

水田による地下水人工涵養効果の実証実験

VALIDATION OF THE EFFECTIVENESS OF ARTIFICIAL GROUNDWATER RECHARGE IN PADDY FIELDS

テイ ハ*・高橋昌弘*

THI HA and Masahiro TAKAHASHI

In Japan, artificial groundwater recharge is classed as either point recharge or surface recharge. Point recharge is direct recharge to the aquifer through a recharge well. Surface recharge is the indirect recharge of the aquifer through unsaturated layers such as in an infiltration facility or paddy fields. Recharge using paddy fields, including idle farmland, is inexpensive with regard to the construction and maintenance of the facility. This method can be applied in most land areas in Japan and is therefore of interest to central and local governments. However, it is unclear how water infiltrates from farmland to aquifer layers through unsaturated layers and the quantitative effect of groundwater recharge. We therefore attempted to measure the amount of groundwater recharge from a paddy field using a validation experiment at an artificial recharge project belonging to the metropolitan government of Hadano City. We were able to show the amount of continuous recharge from the paddy field and its effect on the groundwater level.

Keywords : *artificial groundwater recharge, paddy field, validation experiment*

1. はじめに

近年、都市部においては著しい都市化や宅地開発に伴う河道の直線化・排水システム整備による流達時間の短縮などにより、雨天時に短時間に大量の雨水が流出して内水氾濫（都市型水害）を頻発させている。一方では、舗装面・住宅・ビルの屋根などの不浸透域の拡大、水田面積の減少などにより、地下へ浸透する雨水量が減少し、地下水位の低下や湧水の枯渇、平常時の河川流量の減少などの現象も報告されている¹⁾。このような状況の中で、多くの雨水を地盤内へ浸透させて地下水を涵養させる取り組みが国内外で行われている（例えば、肥田²⁾、北村³⁾、藤本⁴⁾、坂本⁵⁾、Harms⁶⁾、Bond, et al.⁷⁾、Montgomery⁸⁾）。

地下水の人工涵養には、大きく分けて注入井戸により帯水層中に直接涵養させる点的な涵養方法と、涵養池、雨水浸透施設や溝渠などにより地表面から不飽和地盤を経て地下水を涵養させる面的な方法がある。前者は狭い面積でも多量に涵養することができるという利点があり、日本では沖積平野の地下水障害対策に重点をおいて実施されてきた⁹⁾。しかしその反面、目詰まりが生じた場合の涵養能力回復に多大な費用と労力を要する。これに対し、面的な人工涵養は、その実施に広大な面積を必要とするが、人工涵

養の最大の問題点である目詰まりを比較的容易に解消できる利点を持つ¹⁰⁾。

面的な人工涵養の中でも、水田に湛水させる涵養池法は、涵養施設の建設・維持にかかる費用が他の手法と比較すると少ないため、より多くの地域で適用できる可能性があり、多くの自治体などで注目されている。また、水田は多面的な機能を有しているが、中でも地下水涵養機能は重要な機能の一つであるとされている¹¹⁾。水田涵養事業の代表例としては熊本市白川流域における事業が挙げられる。同事業は平成 16 年から開始され、平成 19 年の涵養実績は約 1,220 万 m³であったが、平成 25 年には 3,000 万 m³を目標としている^{12),13)}。同様の試みは神奈川県秦野市¹⁴⁾や富山県魚津市¹⁵⁾、砺波市¹⁶⁾などでも実施されている。

水田涵養効果の評価は、多くの場合水田からの浸透量の大小のみによって評価されるケースが多く、地下水の増強効果についての定量的な評価は少ない。とくに、広域を対象とした場合、これらの効果を実際に測定して評価することが困難であるため、数値モデルを用いたシミュレーションによる検討が中心となっている^{17),18)}。このように、地下水位への効果の説明性が低いため、限られた財政状況下において事業の推進・促進が困難な状態である。

そこで、本稿では水田を用いた人工涵養の実証実験を行い、地下水への涵養効果の定量的な評価を試みたので、その実施方法および結果について報告する。

* 技術本部 中央研究所 総合技術開発部

2. 実証実験実施地について

(1) 実験地の位置

実証実験は神奈川県秦野市水道局が以前から人工涵養に利用している水田を対象に実施した。秦野市は神奈川県西部に位置し、丹沢山地と大磯丘陵に囲まれた盆地である(図-1)。盆地には秦野層と称される未固結堆積物層内に丹沢山地の降雨が流れ込んで貯まった「天然の水がめ」があり、地下水が豊富で市の水道水源の約7割を地下水が占めている(図-2)¹⁹⁾。昭和40年代に、都市化に伴う水道事業の拡大、工場の増加に伴う地下水の揚水が盛んとなり、都市化に伴う不浸透域の拡大も加わり、一部井戸の枯渇および地下水位低下が生じた。そのため、昭和48年に「秦野市環境保全条例」が制定され、新たな井戸掘削を抑制する一方、地下水収支の赤字を補うため、地下水の人工涵養を含む本格的な地下水保全活動が始まった。また、地下水保全のための事業を展開するにあたって、地下水利用事業所から協力金の納付を定めた「秦野市地下水保全及び利用の適正化に関する要綱」が昭和50年4月から施行されている。

