、自然の水循環系に適應した水管理システム、すなわち、環境の許容量を科学的に算定し、末永く自然環境と共存することが可能な水管理システムが求められている。

2 水循環システム

地球上の水は降水、浸透、流出、蒸発などの過程を経て、絶え間なく循環している。この水文学的循環を一つのシステムとみなし、全体を水循環システムと呼ぶとすれば、水循環システムは図-1に示すように、大気系、地表水系、地下水系、河川水系、湖沼水、海洋系及び人間の生産活動に伴う灌漑排水系や都市生活に伴う上下水道系のような人間活動系の各要素に分解することができる。

人間活動系を除いた他の全ての系は、いわゆる自然

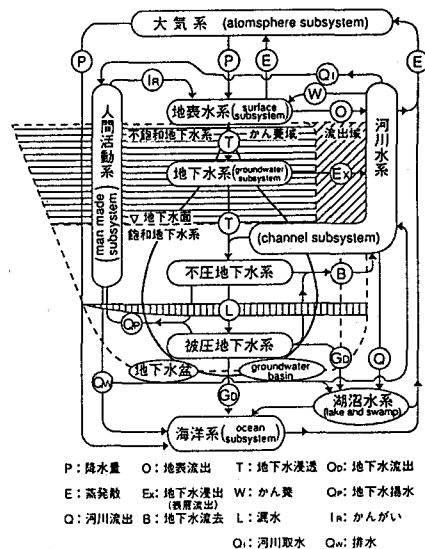


図-1 水循環システムの構成要素

* アクアシステムズ研究所 AQUASYSTEMS RESEARCH INC.,

環境を構成する要素中の水であり、これらの水は互いに密接にリンクしており、リンクする過程が降水であり、蒸発散、地表流出、表層流出、地下水流去あるいは基底流出、地下水かん養、地下水流入、地下水流出などの水文学的な諸現象である。これらのサブシステムに入間の活動が加わった時に、水循環システムがどのような反応を起こすかを予測することが水文学研究の主要課題である。また、地表面下の水はすべて地下水と定義でき、そのうえ、地域の水循環システムでは、地下水の役割は重要で、かつ、地下水の挙動は地質学と水文学で定量的に記述される運動の場と人間活動などの要素に規定された条件をもつ統一した方程式で記述できるため、地域の水文地質構造に適合したコンピュータモデルを構築することで、10年先、20年先の状態を予測し、水資源の開発と適切な水環境の管理を進めることが可能となった。

3 地下水盆管理のフローチャート

地下水の挙動が人間の活動空間に及ぼす影響が大きければ大きいほど、水循環系一つのシステムとして管理し、適切に運用する事が期待されるようになった。管理の手順は大別して ①目標の設定、②システム分析、③モデル化とシミュレーション、④計画案の作成と評価、⑤計画の決定と実施および⑥モニタリングからなるが、具体的には図-2に示すフローチャートに従って、水と地質の観測体制（モニタリングシステム）を整備しながら、地下水盆の挙動を監視する。結果によっては再度必要な段階にまでフィードバックして、計画を手直しすることも必要となる。

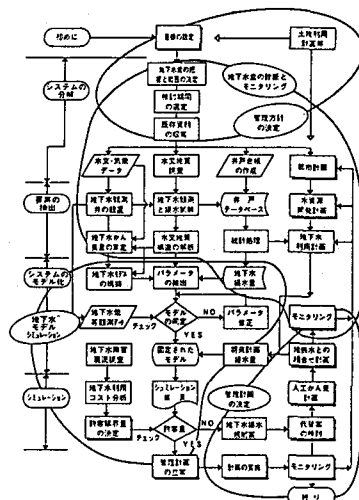


図-2 地下水盆管理のフローチャート

らなるが、具体的には図-2に示すフローチャートに従って、水と地質の観測体制（モニタリングシステム）を整備しながら、地下水盆の挙動を監視する。結果によっては再度必要な段階にまでフィードバックして、計画を手直しすることも必要となる。

