

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—*

嶋田 純**

Recent challenges for sustainable groundwater management at Kumamoto Area, based on the regional groundwater flow system -Pumping permission for the regional groundwater management- *

Jun SHIMADA**

Abstract

Kumamoto area is very famous for its rich volcanic groundwater resources for their city water supply and much management efforts have been done for their sustainable use. The success of artificial groundwater recharge through abandoned rice paddies induces the revision of prefectural groundwater ordinance for the better management of local groundwater for their future generations. This ordinance includes the pumping permission coupled with the artificial recharge countermeasures and this is the first trial pumping regulation in the no groundwater disaster area of Japan.

Key Words: Volcanic aquifer, recharge area, water flooding at the abandoned rice paddies, pumping permission, sustainable groundwater management, groundwater ordinance

要 旨

地下水をその水道水源として利用している熊本地域では、地下水資源の持続的な利用のための様々な取り組みを実施してきている。過去30年以上にわたる地域自治体による調査研究と観測により火砕流帯水層の広域地下水流動の詳細が把握されると共にその長期低減傾向が把握され、それに対する対応策である越境地下水管理としての転作水田水張り事業が実施され良好な成果が確認されつつある。これを踏まえ熊本県においては、これまでの地下水保全条例を改定して新たに地下水揚水許可制が導入されそれを運営するための新たな組織が設立された。この地下水条例は、特段の地下水災害は存在していない地域であるにも拘らず地下水資源の持続的利用のための保全措置として施行された全国で初めての採取規制条例であることに特徴を持つ。

キーワード: 火砕流帯水層, 涵養域, 転作水田水張り事業, 揚水許可制, 持続的地下水管理, 地下水条例

* 2012年秋季講演会ディスカッションセッション「これからの地下水資源の利用のあり方」(2012年9月28日)にて一部発表

** 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2-39-1)

Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

1. はじめに

温暖化に伴う降水量変化に起因する地表水の流量変動の増大に対し、広大な地下水帯水層はバッファ的な効果が大いいため、相対的に安定した水資源として注目されるようになってきている。湿潤温帯に属する我が国の水循環は極めて活発で地下水も相対的に速い速度で循環していることが知られているが、地表水に比べるとその滞留時間は長く、汚染に対する脆弱性も相対的に大きいため、地域地下水の流動場としての帯水層の全貌の把握とその流動特性を踏まえた適確な利用を目指すことが求められている。

1960-90年代に3大都市圏のある関東・大阪・濃尾地域で経験した地下水の過剰揚水に伴う地下水頭低下が引き起こした大規模な地盤沈下とそれに対する対策として実施された広範囲の揚水規制による急激な水頭回復の実態を顧みると、我が国のような湿潤温帯においては十分な地下水涵養量があるため、地下水帯水層の構造とその循環様式・水収支を詳細に把握し、それを基に適確な揚水量と涵養量の管理を行うことで、その水量の持続的確保が可能であることが確信される。

地下水の過剰揚水に伴う地下水頭低下が引き起こした地下水災害に対する揚水規制とその効果による水頭回復という一連の人為的な地下水変動は、日本の3大都市圏だけではなく、実はモンスーンアジアの主要な沿岸大都市（台北、上海、マニラ、ハノイ、バンコク、ジャカルタ等）でも確認されている。これらの諸都市の中で、日本を含むアジア沿岸の都市の幾つかで揚水規制が成功した背景には、沿岸アジア特有の水文気象特性（潜在的な地下水涵養能力）が存在するためと考えられ、モンスーンアジア域での地下水問題は、実効的な揚水規制さえ整えば解決できる余地があり、さらに有効な可能地下水涵養量を効果的に利用した持続可能な地下水管理のための法制度を整えることで、地域の地下水資源を持続的に有効利用できる可能性を示している（嶋田, 2010; 嶋田, 2012）。