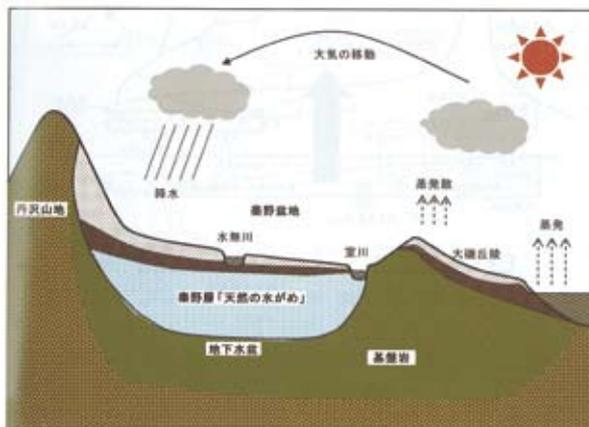


図-2 秦野盆地の水循環および地下水盆¹⁹⁾

(2) 秦野市における地下水人工涵養事業の概要

秦野市における地下水人工涵養事業は下記する3種類を中心に実施されている。

- ① 水田涵養
- ② 注水井を用いた地下水注入涵養
- ③ 雨水浸透施設(雨水浸透ます、雨水調整池など)

また、平成13年度以降の地下水人工涵養事業規模の推移を図-3に示す。同図に明らかなように秦野市における人工涵養事業の涵養量全体としては増加傾向である。事業全体のうち、雨水調整池・屋根雨水の浸透施設、浸透ますによる涵養量は増加傾向であるのに対し、水田涵養は水田確保が困難であるため、平成16年度をピークに減少傾向である。注水井による涵養はおおむね安定した推移を示している。

今回実証実験の対象にした水田涵養事業は昭和50年12月に開始され、冬期に水田を借り上げ、河川水や湧水を引き込んで実施している。昭和50年代半ばに一時中断することになったものの、平成13年度に再開され現在に至る。しかし、近年の水田の減少と、冬期の用水確保が困難なことから水田による人工涵養事業の伸び悩みが懸念されている。

