

**休耕田を利用した地下水涵養における
肥料成分の水質変化特性**

奥川光治・村塚理恵・畑由紀・安田郁子・広瀬慎一

用水と廃水 Vol.52 No.5 393-400 (2010)

[報 文]

休耕田を利用した地下水涵養における 肥料成分の水質変化特性

Water Quality Change in Fertilizer Components
in Artificial Groundwater Recharge Using a Fallow Paddy Field

奥川 光治* 村塚 理恵** 畑 由紀***
安田 郁子* 広瀬 慎一****

本研究では、庄川扇状地にある休耕田を利用した地下水涵養実験において、流動状況と肥料成分の水質変化特性などについて解明し、つぎの結論が得られた。

- ①休耕田を利用した地下水涵養量は、一般的な水田と比べ10倍程度大きい。
- ②休耕田地下水は基本的に庄川河川水の伏流水であり、その表層に周辺の水田や休耕田からの浸透水を受けている。
- ③休耕田地下水の起源が庄川、周辺の水田、休耕田のいずれであろうと地下水観測孔までかなり早く浸透している。
- ④休耕田や水田が湛水され、還元的な条件の場合、硝酸態窒素は溶脱しないが、湛水されていない場合は酸化的な条件となり、地下水への溶脱が起こりやすくなる。とくに、休耕田を利用した地下水涵養手法において、中干し・耕起により無機態窒素濃度が高くなる可能性があり、維持管理上、留意が必要である。
- ⑤休耕田地下水中のカリウムイオンと溶性ケイ酸濃度は、周辺の水田における施肥の影響のため、夏期に高くなる。

以上のように、周辺の水田における施肥が休耕田地下水の水質に影響を与えているが、休耕田を利用した涵養そのものが地下水水質に与える大きな影響は認められない。耕作中の水田による涵養に比べ、休耕田を利用した涵養手法は量的にも質的にもすぐれた手法であるといえる。

Key words：庄川扇状地，地下水，人工涵養，栄養塩類，カリウム，ケイ酸

* Koji OKUGAWA, Ikuko YASUDA, 富山県立大学工学部 〒939-0398 富山県射水市黒河5180, Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu-shi, Toyama-ken 939-0398 Japan (E-mail : okugawa.koji@pu-toyama.ac.jp)

** Rie MURATSUKA, 富山市役所

*** Yuki HATA, 富山県立大学短期大学部専攻科

**** Shinichi HIROSE, 元富山県立大学短期大学部

1. 緒 言

人工的な地下水涵養が注目されだしたのは、地下水位低下や地盤沈下などの地下水障害が顕著になった1960年代からであり、その対策として、公的機関が中心となって、人工涵養の実験が積極的に行なわれるようになった。当時の涵養法としては井戸法が非常に多かったが、1980年には、建設省土木研究所(当時)が地下水涵養工法として地下埋管法(地下トレンチ浸透法)を開発した¹⁾。これらの対策や地下水の取水規制により、地下水位低下や地盤沈下は解消されていった。

しかし、近年、富山県では都市化の進展や水田の減少に伴い地下水涵養量が減少し、さらに、市街地を中心に冬期における消雪用水としての地下水利用により、一時的に大幅な地下水位の低下がみられる。現在、低下した地下水位は春・夏の期間灌漑によって回復している。しかし、都市化や休耕田の増加、消雪用水や工場の新規立地による地下水利用の増加などにより、今後、これまでのようには地下水位が回復しないことが懸念されている²⁾。そこで、休耕田を利用した地下水涵養が注目されている。富山県では水田等を利用した地下水涵養の推進の一環として、2006年度から魚津市や砺波市において休耕田を用いた地下水涵養実証調査を実施し、地下水涵養手法の検討を行なっている³⁾。しかし、その水質に関しては必ずしも調査研究が進められていないのが現状である。

本研究の目的は、砺波市で実施している休耕田を利用した地下水涵養実験において、流入水や休耕田湛水、地下水中の栄養塩類と無機塩類などの水質変化を調査し、水質形成機構を明らかにすること、ならびに、地下水の水質への影響を検討することである。本論文では2007年3月から2009年6月までのデータに基づいて、流動状況と窒素・リン・カリウム等の肥料成分の水質変化特性について解明した。