前述の3大都市圏における地下水揚水規制による地盤沈下現象が沈静化の兆しを見せた時期に、当時の建設省が中心となって『地下水の法制

化』（管理）について活発な議論が行われ、それまで『私水』として事実上無管理状態にあった地下水を『公水』と定義し地下水の保全利用を全国レベルで展開できる法制度の検討が行われたことがあった（国土庁, 1992）が、地下水を管理する主務官庁をめぐる縦割り行政の弊害によりその制度化は頓挫してしまっただ（田中, 2012）。その後は現在に至るまで、地下水災害の顕在化した地域毎に自治体レベルでの地下水条例や要綱をベースとした地下水利用と保全のための施策（国交省水資源部によれば2011年3月の時点で32都道府県、385市区町村において517件の条例・要綱が存在）により地下水資源の実質的保全・管理が行われてきている。2011年にそれまでの水資源開発を主眼としてきた水資源政策が水資源の持続的活用を踏まえた『総合的水管理』にシフトしたことを受けて国土交通省に水管理・国土保全局が発足すると共に、それらと並行して2009年頃から超党派国会議員による『水循環基本法（仮称）』の議員立法が試みられたが、政権争いの混乱の中で自公民政権および民主党政権のいずれにおいても国会審議までには至らず、今日までまだ地表水と地下水を統合的に管理できる国の仕組みは構築されていない。

我が国では国レベルでの統一した地下水資源管理の仕組みを作るよりは、むしろ地下水を積極的に利用している地域レベルの個別管理制度や条例等を制定して、地下水資源管理を行ってゆく方がスムーズで実効性のある展開が望めるのではないかという雰囲気が漂っており、その先駆けとして熊本地域でのユニークな地下水管理の取り組みが知られている（日本水文学会, 2010）。ここでは、熊本地域における地下水流動の実態とそれを踏まえた最近数年間の新たな地下水管理に向けた仕組み作りの紹介を試みる。

2. 熊本地域の水理地質と地下水流動系

熊本地域の第四紀層の大半は阿蘇火砕流堆積物で、基盤岩類や安山岩を覆い火砕流台地を形成している。一部の台地は段丘堆積物に覆われているが、第四紀層の大半を占める阿蘇火砕流堆積物（噴出時期の古いものから順に Aso-1, Aso-2,

Aso-3, Aso-4と命名されている)が、熊本地域の帯水層を構成する主要な地層となっており、火砕流帯水層の相対的に高い透水性と大きな動水勾配に九州地域の高い降水量が加味された水文地質状況は、熊本地域の活発な地下水循環の特徴となっている。河川の沖積堆積物からなる帯水層を主体としているわが国の他地域の地下水とは、その帯水層の傾斜(動水勾配)や構成物質の透水特性において大きく異なっている。各火砕流堆積物間には、それぞれの火砕流活動の休止期の堆積物として「砥川溶岩」や「大峰火砕丘堆積物」、「高遊原溶岩」などの溶岩類や、「花房層」・「布田層」などの湖成堆積物が分布しており、前者は主として帯水層に、また後者の湖成堆積物は帯水層間の難透水層として機能している。このAso-4/3間隙堆積物の湖成層を基盤としてその上位にあるAso-4からなる不圧帯水層(第1帯水層)と、下位にあるAso-1, Aso-2, Aso-3の火砕流堆積物及び江津湖周辺や嘉島町の浮島や下六嘉付近にみられる著しく発泡した多孔質部や割れ目が密集した砥川溶岩からなる被圧帯水層(第2帯水層)の2層構造の地下水帯水層が形成されており、地域の主要地下水資源はこの第2帯水層からの取水に依存している。

熊本県・熊本市は1994年(平成6年)「熊本地域地下水総合調査」において、地下水の分布と地下水の流動状況を明らかにするために、前述の第1帯水層及び第2帯水層について約500箇所の既存井戸を対象に一斉測水調査を実施した。この結果および関連する地下水データに基づき熊本地域の広域地下水流動の実態が把握されると共に、第2帯水層においては6月に低水位期、10月に高水位期を持った季節変動を示しているが、地下水涵養域にあたる阿蘇外輪山西麓の菊池台地等においては、地下水頭が10m-20mもの大きな季節変動を示すことが特徴的であり、特に前述のAso4/3間の難透水性湖成堆積物の存在しない白川中流域低地が第2帯水層に対する効果的な涵養域になっていること等当該地域の広域地下水流動の詳細が明らかにされた。さらに県・市の地下水観測井の長期観測結果から、流出域にあたる熊本平野においてはゆるやかな水位低減傾向(0.5m/20年)が、また地下水涵養域にあたる菊池台地等において

は、より大きな地下水位の長期低減傾向(3m/20年)が確認され、これらの水位低下に連動して流出域にあたる熊本市の主要な湧水地域における湧出量も明らかな長期低減傾向が示され、地域の地下水資源量が低下傾向にあることが2000年代前半頃より懸念され出した。