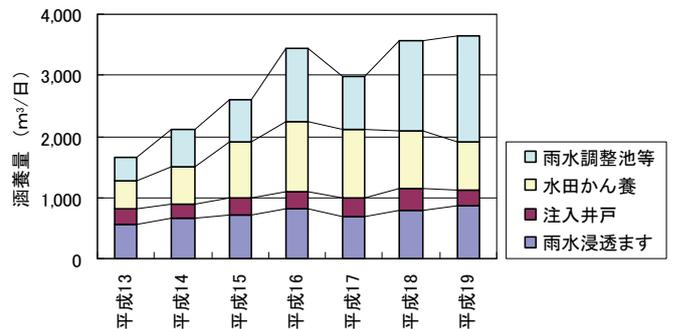


図-3 秦野市における平成13年以降の人工涵養事業の推移

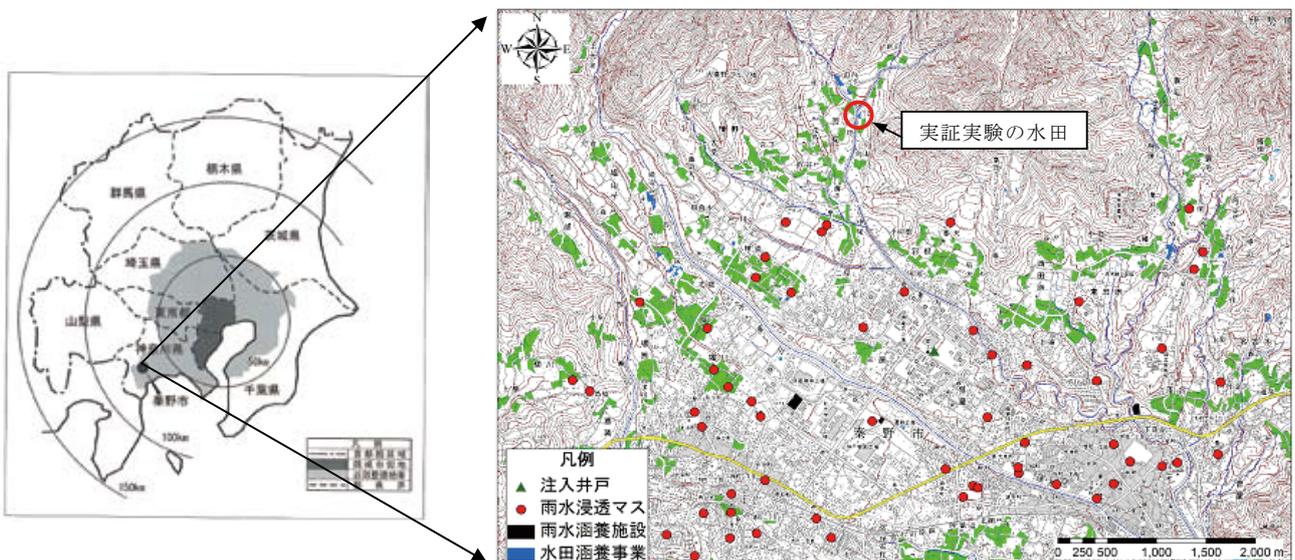


図-1 秦野市における人工涵養事業実施位置図

(3) 実証実験対象の水田

実証実験の対象水田は下記の条件を考慮して選定した。

- ・ 水田へ導入する水を長期的に安定して確保できること
- ・ 導水と断水を繰り返し実施することに対して水田持主の理解と協力が得られること
- ・ 近隣に既設の地下水位観測施設が存在し、新たな観測施設の設置が不要であること
- ・ 地下水位の変動に影響を及ぼす河川や池などの別の水源が水田の近隣に存在しないこと
- ・ 現地へのアクセスが容易であること

その結果、秦野市水道局菩提取水場近傍の水田が実証実験の対象として選定された（位置は図-1参照）。ただし、当該水田の近くに河川があり、近隣の地下水変動に影響を及ぼす可能性が残ったため、河川水位も合わせて観測をすることによってこれに対処することにした。

当該水田は秦野盆地の北部山裾に位置し、面積は約 144m² と小規模で、近傍の側溝を流れる山からの湧水を水田へ導水できるようになっている。また、流出口は側溝へ水田内の水が落ちる構造になっており、流出口の位置が高く、水田内には流入口との比高により 5 ～ 10 cm の水がたまる構造になっている（写真-1）。なお、この水田は春～秋は稲作に利用しているため、実証実験は冬期農閑期を利用して実施した。

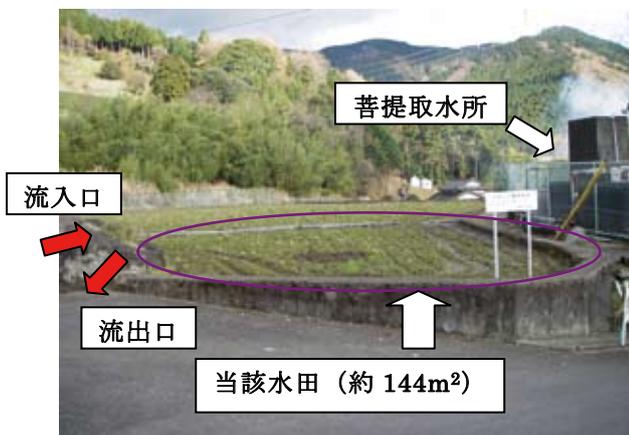


写真-1 実証実験の水田

3. 実証実験方法

(1) 涵養効果の検討方法

涵養効果は、下記の三つの方法によって評価することにした。

- ① 水田からの地下浸透量
- ② 水田からの地下浸透による周辺地下水への涵養効果
- ③ 水田の減水深

1) 水田からの地下浸透量の算定方法

水田への流入量・水田からの流出量・水田内貯留量およ

び蒸発散量の水収支を計算することによって水田から地下へ浸透する水量を算定する。計算式は図-4に示す通りである。

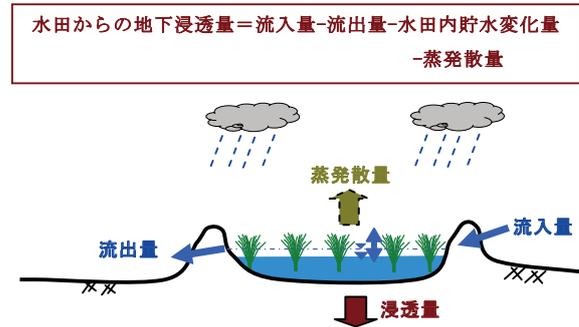


図-4 水田の水収支と地下浸透量の算出方法

2) 水田からの地下浸透による周辺地下水への涵養効果

水田からの水が地下へ浸透し、帯水層へ到達した後、地下水へ涵養する状況を水田近傍の地下水位の変化状況から検討する（図-5）。これは、本水田の近傍に位置する既設の地下水観測井戸（菩提取水場）の観測結果を用いて検討した。

ここで、降雨および水田近傍の河川の周辺地下水の変動への影響を排除した評価を行うため、降雨・河川水位の記録から影響が考えられる期間は水田涵養評価期間としない処理を行った。