2. 方 法

2.1 実験・調査概要

涵養実験は、2005年より休耕中の砺波市柳瀬の庄川左岸沿いの水田(図1参照)で実施した。この

休耕田は庄川扇状地の扇央にあり、東側には庄川が流れている。その他の方角は水田が取り囲んでおり、集落からは数百m以上離れている。なお2008年には、周辺水田の一部が大豆に転作されていた。庄川扇状地の扇頂から扇央にかけては地下水補給がさかんであり、庄川河川水は伏流水となって北西の方角に流れているといわれている⁴⁾。よって、本研究の休耕田地下水は庄川の伏流水に、休耕田と周辺の水田などからの浸透水が加わっていると思われる。

涵養実験は2005年3月に砺波市役所による浸透量計測(水収支法⁵⁾)で開始された。2006年6月からは富山県立大学も実験に参加し、一筆減水深法およびN型減水深法⁵⁾による浸透量計測を開始した。2007年3月からはさらに採水・水質分析も開始した。水収支法による浸透量計測は年間を通して、減水深法による浸透量計測は冬期を除いて月1回実施した。採水・水質分析は原則として月1回実施した。

図2に示すように、本実験を実施している休耕田は5枚続きの田越し灌漑水田であり、総面積は4,430m²である。このうち上流から2枚の水田で休耕田湛水を採取するとともに、流入水(農業用水)、地下水(観測孔)および庄川河川水を採取し、水質を分析した。庄川河川水は休耕田から約500m上流の太田橋下流側と約5km上流の雄神橋上

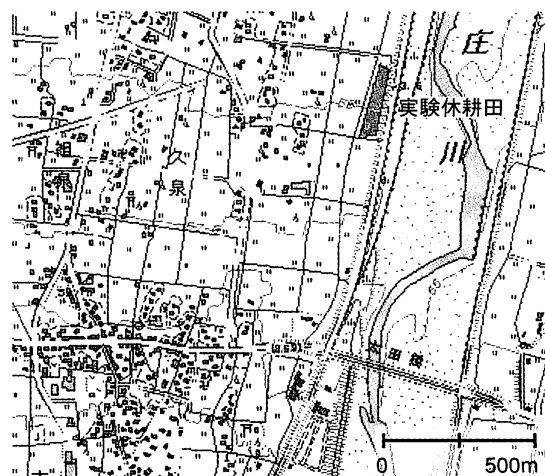


図1 実験休耕田周辺の状況(国土地理院, 1:25,000地形図参照)

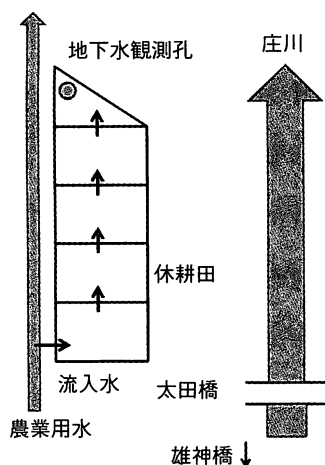


図2 実験休耕田と調査地点の概略

流側とで採取した。また、雄神橋上流の合口ダムで取水している和田川共同水路の水質データ(富山県和田川水道管理所による)と、約8.5km上流の小牧ダムで取水している砺波広域圏事務組合松島浄水場原水の水質データも参考にした。なお、流入水は合口ダムで取水している農業用水である。

休耕田へは常時流入させるのが原則であるが、種々の理由により流入・涵養が停止した。休耕田における水管理の状況は下記のとおりである。

2007年7月には大量の雑草と藻が発生したため、8月に中干し・除草を行ない、9月中旬に耕起した後、涵養を再開した。2008年2月は、積雪のため採水・水質分析が実施できなかった。3月から4月上旬には、用水路の清掃のため用水の送水が停止した。そのため3月には地下水位が低下し、地下水が採取できなかった。6月と8月には中干し・除草、9月に耕起が行なわれた。10月下旬から12月下旬まで用水路の工事のため送水が停止した。2009年3月末には、用水路の清掃のため送水が停止した。

