

## ■特集／地下水と水循環の健全化

# 水理地質構造と地域の水利用を巧みに利用した地下水保全 —熊本地域における広域的な持続的地下水管理の取組—

Groundwater conservation through regional water use and its hydrogeological setting

— Recent advanced efforts for the sustainable regional groundwater management at Kumamoto area, Japan —

キーワード：持続的地下水管理、熊本地域、水循環系、潜在涵養量、越境地下水管理



嶋田 純

Jun SHIMADA

熊本大学大学院自然科学研究科・教授  
(公社) 日本地下水学会・会長

## 1. はじめに

羽田空行きのモノレールを利用する時、車両中央席の窓際に写真-1にあるような『世界が認めた、熊本の水』の広告パネルに気づかれた方もいるかと思うが、これは2013年に熊本市が日本で初めて‘Water for Life’ UN-Water Best Practices Award（国連“生命の水(Water for Life)”最優秀賞）を受賞<sup>1)</sup>（写真-2）したことを契機に取り付けられたもので、熊本を訪れる人々に『火の国阿蘇』と共に、『水の国熊本』を知って頂くべく提示されたものである。国連事務局は、2005–2015を“生命の水（Water for Life）”行動のための国際10年と定め、世界の各地域で行われている優れた持続的水資源管理の取組みを推進するために、特に顕著な取組み事例を2010年から毎年3月22日の「世界水の日」に表彰しているもので、熊本市は2012年9月、文部科学省ユネスコ国内委員会・熊本大学の推薦を受け、休耕田水張り事業をはじめとする地域における長年の地下水保全の取組みをまとめエントリーした結果、今回の受賞に至ったものである。同賞受賞は、もちろん日本からはじめての受賞であり、さらに地下水資源やその持続的利用に向けた取組みがこの賞の受賞対象になったことも初めてのことで、世界的な地下水の専門家集団である国際水文地質学会（IAH）においても、水資源の中で目に見えないため理解が少ない地下水資源への取組が受賞したことを高く評価している<sup>2)</sup>。



写真-1 東京モノレールの車窓に掲げられている熊本の地下水宣伝パネル



写真-2 熊本市が受賞した国連『生命の水』最優秀賞の記念盾（熊本市役所1階ロビーに展示されています）

世界人口の伸びに比べて新たな水資源の開発には限界があるため、2000年の時点で世界人口の8.3%（5億人）であった水不足の割合は、2050年には45%（40億人）が慢性的水不足に直面すると予測されている。そのための対策として、節水農業の普及、海水淡水化技術の開発、高度下水処理水の再利用、人工地下水涵養等の検討により各国の事情に則した新たな水源確保策の

確定が強く求められている。

我が国における水資源使用量の中での地下水利用は12%以下と低いが、世界的にみると地下水は最も安定し且つ貯留量の大きな水資源として扱われており、世界の多くの地域では飲料水源の殆どを地下水に頼っている。一方、地下水貯留量と地表からの涵養量によって決まる地下水の滞留時間は、地域によって様々である。水循環系の一部を構成する地下水ではあるが、我が国のように数十年から数百年程度の滞留時間の地域からオーストラリアの大鑽井盆地のように数十万年から百万年規模の滞留時間まで大きな幅を持っている。オーストラリアの大鑽井盆地の自噴井戸は過去100-200年の間に数十メートルの自噴水頭低下が起こっており、近い将来の自噴停止状況を危惧した保護対策が行われ出している。中国の河北平原では、農業灌漑・都市用水のための地下水過剰揚水によって過去50年間に50m以上の水位低下が発生し留まることを知らない。類似した長期的地下水位低下はアメリカ西部のオガララ帯水層やインド・パキスタン間のパンジャブ平原農作地帯等世界各地で出現しており、いずれも数万年以上前に涵養された化石地下水揚水が引起した問題として認識されており、世界的に大きな難題となっている。

一方、図-1に示した1955-2000年の期間の東京都地下水観測井戸等に基づく東京地域の地下水頭の変遷には、1970年代の揚水規制に伴う顕著な地下水頭の回復が確認されており、我が国が位置するアジアモンスーン気候帯の高い潜在涵養量の存在を如実に表している<sup>3)</sup>。前述の化石地下水の枯渇問題に遭遇している地域に比べると、我が国の地下水は現在の気候環境下で健全に循環しており、その仕組みを有効に利用して地表水と地下水を統合的に管理することで持続的な地下水資源管理が可能である地域として認識できる。熊本地域の地下水管理が受賞した背景には、このような潜在的な地域特性が存在している。