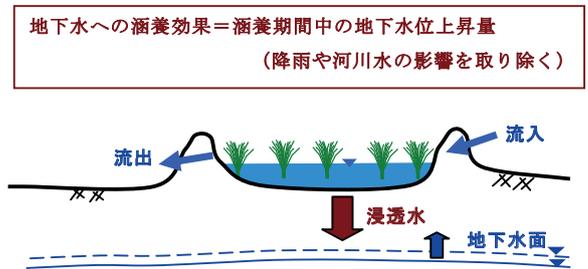


図-5 水田涵養効果の検討方法実証実験中の浸透量（涵養量）および水田近傍の地下水位変動

3) 減水深調査方法

減水深とは、水田から浸透する水量を水田の水深で表現するものであり、上記1)の地下浸透量の自記記録の精度

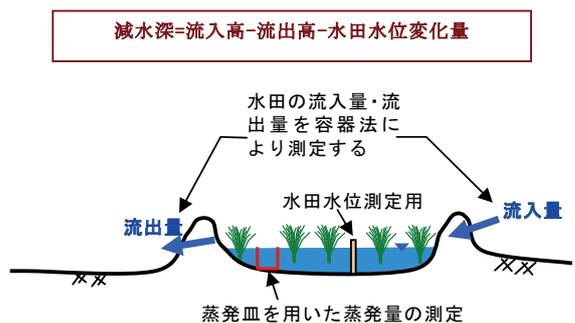


図-6 減水深調査方法

を検証することを兼ね、蒸発量も含めた実測結果を得ることを目的に実施した。調査方法は図-6に示すように水田への流入および流出高（流入および流出量/水田面積）、水田水位の変化量から求めることができる。また、現地の蒸発量の規模を推定するため、蒸発皿を用いた蒸発量の測定を行った。

減水深調査としては、一定の水位に達するまで水田内に導水した後、流入・流出が生じないようにして、水田内の水位が低下していく状況を測定する方法もある。しかし、本調査では普段稲作で水田を使用する時と同じ状況下での減水深を求めるため、上記の“水田からの地下浸透量の算定”と同時に、流入・流出が生じている状態で測定を行った。また、導水口の止水板を操作して人為的に流入量の操作を行い、水田使用時の導水状況を再現した。

(2) 観測体制の構築

本調査では水田からの地下浸透量の時系列変化および周辺地下水への涵養効果を把握するため、図-7および写真-2に示す観測体制を構築し、各観測項目の連続観測を行った。種目別の観測項目の数量および観測方法については表-1に示す通りである。

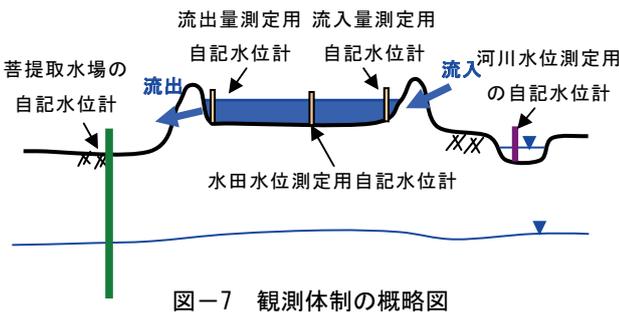


図-7 観測体制の概略図



水田流出の観測状況

河川水位の観測状況

写真-2 観測地点機器設置状況一例

また、減水深調査については、流入・流出量の現場測定に加えて、水田水深および蒸発量を1日実測した。

表-1 観測項目および数量

種目	観測項目	観測方法	地点数	備考
涵養量算出	流入量	自記水位計による流入口の水位の自記観測	1	あらかじめ計測作成しておいた水位～流量関係図を用いて流量を求める
	流出量	流出口の水位の自記観測	1	
	水田内貯水量	水田水位の自記観測	1	水田面積と水位の積を貯水量として算出
地下水涵養効果の検討	水田周辺地下水位	自記地下水位計による観測	1	菩提取水場
	河川水位	自記水位計による観測	1	

4. 実証実験工程および実験結果

(1) 実証実験工程

実証実験は表-2に示すように1月から2月8日まで連続で導水を行い、その後は涵養効果をより明確に把握するため、間に1週間の断水期間をおきながら3月末まで導水と断水を繰り返し行った。導水時の状況の一例を写真-3に示す。

また、減水深調査は2月19日の9時～16時の間で1時間おきに計8回の実測を行った(写真-4)。



写真-3 涵養実証実験の実施状況

表-2 水田内への導水および各観測の実施工程

項目	平成22年																																											
	1月										2月										3月																							
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
導水期間	■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■																							
流入量観測											■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■																							
流出量観測											■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■																							
水田水位観測											■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■																							
地下水水位観測	■■■■■■■■■■																																											
河川水位観測											■■■■■■■■■■										■■■■■■■■■■																							



水田水深測定



蒸発量測定

写真-4 減水深測定状況一例

(2) 実証実験結果

1) 水田からの地下浸透量

図-4 中に示した算定式に基づき、水田への流入量・水田からの流出量・水田内貯水変化量および蒸発散量から求めた地下浸透量(=涵養量)を図-8に示す。ここで、蒸発散量については連続の自記観測結果がないものの、本実証実験の実施時期である1月~3月の平均気温が約6~9℃(アメダス小田原観測地点)であるため、次の3)の減水深調査結果で示す蒸発量を代用できると仮定し、経験式に基づく蒸発散量算定は行わないことにした。図-8に明らかなように、水田からの地下浸透量は下記のようになっている。

- ・ 実証実験前半(1月22日~2月8日)における水田からの地下浸透量は約 $3\text{m}^3/\text{時間}$ (1m^2 当たりの地下浸透量: $21\text{mm}/\text{時間}$)である。
- ・ 実証実験中盤(2月16日~3月1日)における水田からの地下浸透量は約 $1\sim 2\text{m}^3/\text{時間}$ (1m^2 当たりの地下浸透量: $7\sim 14\text{mm}/\text{時間}$)である。
- ・ 実証実験後半(3月9日~3月22日)における水田からの地下浸透量は $0.5\sim 1.5\text{m}^3/\text{時間}$ (1m^2 当たりの地下浸透量: $3\sim 10\text{mm}/\text{時間}$)である。