一方、柳瀬地区周辺の既設井戸の地質調査⁶⁾によると、休耕田周辺には3つの帯水層が存在する。深度6mから15mまでが第1帯水層であり、深度40m付近に第2帯水層、深度90m付近に第3帯水層が存在する。本研究の地下水観測孔は、第1帯水層から揚水している。砺波市内の民家井戸の多

くも、第1～2帯水層から揚水している。また、砺波市内の消雪井戸・工業用井戸は、第3帯水層から揚水している。地下水観測孔の地質状況は調査ボーリングの結果、地表から深度1mまでは粘土が混じる礫層から構成されている。これは水田の耕盤に相当しているものと推定される。礫はきわめて大きい円礫で、最大で直径400mmにもなる。それ以深は深度15mまで玉石・砂礫層が連続している。礫間はおもに砂質土からなり、粘土分の含有は少ない。礫径は20mmから、採掘口径よりも大きいものまで多種にわたっている。

2.2 採水方法

河川水は橋上からバケツを用いて、あるいは河川内に入って2m柄杓を用いて、なるべく本流付近の水を採取した。流入水是直接採取した。休耕田湛水の採取は上流側2枚の休耕田の数個所で行ない、コンポジットして分析した。地下水はISCO社製電動ポンプ(AccuWell150 Portable Pump, 2008年11月まで)または(有)アサップ製手動・高揚程ポンプ(2008年12月以降)を使用し、初期の水を捨てた後、採取した。地下水観測孔は直径40mmの硬質塩化ビニル製パイプ丸穴メッシュで、オールスクリーン構造(GL-2.0～15.0m間)であり、地下6～6.5m付近(帯水層表層)から揚水した。観測孔は休耕田の最下流側に位置している。

2.3 現地での観測項目および分析項目

現地では、水質メーター(株堀場製作所製D-54およびOM-51)により、水温、電気伝導率、pH、溶存酸素を測定した。また、比色法によるpHも測定した。採取した水は保冷して実験室に持ち帰り、0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過した。分析項目は濁度(日本精密光学(株)SEP-PT-205D)、全有機態炭素(TOC, (株)島津製作所製TOC-5000A)、溶存性TOC(DOC)、全窒素(T-N)、溶存性T-N(DN)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、全リン(T-P)、溶存性T-P(DP)、溶性ケイ酸(SiO₂)、アルカリ度および主要イオン(横河電機(株)製IC7000P)である。また、T-N(紫外線吸光光度法)、T-P(ベルオキシニ硫酸カリウム分解法)、NH₄-N(インドフェノールによる吸光光度法)、SiO₂(モリブデン黄による吸光光度法)、お

およびアルカリ度の分析方法は、上水試験方法2001年版によるものである。

3. 調査結果および考察

3.1 地下水涵養量

2007年3月から11月までの一筆減水深法および水収支法による浸透量調査によると、日平均減水深は一筆減水深法で160～275mm/d(平均232mm/d)、水収支法では103～273mm/d(平均210mm/d)の減水深が観測された⁷⁾。これは一般的な水田の減水深15～25mm/d⁵⁾と比べ10倍程度大きく、休耕田を利用した地下水涵養が効率的であることを示している。したがって、地下水水質への影響が大きい可能性がある。

3.2 流動状況

休耕田地下水の涵養源としては、休耕田湛水の他に、周辺の水田等への灌漑水と降水、庄川からの伏流水が挙げられる。図3に示すように、休耕田の水温が4月から夏期にかけて他より高いのに対し、地下水水温は流入水・庄川河川水と同様の変化がみられた。なお、周辺の水田湛水の水温は

休耕田と同程度かさらに高温であった。また、図4からわかるように塩化物イオン(Cl^-)濃度が流入水≒休耕田<地下水となる傾向がみられたことからすると、休耕田地下水に占める庄川伏流水の比率は大きく、その影響が現われていると考えられる。

後述するように、地下水中のカリウムイオン(K^+)濃度と SiO_2 濃度は夏期に施肥の影響が認められた。また、 SiO_2 濃度は冬期に低下した。降水中の SiO_2 濃度を分析したところ、年間を通して降水中には SiO_2 が含まれておらず、地下水中の SiO_2 濃度が冬期に低下するのは灌漑水による涵養が無くなり、降水が表層土壌を浸透し地下水に影響するためと思われる。