3. 白川中流域低地における休耕田水張り事業 (Trans-boundary groundwater management)

熊本地域はその水道水源のほぼ100%を地下水に依存しているため、熊本県・市による地下水資源の維持管理の取り組みが積極的であり、多くの地下水帯水層構造に関する調査研究と100本近い地下水観測井による20-30年以上の期間に渡る地下水位変動データを保持している。前述したように涵養域から流出域に至る地下水流動系のいずれの地域においても長期的な地下水位低減傾向が認められ、それに伴い八景水谷や江津湖等の湧水湖の湧出水量が1950年代に比べて20-30%近い明確な水量低下を示しており、県・市による調査研究によってこの地下水資源の低下要因は、熊本地域の都市化と減反政策による水田面積の減少による地下水涵養の低減にあると解析されている。地下水を上水道として利用している地域の最大地下水利用者である熊本市は、このような地域の根幹水資源である地下水の長期的低減傾向に危機感を抱き、2004年より地下水資源の持続的利用のための涵養強化策に取り組みだした。

実施された対応策は、熊本地域の水源地となつている第2帯水層(被圧帯水層)の地下水域の中で、加圧層となる粘土層が欠落しているため水理地質学的に熊本地域の有望な涵養地域として考えられている白川中流域低地において、転作田を利用して嘗ての水田を所有する農家に1-3か月間の水張りを依頼する事業である。具体的には、図1に示すような熊本市内の地下水利用者からの基金をベースに白川中流域低地の転作田を一定期間借り上げ、農家の所有している水利権を利用して転作田に水を張ってもらうことで地下水涵養効果を高める仕組みである。この地域の水田は、もともと減水深が100mm/日にもなるざる田であるため農家にとっては泣かせどころであった

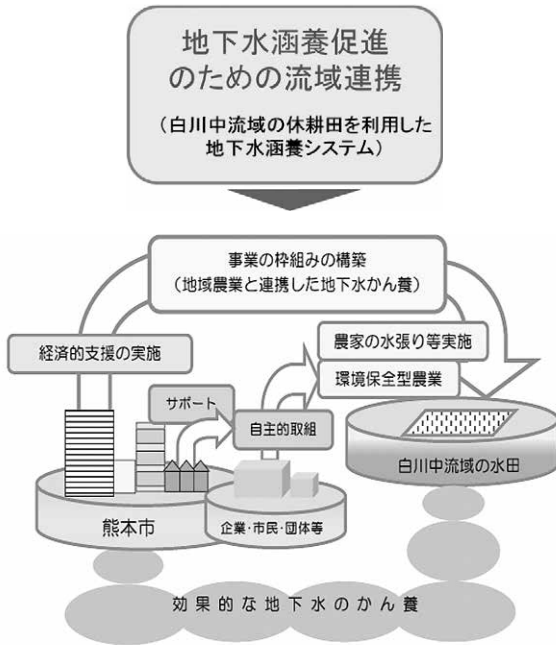


図1 地下水涵養促進のための転作水田水張り事業を介した流域連携システム

Fig. 1 Trans-boundary groundwater management system by the use of abandoned rice paddies for the artificial groundwater recharge.

が、実は400年前に加藤清正が当該地域の新田開発に着手しだして以降、熊本地域の地下水涵養にとって重要な存在として機能していたのである。

Shimada *et al.* (2012) に示された熊本地域の詳細な3次元地下水シミュレーションによれば、表1に示されるような4つのシナリオ（加藤清正による白川中流域の新田開発前（シナリオ1）、1930年代の水田耕作最盛期（シナリオ2）、近年の転作水田水張り事業前（シナリオ3）、水張り事業に成果が出てきた最近数年間図（シナリオ4））についてシミュレーションモデルを用いて第2帯水層への地下水涵養量等を評価した結果、白川中流域低地での水田耕作が最も盛んであった1930年代（シナリオ2）に、同低地において最も高い地下水涵養量とそれに伴う流出域にある江津湖の湧水量の最大値が確認されており、同低地からの地下水涵養が第2帯水層への地下水涵養全体の40%以上を占め、その内6%程度が水田からの涵養効果であることが示された。これは、図2に示した4つのシナリオに対応する第2帯水層への涵養域

表1 熊本地域における異なる土地利用シナリオの入力条件とそれに応じた3次元地下水シミュレーションモデルによって得られた地下水涵養量・流出量

Table 1 Scenario conditions and estimated recharge/discharge values for the different land use/age by the studied 3D groundwater model.