したがって、地下浸透量の面から水田涵養効果(あるいは水田のもつ地下水涵養能力)を評価できるデータが得られたと考える。

なお、実験後半になって水田からの地下浸透量が顕著に減少した原因については下記の仮説が考えられる。

- ① 実証実験後半に増えた水田内の雑草の体積を考慮していないため、水田内の貯水量を過大に評価し、水田からの浸透量を過小に評価している可能性がある。さらに、同じ流入量・水田貯水量条件においても、水田内に増えた雑草の体積により水田内の水位上昇が生じ、水田内導水勾配が高まり、流出量が増加したことが影響した可能性がある。
- ② 雑草の繁茂が浸透能の低減を招いたあるいは、目詰まりが生じはじめた可能性がある。
- ③ 調査地が山地(傾斜地)にあり、近傍井戸の地下水位と水田部の地下水位が同じとは限らず、仮に水田部の地下水位が比較的浅い位置に存在すると仮定する場合、降雨後の水位上昇によって水田の浸透能が低減していることが考えられる。

上記の仮説の検証は本調査では実施できていないが、同様な調査を行う場合は、雑草量の調査および体積の評価を行い、水田貯水量/地下浸透量の精度を上げる必要がある。

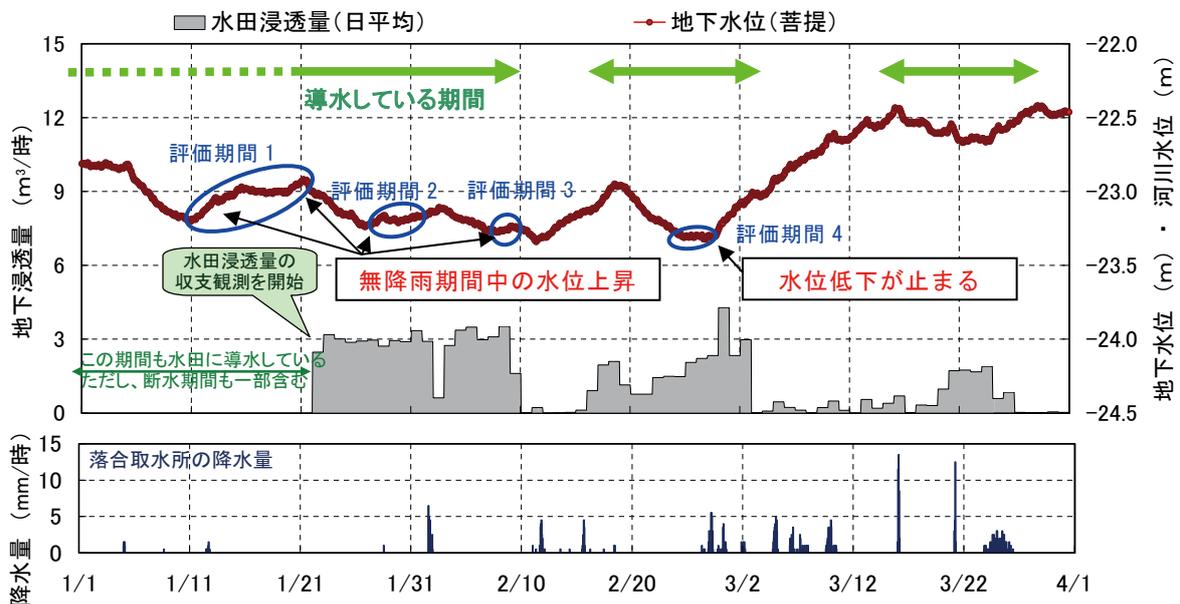


図-8 実証実験中の浸透量(涵養量)および水田近傍の地下水位変動

2) 周辺地下水への涵養効果

周辺地下水への涵養効果を検討する前に、**図-9**に菩提取水場の地下水位および周辺地下水との比較をするために菩提取水場の下流側約4kmに位置するNo.32-2観測井の地下水の挙動を示す。同図に示すように、調査地周辺の地下水は4月下旬ごろから梅雨期にかけて水位の上昇が見られ、8月下旬ごろをピークに水位が低下し始めている。その後、地下水位の低下が継続し、今回の実証実験は地下水位の低下時期に該当する。すなわち、水田からの地下浸透による地下水増強効果が現れにくい状況下での実施となった。

次に、降水量と菩提取水場の地下水位の上昇量の関係を検討するため、灌漑期を外し(水田からの涵養の可能性があるため)9月～12月期間中のいくつかの降雨イベントを抽出した。その結果、**図-10**に示すように菩提取水場の地下水位は降雨に敏感に反応し、降水量が5～10mm程度でも1～3cmの水位上昇が確認された。なお、梅雨期の同箇所における地下水位上昇量は約40cmであり、**図-10**の相関関係から大きく乖離するような水位の上昇・低下は見られない。