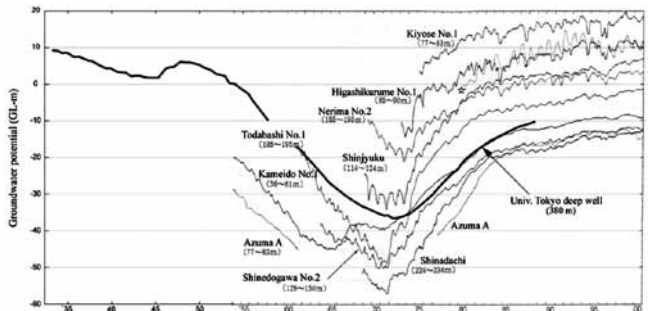


図-1 東京地域における地下水観測水頭の変遷。1970-75年の揚水規制に伴いそれまで低下していた水頭が急激に上昇し現在に至っている。

## 2. 熊本地域の地下水流れとその変化

熊本市上下水道局が取水している地下水は、阿蘇カルデラの西麓斜面台地で涵養され南西方向に流動して江津湖や嘉島の湧水地帯で流出するような地下水流動系を構成していることがわかっている。我が国の大都市平野の地下水が、沖積・洪積層と呼ばれる川や海の堆積物に挟まれた地下水帯水層に存在しているのに対し熊本地域の地下水は、阿蘇火山が25万年前から9万年前に噴出した4回の大規模噴火に伴って噴出した火砕流（Aso1からAso4と命名されている）と呼ばれる火山性堆積物からなる帯水層中に存在していることが大きな違いである。川や海の中で水中堆積した地層に比べて火山周辺の火砕流堆積物は勾配が大きく、一般的な平野部での地下水勾配が1/1000程度であるのに対し熊本の地下水勾配は1/100と10倍も大きな勾配で、九州の高い降水量と透水性に富む火砕流堆積物ため地下水の流動が極めて速く活発（10-数十年規模）であることが特徴となっている。

これら熊本地域の地下水構造と流動状態の把握は、過去40年近い期間に設置された熊本県・熊本市、熊本市上下水道局、国土交通省、農林水産省等が保有する100本以上の地下水観測井戸によって明らかにされたもので、地下水を地域の主要水源として利用している地域ならではの成果である。これらの観測井戸は地域の地下水状況監視用に継続的に利用されて現在に至っており、その多くの観測井データから1990年代以降地下水位が低下傾向にあり、地域の地下水資源が減少傾向にあることが危惧されるようになった。

この熊本地域の地下水資源の減少の要因は、ともすると地域の地下水過剰揚水と思われるが、揚水量の長期変化は低下傾向にあり、むしろ都市化に伴う地下水涵養域の減少、とりわけ白川中流域低地と呼ばれている水理地質構造上熊本地域の地下水涵養に高い効果のある地域の水田の減少にあることが地域の調査や関連研究から推察され、それに対する地下水涵養量増加を狙った『休耕田水張事業』と呼ばれる地下水人工涵養の取り組みが2004年以降熊本市を中心に周辺市町村と連携した組織によって実施され、近年顕著な成果を上げてきている<sup>4)</sup>。

### 3. 土地利用変化に応じた地下水資源量の変化

この白川中流域低地の水田は400年前の加藤清正時代の新田開発によって構築されたと記録に残っており、漏水性の高い(水田の減水深(1日当たりの田面水の減少量)が、100mmと全国平均の10倍以上になる)ことで有名で農家にとっては悩ましい存在であったが、実はこの漏水した灌漑水が、地域の主要帯水層である深層帯水層を直接的に涵養していることが詳細な地下水流動モデル等の検討により解明されてきた<sup>5)</sup>。この効果の背景として、白川中流域低地を構成する地層には地域の深層地下水帯水層となっている第2帯水層(Aso1-Aso3火砕流が主体)とその上位の第1帯水層(Aso4火砕流から構成)の両者を分離している難透水性遮水層としての湖成層が存在しないという水理地質構造の特異性を強調しておきたい。すなわち中流域低地では、地表からの水田漏水は第2帯水層を直接的に涵養できる訳である。前述の3次元シミュレーションモデルの結果に基づく、水田利用が最も多かった1930年代の土地利用に対する計算結果から、深層帯水層の全涵養量の中で中流域低地からの涵養量が40%以上を占めていること、中流域低地の水田化は涵養量を10%程度高める効果を持っていること等が定量的に明らかにされた。

そこでこの地域の持つ潜在的な地下水涵養特性を復活すべく熊本市は、この中流域低地にある休耕田の灌漑水利権を持っている地元の農家

に対して、夏季の灌漑期にあたる6-10月の間の数か月間休耕田に水を張ってもらうことで、その漏水によって人工的な地下水涵養を行う仕組みを2004年に構築した。協力してくれる中流域低地(熊本市外の菊陽町・大津町にある)の農家に対して一定額の補助金を支給し、その原資は熊本市内の地下水ユーザー(最大は熊本市上下水道局で2500万円/年近い資金供与をしている)に委ねるといふ、地下水涵養のための行政境界を超えた画期的な取組である(図-2)。当該事業は2014年、10年目を契機に更新継続されており、地域の地下水流動流出域にあたる水前寺成就園や江津湖における湧水量は2006年まで一方的な低減傾向にあったが、2005年以降図-3に示す様に顕著な増加傾向に転じ、前述のシミュレーション結果も踏まえ、この水張事業による涵養効果と評価されている。越境地下水管理は国際的にも注目されている<sup>6)</sup>が、具体的に実施して成果を挙げている事例は殆ど無く、熊本地域のこの成功事例は小スケールではあるが行政域を超えた地下水管理の成功事例として評価でき、これらの活動とその効果が前述の国連賞の受賞に結びついていることを疑う余地は無い。