	Scenario 1 1600's	Scenario 2 1930年代の水田 最盛期	Scenario 3 休耕地水張り事業 開始前 (1997-2003)	Scenario 4 休耕地水張り事業 開始後 (2004-2006)
降水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	2,127	1,550	2,127	2,721
蒸発散量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	557	539	578	611
揚水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	0	24	158	158
第2帯水層への 総涵養量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	539 (100%)	629 (100%)	612 (100%)	643 (100%)
白川中流域低地 での第2帯水層への 涵養量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	206 (38%)	279 (44%) paddy	264 (43%)	275 (43%) 水張り
江津湖への推定 地下水湧出量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	348	384	314	334

分布にも明確に示されている。

2004年以降に実施されている熊本地域における転作水田水張り事業は、この農業による地下水涵養効果を再び呼び戻そうとの取組である。事業の主導は熊本市であるが、実施する白川中流域低地の転作田地域は第2帯水層地下水域を共有している熊本市の周辺自治体（大津町及び菊陽町）であるため、2004年1月21日熊本県庁において大津町・菊陽町及び水循環型営農推進協議会と協定を締結することで事業化したもので、地域の水循環を踏まえ行政境界を越えて地下水を流域として管理しようとする画期的な取組（Trans-boundary groundwater management）としても注目されている（Shimada, 2010）。事業開始後9年を経過した現在、対象地域面積や参加農家数、投入資金等が開始当初の2倍近くに増加しており、それに伴って湧水量の長期的低下が懸念されていた江津湖の湧水量にも2006年以降に回復傾向が確認されてきている。

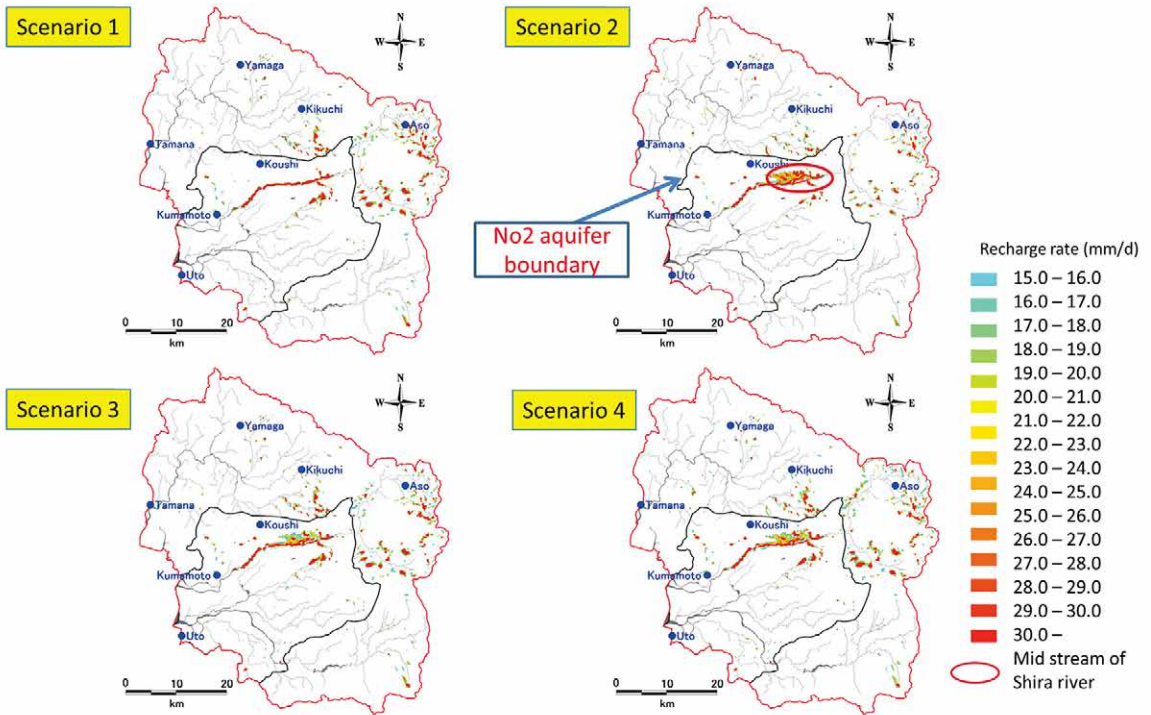


図2 異なる土地利用シナリオに対する3次元地下水シミュレーションモデルによって得られた第2帯水層への地下水涵養量分布
 Fig. 2 Distribution of groundwater recharge rate for different land use estimated by 3D simulation model of different land use scenario.