図-8に実証実験中の菩提取水場の地下水位観測結果を示す。この観測結果から水田涵養効果を検討するために下

記の条件を満たす期間を探したところ、**図-8**に示したように4つの評価期間が抽出されることとなった。

- ① 無降雨期間であり、かつ地下水位が上昇していること
- ② 調査地周辺の地下水位が自然時に低下しているにも関わらず、無降雨期間中に地下水位の低下が止まったこと
- ③ 水田に導水している期間であること
- ④ 河川からの地下水涵養(の増加)が生じ難く、河川水位が低レベルで一定値を示す期間であること(=河川水位上昇期間ではないこと。ただし、評価期間1は河川水位観測記録がないため評価期間2～4のみ該当)

上記評価期間4つのうち、期間1～3については地下水位の上昇が確認されている。しかし、期間4の場合は上記1)で述べた水田からの地下浸透量が減少する期間と重なり、水位上昇の効果まではもたらしていないものの、水位低下を止める効果が確認された。また、地下水位が上昇した期間1～3については、その上昇量を検討するためにこれらの評価期間の地下水位の変動を拡大し、**図-11**に示す。

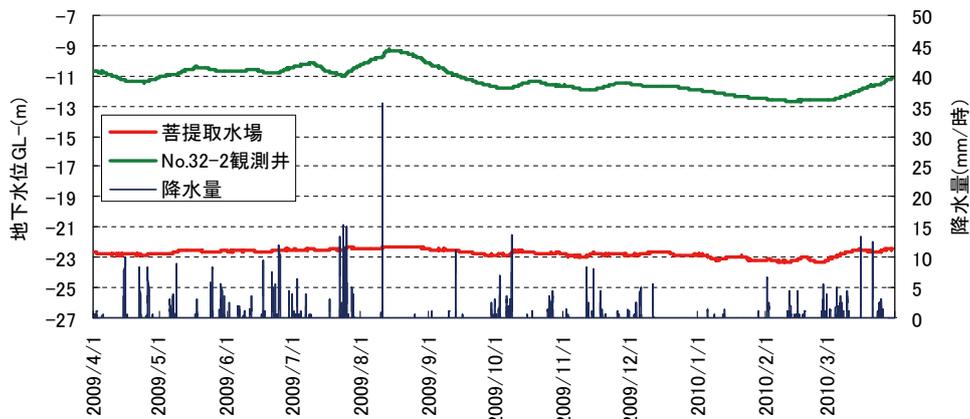


図-9 調査地周辺の地下水挙動

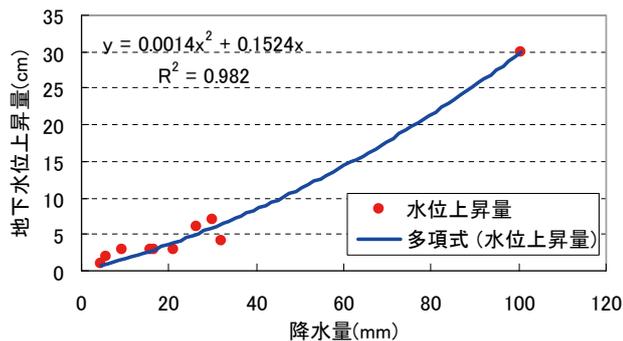


図-10 降水量と地下水位上昇量の関係

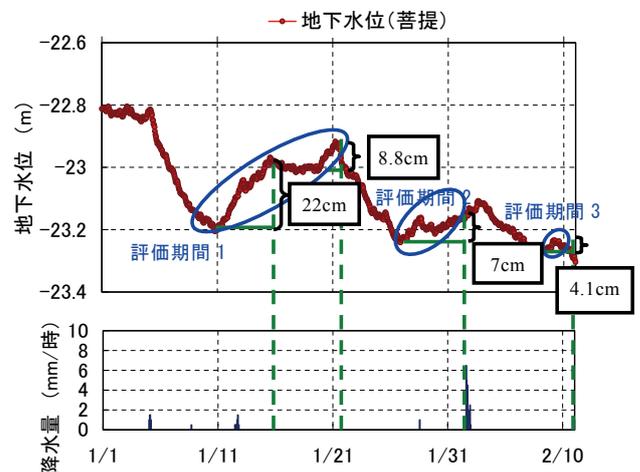


図-11 評価期間中の地下水位上昇量

表-3 減水深調査結果

測定日時	流入量	流入高	流出量	流出高	水田水位	水田水位変化量	減水深	減水深	平均減水深	平均蒸発量
	Q_{in}	h_{in}	Q_{out}	h_{out}	h_{pf}	Δh_{pf}	$h_{in}-h_{out}-\Delta h_{pf}$			
	[m ³ /hr]	[mm]	[m ³ /hr]	[mm]	[m]	[mm]	[mm/hr]	[mm/day]	[mm/day]	[mm/day]
2010/2/19 9:00	3.92	28.0	0.36	2.6	0.130	—	—	—	—	0.4
2010/2/19 10:00	5.63	40.2	3.34	23.8	0.141	11.0	5.4	128.9		
2010/2/19 11:00	7.29	52.1	5.57	39.8	0.142	1.0	11.3	271.2		
2010/2/19 12:00	2.39	17.1	2.66	19.0	0.130	-12.0	10.0	240.7		
2010/2/19 13:00	2.14	15.3	0.82	5.9	0.128	-2.0	11.4	273.3		
2010/2/19 14:00	1.65	11.8	0.40	2.8	0.125	-3.0	12.0	287.0		
2010/2/19 15:00	7.05	50.4	3.29	23.5	0.142	17.0	9.8	235.9		
2010/2/19 16:00	2.81	20.1	3.90	27.9	0.134	-8.0	0.2	4.8		