4 熊本地下水盆の水文地質学的研究と管理のあゆみ

熊本の地下水は主に阿蘇火山西麓の火砕流堆積物や熔岩に帯水し、質量ともに安定し、地下水盆も世界一級の規模を持つことで良く知られている。また、阿蘇西麓の台地に発達した 熊本市は63万人近い人口の水道水を全量(日最大32万 m^3)、地下水に依存しており、市民は熊本の地下水を「日本一おいしい水」として、誇りを持つと共に、地下水の開発と保全には重大な関心を払っている。

4.1 第一期 1970年以前

表土を火山灰層で被われた阿蘇西麓は白川や菊地川をはじめとした河川からの比高が数十mに達するため、無水の低生産の畑作地帯であった。しかし、1957年以後、第四紀地質学に基づく地質層序の確立と帯水層の構造解明が進んだことや揚水技術の革新によって、1960年から1970年にかけて1,000本以上の深井戸が掘削され、現在では日本でも有数の生産性の高い農業地帯へと変身した。これらの地下水調査の結果は宮本ら(1962)によって学会誌に発表され、調査法は日本各地の火山山麓地帯での水文地質調査の指針となった。

また、1960年から61年にかけて、熊本平野の低地部と一部台地を対象に、尾崎ら(1962)によって、工業用水のための水源調査が行われた。この時はじめて、水前寺・江津湖の湧水量が62年2月に観測されており、水前寺から赤井川(加瀬川)合流点(西無田橋付近)までの湧水量は $5.79 \text{ m}^3/\text{sec}$ (日量50万 m^3)、寺井の浮島(下六嘉)の湧水量と考えられる矢形川での流量は $5.89 \text{ m}^3/\text{sec}$ (日量51万 m^3)となっている。

4.2 第2期 1970年代

1960年代後半には日本経済の高度成長に伴って、熊本でも水需要は増大するが、八景水谷ー水前寺ー江津湖ー浮島を結ぶ線より西側の沖積低地では、軟弱な有明粘土層が厚く分布することもあり、井戸の抜け上がりなど地盤沈下の兆候が見られるようになった。

また、地下水に対する関心が高まると共に、熊本市水道局や建設省熊本工事事務所は各所に観測井を設

け、自記水位計による継続的な地下水位観測を開始した。現在、熊本市28井、建設省23井、熊本県17井の観測井が地下水位をモニターしている。この時期、中央官庁を中心に地下水を含めた総合的な水管理の構想が芽生え、地下水シミュレーションや多くの研究も開始された。

一方、地元の熊本市水道局は増大する人口に対処するため、1980年度を目標に、日最大283,000 m^3 の第三次の拡張計画を検討していた。しかし、この計画には熊本市西部での水源井の増設が含まれていたため、水道局は上田年比古らの「熊本市上水道事業計画研究会」(以下上田研究会)の助言に基づき、拡張計画による影響を地下水シミュレーションを用いて予測することを柴崎達雄らに依頼した。この結果、西部地区での揚水量の増大は地盤沈下を引き起こす可能性が高いことが明かとなり、西部地区での水源井は廃止し、江津湖から東の沼山津で新たに水源を求めることになった。

渡辺一徳は、宮本らが新期、旧期の阿蘇熔岩とした阿蘇火山の火砕流堆積物を4期に区分し、下位からAso-1, Aso-2, Aso-3, Aso-4と名付けたが、初倉克幹(1976, 1977)はこれをもとに阿蘇西麓の水文地質構造と地下水の流動状況を明かにした。

柴崎達雄ら(1978)は初倉の阿蘇西麓の地下水かん養機構と水文地質構造をモデル化し、阿蘇西麓から熊本平野に至る広域の地下水の流動と変動状況をコンピュータで再現した。