4. 熊本県地下水条例の改定と揚水許可制の導入

前述の地下水涵養強化のための転作水田水張り事業に見られた、これまで熊本市が中心となって実施していた地下水管理政策を、熊本県が中心となって実施してゆく方向性が2012年4月からの県地下水保全条例の改定とともにスタートした。表2は地下水採取規制を持つ都道府県条例一覧(2012年10月現在)を示したものであるが、我が国におけるこれまでの採取規制対象地域は地盤沈下や地下水塩水化といった地下水災害が顕在化している場所で、それらに対する対抗措置として採水規制条例が設けられたのに対し、熊本県における今回の地下水保全条例改定に伴う地下水採取規制(地下水揚水許可制)は、特段の地下水災害は存在していない地域であるにも拘らず地下水資源の持続的利用のための保全措置として施行された全国で初めての採取規制条例であることに特徴を

持つ。この条例施行と並行して、これまであった熊本地域にある地下水保全対策の検討や関連事業の運営に関っていた3つの組織(主に市町村長等を理事とする(財)熊本地下水基金、民間を主会員とする熊本地域地下水保全活用協議会、熊本県知事及び11市町村長で構成される熊本地域地下水保全対策会議)を統合して、『公益財団法人くまもと地下水財団』が2012年4月に設立され、この組織が熊本地域の地下水全体の管理運営を実施する母体として機能することになっている。

今回の県地下水保全条例改定の大きなポイントは、地域の長期的な地下水資源の量的管理を目指して

- ・熊本県内での重点地域として熊本地域を取り上げ、地下水揚水の許可制を導入すること。
- ・これに伴い、量水器の設置とその計量報告義務や、涵養対策の実施等が組み込まれたこと。

表2 地下水採取規制を持つ都道府県条例一覧 (2012年10月現在)
Table 2 List of prefectures having groundwater pumping regulations.