図-11 に示すように 3 つの評価期間のうち、期間 1 の水位上昇量は最も大きく、前半で 22cm、後半で 8.8cm の上昇が確認された。しかし、評価期間中に 5.5mm の降雨があり、図-9 の検討結果から考えるとこの水位上昇のうち降雨によって 1 ~ 2cm の水位上昇が生じていると思われる。その後、地下水位の低下傾向が強まり、水田からの浸透水による水位の上昇が見られなくなり、水位低下に転じた。しかし、その後評価期間 2 で 7cm の水位上昇が再び確認された。次に、評価期間 3 の水位上昇量は約 4cm である。

評価期間 3 の後は一旦水位の低下傾向に転じたものの、その後すぐに上昇傾向に転じ、2 月 10 日 ~ 2 月 18 日の期間中に約 40cm の水位上昇が確認された。この期間中に 37.5mm の降雨があったものの、菩提取水場の自然時の地下水位の挙動からは降雨量に対して地下水位の上昇量が多い傾向になっている。すなわち、本期間中の 2 月 10 日 ~ 2 月 15 日が断水期間中ではあるが、断水前の水田から地下へ浸透した水が時間遅れで効果をもたらした可能性も考えられる。同様に評価期間 4 の後に 2 月 27 日から 3 月 16 日にかけて約 86cm の水位上昇が確認され (図-8)、菩提取水場では梅雨期においても同様の大幅な水位上昇が確認されていないことを考えると、水田からの地下浸透水による影響も含まれていることが十分考えられる。しかし、双方の影響を正確に分離することが困難であり、今後の課題として残した。

上述したように、多少の課題を残したものの、一連の実験結果に基づき、水田から浸透した水が帯水層まで到達した後、周辺の地下水位を上昇させる効果のあることが実証されたと考える。

3) 減水深調査結果

減水深測定結果を表-3 に示す。同表に示すように、当該水田の平均減水深は 206mm/日 (約 8.6mm/時間) である。また、最大減水深は約 290mm/日 (約 12mm/時間) であると推定され、導水量を操作することによって最大で 11.6mm/時間 (= 減水深最大値 12mm/時間 - 蒸発散量 0.4mm/時間) の降雨量相当の涵養が期待できるものと考

えられる。

なお、減水深測定時間内の平均蒸発量は 0.4mm/日である。減水深測定を実施した 2 月 19 日のアメダス小田原観測地点の平均気温は 5.2℃であり、この気温相当の蒸発量としては妥当な数値であると評価される。

5. あとがき

本検討では、秦野市が実施している地下水人工涵養事業のうち、水田涵養の効果を定量化するため、春 ~ 秋に耕作利用する水田で農閑期を利用して実証実験を行った。実験の方法は 1 月 ~ 3 月の期間中に、水田への導水と断水を繰り返し、その際の水田からの地下浸透量 (= 涵養量) および水田から浸透した水による周辺地下水への涵養効果を検討した。この実証実験結果は以下のように要約できる。

- 水田からの連続涵養量が明らかになった。また水田から浸透した水が地下水表面まで到達し、地下水位を上昇させる効果のあることが実証できた。
- 実証実験結果からも、水田の地下水涵養機能が十分大きいことが確認された。今後、水田面積の拡大によって地下水保全事業の一層の効果発現が期待できる。
- 本調査で考案し採用した、対象水田からの浸透量算定方法、涵養効果の評価方法および観測体制は有効かつ有益であり、他の現場へも応用可能である。
- 対象期間が冬期の気温の低い時期であれば蒸発散量の規模も無視できる程度に小さい可能性があり、蒸発量の測定は省略可能である。

本実証実験の結果に基づき、秦野市としては水田による地下水人工涵養の効果を定量的に検証できたことから、本事業の継続実施へ繋がる基礎データを得ることが出来た。当社としては限られた財政状況下において求められている効率的な事業展開のために人工涵養実施箇所の配置や事業の評価などの技術的な支援を提供していくことが今後の役割であると考えられる。