また、下江津湖の北側にある健軍水源地域周辺の地下水モデルも合わせて構築し、水道水源拡張計画の影響を図-3のように予測した。

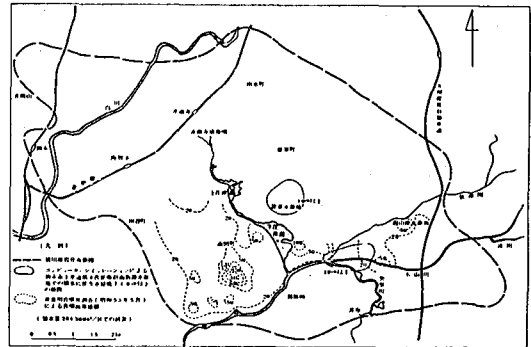


図-3 水道水源拡張計画の影響

1975年に日本住宅公団は健軍町庄口に中高層のビル11棟を建設する計画を発表した。この計画では庄口(約3.2 ha)に約1000本の基礎杭を打ち込むことになっていたもので、庄口の南にある健軍水源地向の水みちを破壊するとして、地元から反対運動が起こった。熊本市議会もこの問題に関連して、1976年3月「地下水保全都市宣言」を採択した。「上田研究会」がこの建設計画の是非を判断することとなったが、健軍水源地の取水層も砥川熔岩層であり、ビルの基礎杭もこの層を支持層とせざるを得ないこと、水源井の揚水の影響圏は3,000mにも及ぶことから、庄口は住宅の建設に適さないことが立証された。最終的にこの建設計画は中止され、庄口の用地は熊本市に譲渡されて、現在は公園と水源地向になっている。

また、熊本市では市内から排出されるゴミを処分するため、市域東部の益城町の台地に12.9 haの畑を取得し、1971年5月から約70万トンの廃棄物を埋め立て処理していた。1977年、市の衛生局は埋め立てが完了した地区の横のボーリング孔から採取した地下水を分析した所、Hg 0.0013ppm、Pb 0.64ppm、Mn 18ppm、Cd 0.01ppmが検出された。その後の調査の結果、雨水の浸透により、埋め立て完了地の塵埃層から溶解した汚染物質は浅層部の宙水を汚染し、年2.5mの速度で流動して、12年後には地下水の本流に達すること、しかし、雨水の浸透を阻止すれば、汚染物質の移動は減速し、地下水の本流まで達しないことが判明した。そこで衛生局はこの戸島の埋立地が託麻台地から江津湖に至る地下水流のかん養域で、かつ健軍水源地上流に当たることから、「上田研究会」の提言にもとずき、埋め立て完了地の被覆、ガス抜き、側面と底面の遮水などの工事を行うと同時に、埋め立て方式を嫌気性から準好気性へと変更、更に汚染水の抽出を実施した。

このような状況下で、熊本市は1977年9月、地下水保護条例を制定し、地下水益管理への第一歩を踏み出した。この「地下水保護条例」で特徴的なことは、「飲料水その他市民生活に必要な地下水の保全確保を図る……」、と地下水利用における生活用水優先の原則を明示した上に、地下水利用者の届出を義務付けたことなど、日本における地下水の利用と保全に関しては先駆的な条例であった。更に、1979年6月には、地下水採取者に対して、量水計の設置を義務付けたこと、再生水設備の奨励規定、罰則等の項目が追加され、

条例の内容は大幅に強化された。

4.3 第3期 1980年代

(A) 熊本地下水盆の管理方針

1980年7月、熊本市水道局から「熊本市および周辺の地下水について」一豊さと清らかさを保つために一と題して公表された報告書は、1977年から78年に実施されたシミュレーション調査結果などを盛り込んだもので、熊本地下水盆の管理方針を次に提言している。