都道府県名	条例名称	水源 (水量) 保全目的	規制種類			吐出口断面 面積 (cm ²)	罰則
			許可・届出	命令・勧告	地域指定		
北海道	北海道公害防止条例			勧告	◎		
宮城県	公害防止条例		届出	命令・勧告	◎	6	・命令違反 6月以下懲役、10万円以下罰金 ・届出違反 5万円以下、3万円以下罰金 ・実施制限違反 3万円以下罰金
山形県	山形県地下水の採取の適正化に関する条例	○	届出	勧告	◎	6	・届出違反、立入調査違反 3万円以下罰金
福島県	福島県生活環境の保全等に関する条例		届出			(21)	・届出違反 10万円以下、3万円以下罰金
茨城県	茨城県地下水の採取の適正化に関する条例	○	許可	命令・勧告	◎	(農業 125 その他 50)	・許可、命令違反 1年以下懲役、10万円以下罰金 ・届出、立入調査違反 3万円以下罰金
群馬県	群馬県の生活環境を保全する条例		届出	要請	◎	(19)	・届出違反 3万円以下過料
埼玉県	埼玉県生活環境保全条例		許可	命令・勧告	◎	6	・許可違反 6月以下懲役、50万円以下罰金 ・命令違反 6月以下懲役、50万円以下罰金、 20万円以下罰金 ・届出違反 10万円以下罰金、5万円以下過料
千葉県	千葉県環境保全条例	○	許可		◎	6	・許可違反 1年以下懲役、50万円以下罰金
東京都	都民の健康と安全を確保する環境に関する条例		届出	命令	◎	6	・命令違反 1年以下懲役、50万円以下罰金 ・届出違反 10万円以下罰金
神奈川県	神奈川県生活環境の保全等に関する条例		許可	命令	◎	6	・命令違反 2年以下懲役、100万円以下罰金 ・許可違反、20万円以下罰金
新潟県	新潟県生活環境の保全等に関する条例		許可	命令・勧告	◎	6	・命令違反 1年以下懲役、50万円以下罰金、6 月以下懲役、30万円以下罰金 ・許可違反 1年以下懲役、50万円以下罰金
富山県	富山県地下水の採取に関する条例	○	届出	命令・勧告	◎	21	・命令違反 1年以下懲役、10万円以下罰金 ・届出違反 5万円以下罰金、3万円以下罰金
石川県	ふるさと石川県の環境を守り育てる条例	○	許可・届出	命令	○	6	・許可違反、命令違反 10万円以下罰金 ・届出違反 5万円以下罰金、3万円以下罰金
福井県	福井県公害防止条例		届出	勧告		(19・6)	
静岡県	静岡県地下水の採取に関する条例	○	届出	命令・勧告	◎	14	・命令違反 10万円以下罰金 ・届出違反 5万円以下罰金、3万円以下罰金
愛知県	県民の生活環境の保全等に関する条例		許可	命令・勧告	◎	(6)	・命令違反 1年以下懲役、30万円以下罰金 ・許可違反 1年以下懲役、30万円以下罰金 ・届出違反 20万円以下罰金
三重県	三重県生活環境の保全に関する条例		許可	命令	◎	(6)	・許可違反 2年以下懲役、30万円以下罰金 ・命令違反 2年以下懲役、30万円以下罰金 ・届出違反 3月以下懲役、20万円以下罰金、 10万円以下罰金
大阪府	大阪府生活環境の保全等に関する条例		許可	命令	◎	6	・許可違反、命令違反 1年以下懲役、50万円 以下罰金 ・届出違反 10万円以下罰金
岡山県	岡山県環境への負荷の低減に関する条例			命令・勧告			・命令違反 1年以下懲役、10万円以下罰金
山口県	山口県公害防止条例		届出	命令・勧告	◎		・命令違反 6月以下懲役、10万円以下罰金 ・届出違反 3万円以下罰金
徳島県	徳島県生活環境保全条例	○	届出	命令・勧告	◎	21	・命令違反 6月以下懲役、50万円以下罰金 ・届出違反 20万円以下罰金、10万円以下罰金
香川県	香川県生活環境の保全に関する条例		届出			19	・届出違反 3万円以下罰金
佐賀県	佐賀県環境の保全と創造に関する条例		届出	命令・勧告	◎	6	・届出違反 5万円以下罰金、3万円以下罰金
熊本県	熊本県地下水保全条例	○	許可・届出	命令・勧告	○	区域内 19 区域外 125	・届出、命令違反 10-50万円以下罰金

* 地域指定の欄中、「◎」は地域内のみ規制しているもの、「○」は地域外について規制しているもの
* 吐出口の断面積の欄中、括弧書きのものは、規則で定められている数値

が挙げられる。熊本地域とは、熊本市を中心として11市町村からなる第2帯水層を共有する地域のことで、2012年10月より揚水機本体の吐出口の断面積が 19cm^2 （直径約5cm超）の地下水採取に対する許可制施行を開始した。また涵養対策とは、許可申請時に対象井戸の揚水量に見合った必要な涵養対策を要請するもので、涵養方法に対応した実質的な推定涵養効果に対しての基準を策定し、それを基に申請者の涵養対策を定量評価することで、当面希望揚水量の10%相当量の涵養対策を講じることを義務づけている。涵養対策に該当する方法としては、事業者による自主的な敷地内涵養事業（雨水浸透マス、雨水浸透トレンチ、浸透型調整池、透水性舗装、緑化ブロック等の設置）・敷地外涵養事業（水田湛水事業、畑地・森林・草地涵養地の確保、水稻米契約栽培、涵養域水田の米の購入等）の取組があり、それぞれの涵養対策に応じた推定涵養量算定方法の指針を設けている（詳細は、熊本県立県推進課（2012）を参照）。また、他の採取者との協働の涵養事業を利用した涵養対策として、前述の『くまもと地下水財団』を介した転作水田水張り事業のような広域涵養強化対策への資金負担によっても涵養対策として取り込めるような仕組みも設けており、この方法による推定涵養量の算出方法は、「許可採取者が、財団が実施する事業に任意の協力金を拠出することによって涵養対策を講じるときは、採取量 1m^3 あたり0.3円を採取量に乗じて得られた額を目安とする」（熊本県立県推進課、2012）とされている。