図-2 熊本地域における白川中流域の休耕田を利用した地下水涵養システム。  
資金源の地下水ユーザーは熊本市にいて、涵養効果のある中流域低地は大津・菊陽町という熊本市郊外の異なる行政地域にあるので、行政境界を越えた地下水管理の好事例として注目される。

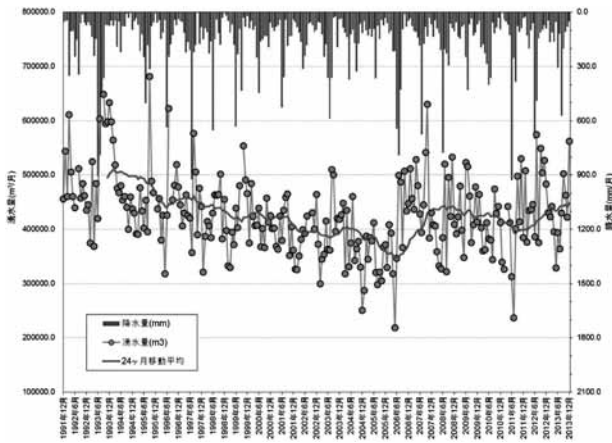


図-3 熊本地域の流出域にあたる江津湖の湧水量変化。白川中流域低地での転作田水張事業開始(2004年)以降に長期的低減傾向が止まり上昇に転じた。(東海大学による)

#### 4. 広域地下水管理のための新たな揚水規制条例の制定

休耕田水張事業の成功を契機に、熊本県は2012年4月より広域的な持続的地下水管理システムとして熊本地域の枠組みの中で水量と水質双方の地下水管理を実施すべく県地下水条例の大幅な改正を行った。この改正版熊本県地下水条例による揚水規制は、かつて東京・大阪・名古屋等の3大都市圏で実施されたような地盤沈下や地下水塩水化等の地下水災害を阻止するために1970年代に施行された揚水規制とは大きく異なり、地下水災害が発現していない地域において地下水資源を持続的に利用することを狙って大規模な地下水利用者に対する揚水量の許可制まで導入した水量と水質のトータルな管理を目指した条例であり、その効果が注目される<sup>7)</sup>。

現在の日本の法律では、地下水は土地所有者に帰属しており河川水のように公水的な管理を行える法体制はまだ整備されておらず、地下水を積極的に利用している地域レベルで個別の管理制度や条例等を制定して、実質的で実効性のある地下水資源管理を行ってゆくと観点から、熊本地域がその先例となって推進してきた感がある。2014年3月に国会で成立した『水

循環基本法』は、流域スケールでの地表水・地下水等の水利用と土地利用を総合的に管理することを目指した国レベルの法制度である。これまで着々と講じられてきた熊本県や熊本市の地下水保全や地下水資源の持続的管理の仕組みは、この『水循環基本法』の適用モデル地域に成り得る素地を十分備えている。

#### <参考文献>

- 1) UNDESA (2013) : 'Water for Life' UN-Water Best Practices Award: 2013 edition: Finalists. <http://www.un.org/waterforlifedecade/finalists2013.shtml> (2014. 05. 9 閲覧)
- 2) IAH (2013) : Groundwater management gains due recognition. IAH news & information; May2013, <http://www.gelk.info/blog/wp-content/uploads/2013/06/IAH-Newsletter.pdf> (2014. 05. 9 閲覧)
- 3) 嶋田 純 (2010) : アジアの地下水問題. 谷口真人編著『アジアの地下環境』89-114. 学報社.
- 4) 嶋田 純 (2007) : 熊本地域における行政境界を越えた地下水資源管理—70万都市を支える地下水資源の持続的管理—, 熊本地理, 18巻、24-32.
- 5) Shimada, J. Ichiyangi, K., Kagabu, M. and Mori, K. (2012) : Effect of artificial recharge using abandoned rice paddies for the sustainable groundwater management in Kumamoto, Japan, #542, Proceedings of the world environmental and water resources congress May, 2012, Albuquerque, USA
- 6) 山田長正 (2010) : 国際レベルの越境地下水の管理のあり方—国連国際法委員会からの提言—. 日本水文科学会誌 40 (3), 71-84.
- 7) 嶋田 純 (2013) : 広域地下水流動の実態を踏まえた熊本地域における地下水の持続的利用を目指した新たな取り組み—地下水資源量維持のための揚水許可制の導入—. 日本地下水学会誌. 55 (2), 157-164