以上のことから、地下水は基本的に庄川河川水の伏流水であり、その表層に周辺の水田や休耕田からの浸透水を受けていることがわかる。さらに、どの地点においても Cl^- 濃度は夏期に低く、冬期に高い季節変化を示した(図4参照)。よって、地下水の起源が庄川、周辺の水田、休耕田のいずれであろうと地下水観測孔までかなり早く浸透して

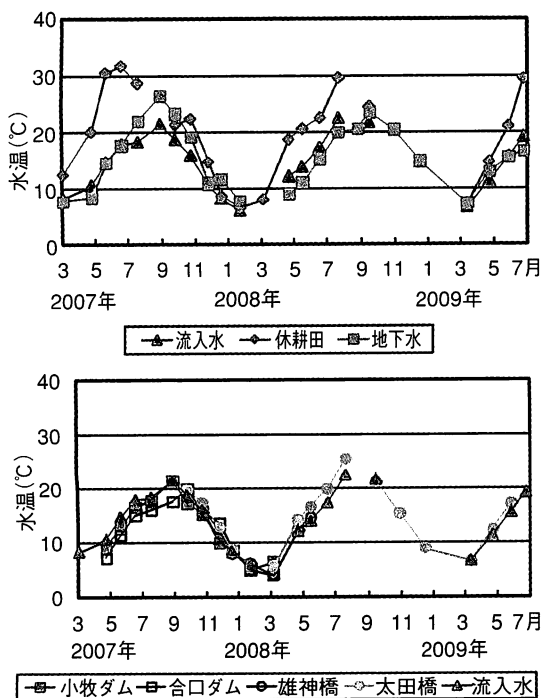


図3 水温の季節変化

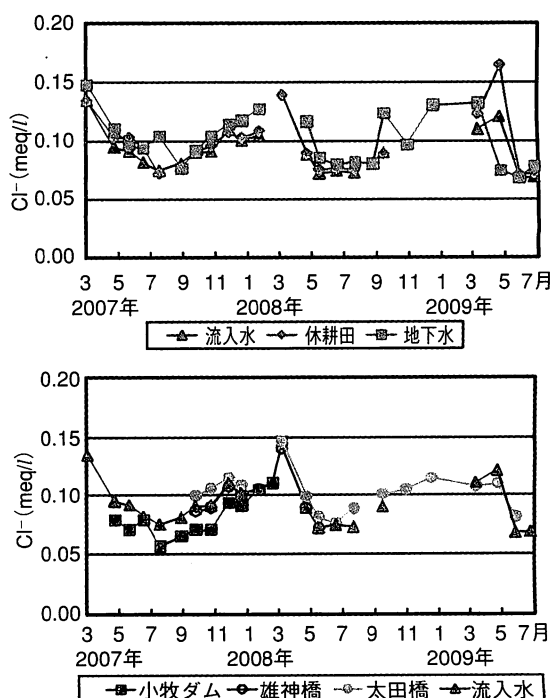


図4 塩化物イオンの季節変化

いると思われる。なお、冬期に Cl^- 濃度が高くなるのは、季節風の影響で海塩起源の Cl^- が多くなるためである(木戸ら⁸⁾および奥川研究室の分析による)。

3.3 肥料成分の水質変化

(1) 無機態窒素

図5に無機態窒素(IN)の季節変化を示す。亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)が検出されなかったため、INはアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)と硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)の合計量とした。 $\text{NO}_3\text{-N}/\text{IN}$ の比率は流入水と地下水で平均0.94~0.96、休耕田で0.84であり、INはほとんど $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。流入水に比べ、休耕田は、夏期にはIN濃度が低下した。これは藻類による取り込みによると思われる。一方、地下水では年により傾向が異なった。すなわち、1年目は平均的には流入水と同程度の濃度であったが、9月以降に変動が大きくなった。水田が湛水されている場合は還元的な条件となり、硝化が進まず地下水への溶脱が起こりにくかったり、脱窒が起こるのに対し、湛水されていない場合は酸化条件となり、硝化が進み、地下水への溶脱が起こりやすくなるといわれている⁹⁾¹⁰⁾。1年目は8~9月に休耕田において中干し・耕起を実施しており、その影響で土壌が酸化条件になり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が溶脱しやすくなったと思われる。2年目に地下水の濃度がとくに高くなったのは、周辺の水田の一部が大豆に転作され、施肥量が増加したことと土壌が酸化条件になったことが原因の1つと考えられる。また、8~9月の中干し・耕起と秋期における涵養停止により、休耕田の土壌が長期にわたり酸化条件になったことも原因と思われる。3年目は転作された大豆