5. おわりに

湿潤気候にあるモンスーンアジアでは蒸発散量を上回る豊富な降水量によって潜在的な可能地下水涵養量が存在しているため、地下水災害を引き起こした過剰揚水に対して、規制策として講じた揚水規制により極めて急速な地下水頭回復が見られる多くの事例が示されている。このような水文環境下では、涵養量に見合う揚水量管理の実施や、余剰河川水を効果的な水理地質構造の場所から人工的に涵養する方策を的確に講じるシステムが確立できれば、地下水資源を持続的に利用することは可能である。目に見えない地下にある地下

水資源の存在量とその涵養・流出機構を的確に評価した上でのそれぞれの地域の実情に合わせた持続的な地下水管理システムを確立することは、モンスーンアジアならではのユニークな地下水管理の取組である。地下水涵養量は地形勾配、土地利用、植生状況、降雨条件、地下水流動域内での場所等によって大きく変化する量であるため、持続的管理方策の中での運用にはその評価が難しい概念であるが、一定量の地下水揚水を行ったものはそれに見合う涵養を求めることで地域全体の地下水量を強化し、それによって持続的な地下水管理を行ってゆくことを目標に策定された新たな熊本県の地下水保全条例とそれに対応した管理運営組織作りの取組は、地下水を公水とする立場に立ってその持続的管理を目指す我が国における先駆的な事例といえる。

我が国における法制度では、土地所有者に帰属しているいわば私有財産的な位置づけとなっている地下水を公的な管理下においてその使用を抑制し、また新たな負担を求めるような条例の制定には地域住民の合意形成のための理解と協力が不可欠である。熊本地域ではそのための地下水に関する啓蒙活動として、熊本市による市民の地下水に関する啓発活動の一環としての『水守り制度』、『水検定制度』を2008年から実施しており、地下水関連の『くまもとウォーターライフ』というHPを通して地下水観測井戸の水位変化や揚水量変化等の地下水関連情報の公開や、地下水関連イベントの通知等に機能している。また熊本県では地下水政策強化の一環として、2010年度より『水の戦略会議』を設置し地下水保全条例改定の検討や地下水のブランド化、『水の国くまもと』HP作成による県の地下水関連情報の公開を開始した。これらのHPから熊本県・市が管理している地下水観測井戸のデータにもアクセスできるようになっており、許可制に伴う涵養対策の効果が一般市民にも自由に閲覧確認できるような体制構築にむけた努力がなされている。また地元の公益財団法人『肥後の水とみどりの愛護基金』では地下水を含む地域の水や環境保全活動を積極的に表彰する活動を25年以上に渡って実施しており、これら官民による市民啓蒙活動は、新たな条例のスムーズな運用に向けての市民理解・協力を大きく促進している

と思われる。本報で紹介した熊本地域における持続的な地下水管理事業の今後の展開に是非注目をお願いして本文を閉じることにしたい。

参考文献

熊本県 (2013) : 水の国くまもと. <http://mizukuni.pref.kumamoto.jp/> (2013.4.17閲覧)

熊本県立県推進課 (2012) : 重点地域 (熊本地域) における地下水涵養の措置による推定涵養量の算定方法. <http://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/48/shishin.html> (2013.4.17閲覧)

国土庁水資源部 (1992) : 諸外国及び我が国における地下水法制度等調査. 314p.

嶋田 純 (2010) : アジアの地下水問題. 谷口真人編, アジアの地下環境. 学報社, 89-114.

嶋田 純 (2012) : モンスーンアジア地域における可能地下水涵養量を考慮した地下水資源管理. 日本水文科学会誌42 (2), 33-42.

田中 正 (2012) : [地下水利用の現状とその対策] その時代的背景と今日的意義. 土木技術, 67 (2), 96-99.

日本水文科学会 (2010) : シンポジウム特集号「地域水循環を踏まえた地下水管理のあり方」(編集: 嶋田). 日本水文科学会誌 40 (3), 67-147.

Shimada J. (2010): The trans boundary management of groundwater resources in Kumamoto, Japan. *in* 'Sustainability Science for watershed landscapes', Chap 13., Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture (SEARCA), Univ. of Hawaii, Iseara Pub., Singapore, 311-326,

Shimada J., K.Ichiyanagi, M.Kagabu, S.Saita and K.Mori (2012): Effect of artificial recharge using abandoned rice paddies for the sustainable groundwater management in Kumamoto, Japan. Proceedings of World Environmental & Water Resources Congress, Albuquerque, New Mexico, USA., 59-69.

(受付: 2013年1月8日, 受理: 2013年3月2日)