表－４ 水田を用いた地下水人工涵養の課題²⁰⁾

課題点		対策案
1	涵養用水の確保 河川水を涵養用水とする場合、水利権の確保が難しい。農業用水を人工涵養目的に転用することができない。	関係機関との協議・調整が必要である。
2	涵養用地の確保 休耕田に湛水する場合、地権者より以下の問題点が指摘されている。 (1) 冬場にも水を張るため、休耕期間がなくなる（土地が痩せる、土質が悪くなる、苔や臭いが付くなど）。 (2) 放置すると涵養池内に雑草が生えてしまう。 (3) 涵養水の水漏れ、凍結、池周辺のぬかるみ等、周囲に迷惑をかけることがある。	借地料を支払って人工涵養を実施する場合、運営費の負担が発生する。
3	涵養施設の維持 人工涵養池の浸透能力を長期的に維持するには、用水路や取水口の維持・定期的な耕起などの作業が必要である。	維持管理作業を委託する場合、運営費の負担が発生する。
4	涵養効果の広報啓蒙活動 人工涵養の最終目的は、湧水の復活や地下水位の維持であるが、小規模な人工涵養施設では、「目に見える」形で涵養効果を示すことが難しい。涵養効果を示し、地域住民の理解を得る活動が必要である。	地下水位観測・数値解析を組み合わせた、人工涵養効果のアピールが必要。事業化により運営費を確保する。

6. 今後の課題

本検討では冬期農閑期に水田へ導水して人工的な涵養を行い、その効果を検討した。今後は、耕作中の水田の自然涵養効果についても明らかにしていくことが必要であり、これを検討することによって耕作期間中の秦野市全域の地下水涵養量を評価することが可能になると考える。

また、本検討では明らかにならなかったものの、今後水田涵養事業を効率的に継続して実施していく上では、経目的に涵養量が減少する原因が目詰まりの他にあるのか、他に原因があればその涵養機能回復処理法についても今後明らかにしていくことが必要である。また、今回は降雨や河川水の影響を排除した上での評価手法を試みたものの、一部で水田からの浸透水との影響の分離が困難となり、課題を残した。

なお、著者らはこれまでの実施事例に基づき、水田を利用した地下水人工涵養の現状と課題を取りまとめている²⁰⁾。その課題は表－４に示す通りであり、これらの課題についても対策法を検討し、行政側に提示することによって今後の事業拡大に役立つものとする。

謝辞：本実証実験の実施に当り、水田の提供をはじめ、導水や水田維持管理など全面的にご協力下さった古谷 勲氏に深く感謝の意を申し上げます。

参考文献

1) 下水道政策研究委員会 流域管理小委員会：水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について 報告書、

2007.

- 2) 肥田 登：地下水人工涵養（池法）の実施と成果；六郷扇状地の例、水循環 貯留と浸透、Vol.58、pp.21～25、2005.
- 3) 北村 和之：「雨水貯留浸透に係る事業への取り組み」 秦野市の地下水保全事業について、水循環 貯留と浸透、Vol.68、pp.41～43、2008.
- 4) 藤本 仁：熊本市の雨水貯留浸透事業について、水循環 貯留と浸透、Vol.54、pp.39～41、2004.
- 5) 坂本洋二：小金井市における湧水保全への取り組み、水循環 貯留と浸透、Vol.60、pp.30-36、2006.
- 6) R.W.Harms: Stormwater Infiltration in Germany- Technical Standards, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, pp.497-501, 1996.
- 7) P.C. Bond, C.J. Pratt, A.P. Newman: A Review of stormwater quantity and quality performance of permeable pavements in the UK, 8th International Conference on Urban Storm Drainage, pp.248-255, 1999.
- 8) R. J. Montgomery, S. J. Gaffield, N. R. Zolidis: Infiltration of stormwater runoff for groundwater recharge, Dane County, Wisconsin, 10th International Conf. on Urban Storm Drainage, 2005. (CD ROM)
- 9) 東京地下水研究会 編：水循環における地下水・湧水の保全、信山社サイテック、2003.
- 10) 榎本真嗣：地下水人工涵養手法を用いた水道施設の紹介、地下水技術、第49巻、第7号、p9-21、2007.
- 11) 柴崎達雄 編：農を守って水を守る、築地書館、2004.
- 12) 熊本市：熊本地域地下水総合保全管理計画、2008.
- 13) 市川 勉：熊本地域における地下水循環の現状と水田からの地

- 下水涵養、水循環 貯留と浸透、Vol.58、pp.11-20、2005.
- 14) 秦野市：秦野市地下水総合保全管理計画～天然の水がめを守り育む名水の里～、秦野市環境農政部環境保全課、2003.
 - 15) 庄川扇状地水循環検討委員会：第 5 回委員会資料、2003.
 - 16) 庄川扇状地水環境検討委員会：流域における健全な水循環系の構築に向けて - 富山県庄川扇状地 - 総括報告書概要版、p66、2004.
 - 17) 高橋直人・榎本真嗣・中谷仁・小山潤：庄川扇状地における準 3 次元差分法による地下水流動解析、地下水学会、地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム、pp57-58、2006.
 - 18) 砺波市役所：砺波市地下水・水質保全等検討委員会資料、2006～2009.
 - 19) 秦野市：秦野市地下水総合保全管理計画～天然の水がめを守り育む名水の里～、秦野市環境農政部環境保全課、2003.
 - 20) 高橋 直人・THI HA・中川 啓：休耕田を利用した地下水人工涵養の現状と課題、2009 年秋季講演会講演要旨、172-177、2009.