(1) 広域的地下水監視体制の充実

地下水資源を長期的・効率的に利用して行くためには、常に地下水を取り巻く環境の変化と、これに伴う地下水の挙動を正確に把握する必要がある。

(2) 地下水汚染の防止

地下水の長期的・安定的利用を図るための必要条件としては、地下水の量的確保とともに水質の保全があげられる。今後の地下水保全の推進にあたっては、地下水汚染の恐れのある施設の改善、地下水位や湧水位の低下防止など地域の特性に応じて特段に配慮する。

(3) 地下水かん養域の保全と人工かん養の促進

現在の地下水かん養量を維持するためには、現かん養域を現状のまま保全することがその前提条件となる。将来、このかん養域に土地改変行為が加えられた場合には、地下水かん養量が減少することも考えられるため、積極的保全策とも言える人工的地下水かん養を検討する。

(4) 地下水利用量の抑制

これからの地下水利用に際しては、有限な地下水を合理的かつ有効に活用する省資源型の社会、節水型社会の形成に向けて努力する。

なお、節水型社会への移行に際しては、地下水利用の優先順位に関して、関係者の同意を得て、市民の生活用水の確保を最優先とする。

(5) 他水源の開発

地下水の供給量にも限界がある以上、地表水の開発も避けられない課題ではあるが、現在の地下水利用では、その用途について制限がないのが実情である。しかし、用途によっては良質の地下水を使用しなくても良い場合もある。将来は用途に応じた水供給体制の整備も検討する。

(B) 水質からみた地下水流動系と地下水汚染

地下水の水質面から流動を裏づける研究が永井茂ら(1983)によって行われ、熊本地下水盆の流動系は外輪山系、白川系、温泉系、緑川系、御船川系に区分されること、流動系毎の水質の相違から白川からのかん養量が江津湖周辺の湧水量の1/3強を占めることを明かにした。

さらに、江津湖周辺の湧水量が減少するとともに都市の生活排水の増加によって、江津湖では富栄養化と汚染が進行した。そこで市民の間に地下水に対する危機感が生まれ、「江津湖の自然と水を守る会」や「深器堀川をきれいにする会」など親水環境として湧水池を保全する運動が起された。

先の管理方針に沿って、熊本県と熊本市は1984年度から1985年度にわたって、熊本都市圏の19市町村を対象に総合的な地下水調査を実施した。85年時点で総計5,737本の井戸により年間2.6億 m^3 の地下水の利用されており、この内、水道用が1.04億 m^3 と全体の38.7%を占め、次いで農業・水産養殖用が0.88億 m^3 で32.8%、工業用は0.42億 m^3 で15.6%、建築物その他は0.35億 m^3 で12.9%であった。そして、85年5月時点での湧水量は八景水谷付近で0.09 m^3/sec 、水前寺・江津湖周辺で4.46 m^3/sec (日量38.5万 m^3)、浮島周辺5.55 m^3/sec (日量48万 m^3)であった。また、水田、畑地、草地、林地、水域などのかん養域は1966年では、都市圏全域の91%、916.31 km^2 であったのが、1983年時点では都市化によって、全域の83.7%、843.35 km^2 と72.96 km^2 も減少していたことが明かとなった。

このような状況下で熊本県は1987年度から地下水かん養実験を推進するとともに、節水実験や水利用実体

調査をもとに節水と水利用の合理化を図るマニュアルを整備し、1989年から指導、啓蒙活動に入っている。

1982年環境庁で行われた地下水の水質調査から、有機塩素系溶剤が検出され、中には環境庁の水質基準値の500倍にも達する井戸があることが判明した。事態を重視した熊本市は全市域を対象に有機塩素系溶剤による地下水汚染実態調査を継続しているが、1988年現在でも基準値を越えている井戸が55本あり、汚染は八景水谷や水前寺の湧水にまで及んでいることが確認されている。また、熊本市周辺でも24本の井戸が基準値を越えていることが県の調査で明かとなった。