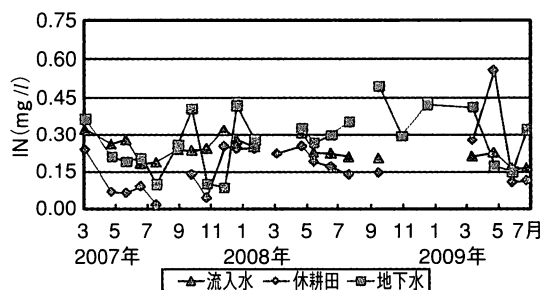


図5 無機態窒素の季節変化

畑が水田に戻されたが、まだIN濃度は高い傾向にあった。以上みたように、休耕田を利用した地下水涵養手法において、中干し・耕起によりIN濃度が高くなる可能性があり、維持管理上、留意が必要である。

(2) リン

図6に示すように、T-Pは休耕田で濃度がやや高く、地下水で低くなる傾向があった。これは懸濁性T-P(PP)でも同様であった。休耕田で濃度が高くなったのは濁りの影響であり、地下水で低くなったのは砂礫層におけるろ過によるものである。2008年4月では、T-PとPPで各地点とも濃度増加がみられ、地下水<休耕田<流入水の順に大きくなった。このときの濁度は、流入水で16.8mg/l、休耕田で9.7mg/l、地下水で4.4mg/lと他の月と比べ高い値となった。作付け水田の代掻きによる濁りの影響が地下水水質まで及んでいる可能性があると思われた。このようにリンでは濁りの影響が支配的であり、周辺水田における施肥の影響は認められなかった。なお、2009年6月の休耕田が異常に高いのは流入水が減少し、休耕田湛水が極端に少なくなったためである。

(3) カリウムイオン

図7からわかるように、年間を通して地下水で高く、夏期に著しく増大した。比較のため、作付けした周辺の水田と富山市の水田において、2008年5~6月に湛水の水質調査をしたところ、 K^+ 濃度は0.019~0.092meq/lであった。これは、休耕田湛水の平均濃度0.013meq/lに比べ、1.5~71倍もの高濃度であり、地下水で K^+ が夏期に高濃度になるのは、周辺の水田における施肥の影響と

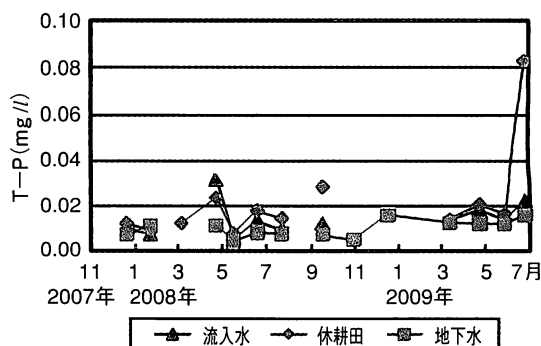


図6 全リンの季節変化

考えられる。庄川河川水や流入水でも5～10月にかけてやや高くなる傾向があり、流域における施肥の影響と思われる。

(4) 溶性ケイ酸

図8に、 SiO_2 の季節変化を示す。地下水を除くと、いずれの地点もおおむね6～9mg/lと同程度であった。地下水では6月から9月にかけて、他より高く10mg/lを超えることもあったが、11～4月は低くなる傾向にあった。一般に SiO_2 は地下水で高いといわれる¹¹⁾が、夏期で高かったのは、