5. おわりに

(A) 許容揚水量の検討

熊本地下水盆の調査研究史から、地下水資源の管理システムと管理のありかたを述べてきたが、地下水は地質環境を構成するかけがえのない重要な要素であると共に、水質も安定しているため、水資源としての価値も高い。しかし、過剰な地下水くみあげは種々の障害を引き起こし、市民生活と生産活動に多大の損害を与える。そこで、地下水障害を起こさずに、末永く利用するためには、地下水の流動系と容器となる地下水盆の性状を的確に把握した上で、利用量の目標値となる地下水盆の許容揚水量をシミュレーションなどによって算定する作業が欠かせない。

非常に豊富で、無尽蔵のように考えられてきた熊本の地下水も有限なものであることが、これまでの調査研究から判明してきた。地下水開発の限界はその基準のとり方によって異なるが、地下水盆から揚水できる地下水の限界量を許容揚水量という。阿蘇西麓台地をかん養域とし、水前寺・江津湖の湧水群を流出域とする健軍地下水区の持続的な許容揚水量の検討結果の一部を紹介する。

(1) 持続性揚水量

持続性揚水量とは、「地下水を有益な目的に使用するために、好ましくない結果を生じさせない範囲で、持続的に地下水盆から汲み上げられる量」され、「好ましくない結果」とは、地下水位の低下による井戸がれ、揚水費用の増大、地盤沈下、地下水汚染、塩水化などの地下水障害をさし、主に経済的な損失を地域に与えないと言うことである。また、「持続的に」とは、経年的な水位低下を引き起こさずに地下水を汲み上げることを行い、地下水盆内の水収支が均衡し、自然のかん養量の範囲内で、地下水を汲み上げることである。図-4に示した持続性揚水量はハーテングの方法によって算定した熊本の健軍地下水区の事例である。ここでは、地下水区の揚水量が年間3600万 m^3 から13900万 m^3 と大幅に異なるにも関わらず、地下水収支は均衡し、貯留量の変化も認められない。

(2) 許容揚水量

しかし、水収支の内訳をみると揚水量の増加分は湧水量と流出量の減少によって賄われていることが判明した。図-5は熊本の健軍地下水区の揚水量と湧水量

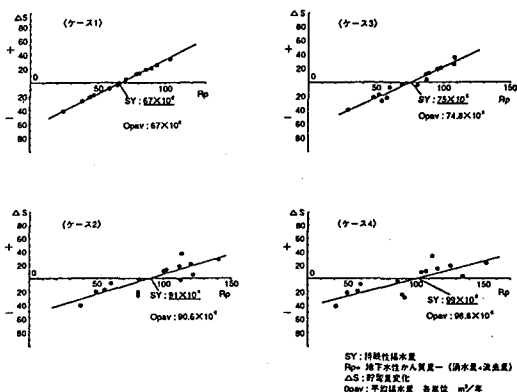


図-4 健軍地下水区の持続性揚水量

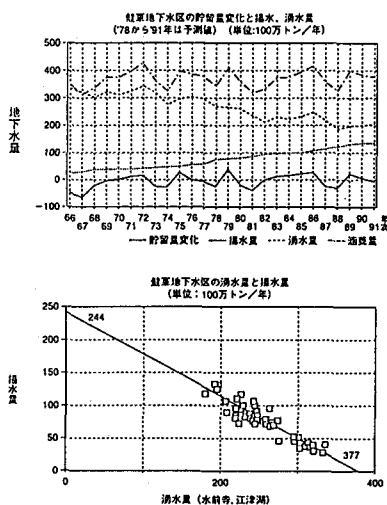


図-5 健軍地下水区の揚水量と湧水量

図-5は熊本の健軍地下水区の揚水量と湧水量

の関係を示したもので両者はトレードオフの関係にあり、利益と損失と言う経済的な要件で許容揚水量を決定することができる。このために、地域市民が経済的な要件のみを優先した時は、湧水量の減少に伴う水前寺・江津湖など親水環境の悪化は地域市民の共有財産の損失ではあるが、地下水開発という利益の方が大きいことになる。しかし、一度失った親水環境を取り戻すには多大の費用と長い時間が必要ことはいうまでもないことなので、地域市民のコンセンサスを確立した上で、開発を実施しなければならない。

(B) 地下水資源の有効利用を図るために

(1) 地下水は水文地質構造などの地域の特性に強く支配されるため、地下水盆単位での水管理が特に有効である。また、地下水は地表水と密接にリンクしており、地下水を含めた水資源全体の管理も地下水盆ごとに実施することが、環境の保全を計りながら、水資源を持続的に開発する最良の方法と考える。

(2) 地下水を地域の共有財産として、次の世代まで残すためには、地下水の利用者は無論のこと、地域市民と地方自治体は協力して、地下水位や水質を常にモニターして、自らの財産を管理しなければならない。地下水の使いすぎや汚染を引き起こすような行為は、自らの財産価値を減ずる行為と言え、この様な行為に対して、地方自治体は強制力をもって対処すべきである。

(3) 地下水は地下水盆の中を非常にゆっくりと流れているため、一度汚染されると元の状態に戻すには、多額の費用と長い時間が費やされることとなる。地質汚染は地下水盆のガンのようなもので、汚染源は次々と転移し、汚染は長期間にわたる。特に、地下水盆のかん養域における地質汚染は地下水に致命的な障害をあたえるため、かん養域では汚染の恐れのある廃棄物処理施設などの建設には、水文地質学的な配慮が特に必要である。

参 考 文 献

- 1) 宮本昇・柴崎達雄・高橋一・畠山昭・山本莊毅：阿蘇火山西麓台地の水理地質、地質学雑誌、第68巻、第800号、p282-292、1962
- 2) 尾崎次男・菅野敏夫・後藤隼次・村上肇：熊本平野および周辺の工業用水源、地質調査所月報、第15巻、第3号、p139-165、1962
- 3) 柴崎達雄・鎌田烈・原田和彦・藤崎克博：熊本平野低地帯の地下水事情、熊本市水道局、p1-40、1975
- 4) 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、第75巻、第7号、p365-374、1969
- 5) 初倉克幹：阿蘇カルデラ火山の地質と地下水 概報、九州農政局、1975
- 6) 初倉克幹：阿蘇西麓の地下水について、日本応用地質学会、昭和51年研究発表講演要旨、p46-49、1976
- 7) 初倉克幹・吉川満・杉山茂・高橋宏徳：阿蘇西麓における地下水かん養、日本応用地質学会、昭和52年研究発表講演要旨、1977
- 8) 柴崎達雄・初倉克幹・吉川満・原田和彦・増原延昭・杉山茂：熊本市域地下水調査報告書、熊本市水道局、p1-105、1978
- 9) 柴崎達雄・初倉克幹・神沢藤樹・中原謙吉・有田雅典：熊本市およびその周辺の地下水について、熊本市水道局、p1-58、1980
- 10) 永井茂・石井武政・黒田和男：熊本平野の地下水の水文化的研究、工業用水、第296号、p27-43、1983
- 11) 清水正元：澄んだを湖をつくるー阿蘇山麓からの提言ー、朝日選書、p1-263、1984
- 12) 熊本県・熊本市：熊本地域地下水調査報告書、p1-86、1986
- 13) 熊本県企画開発部：熊本県の地下水について(特に熊本地域の地下水の現状とかん養対策)、1992
- 14) 田中伸広：地下水保全策-これまでとってきた施策と今後、日本地質学会第99年学術大会 講演要旨、1992
- 15) 初倉克幹：地下水汚染はどこまで、日本地質学会第99年学術大会 講演要旨、1992
- 16) 柴崎達雄・水収支研究グループ：地下水盆の管理、東海大学出版会、1976