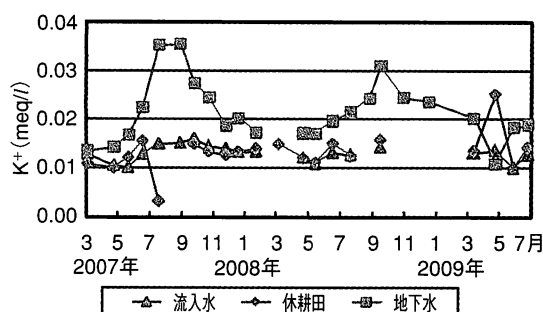


図7 カリウムイオンの季節変化

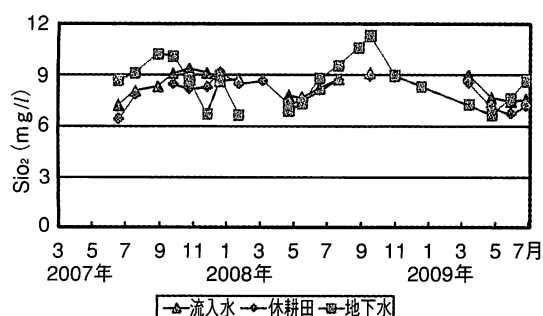


図8 溶性ケイ酸の季節変化

施肥の影響と考えられる。冬期に低下するのは、前述したように、灌漑水による涵養がなくなり、 SiO_2 を含まない降水が周辺の表層土壌を浸透し地下水に影響するためと思われる。

(5) マグネシウム

図は省略するが、マグネシウムイオン(Mg^{2+})の変化はカルシウムイオン(Ca^{2+})と類似しており、pHの影響が認められた。これは Mg^{2+} と Ca^{2+} が地質に由来し、pHに依存する¹¹⁾ためと考えられる。次節で述べるようにMgは肥料成分の1つであるが、施肥の影響は明らかでなかった。

3.4 周辺の水田における施肥による影響

図9は、富山県の農協が推奨している施肥と栽培管理、水管理を示している¹²⁾¹³⁾。図中の水管理の折線は湛水の水位を模式的に示したものである。施肥等の方法は地域や個人によって異なっているが、おおむね以下のようなものである。まず、田植え前または田植え時に基肥を行なう。6月中旬から下旬に追肥を行ない、とくにケイ酸分を補給する。7月中旬から下旬に穂肥として、土壌に適正量を施用する。9月中旬には地力増強の土づくりとして、土壌改良資材や堆肥など有機物を施用し、秋耕を行なう。

推奨されている肥料を標準的に施用した場合、表1に示すような成分を補給したことになる。く溶性成分というのは、2%のクエン酸水溶液に可溶の成分をいい、水溶性成分と比較して一般的にやや緩効性と考えられている¹⁴⁾。図9と表1から窒素・リン・カリウムは田植え前から7月頃まで、マグネシウム・マンガン・ホウ素・ケイ酸は6月頃に施用されることがわかる。前節でみたように、地下水中の K^+ と SiO_2 の夏期における増加

時期	4月		5月			6月			7月	8月	9月
	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	中-下		
施肥				基肥			追肥		穂肥		
栽培管理	播種			田植え						刈り取り	秋耕
水管理			代掻き			中干し	間断灌漑		灌水		落水

図9 富山県の水田における施肥・栽培管理・水管理

は施肥の時期と対応しており、その影響が現われているものと思われる。

表2は、各肥料成分が地下浸透水中にすべて溶解すると仮定したときの、その濃度と農業用水（流入水）中の濃度との比率であり、この比率は地下水に対する施肥の影響のポテンシャルを表わしている。この濃度比率の求め方は、つぎの通りである。まず、水田における地下浸透量は丸山ら⁵⁾を参考にして20mm/dとする。水田の湛水日数は水管理の状況を踏まえて、基肥に対して31日、追肥に対して17日、穂肥から刈り取りまでに対して22日とし、湛水期間中の浸透水に施用された肥料がすべて溶解するとして各成分の浸透水中濃度を推定した。この濃度を農業用水中の濃度で割った値を、求める濃度比率とした。求めた各成分の濃

度比率をみると、窒素で7.88～43.3、リン酸で47.0～283と大きく、ついでカリウムの5.72～13.9であり、マグネシウムとケイ酸はカリウムよりも小さかった。窒素とリン酸の濃度比率は大きかったが、前節でみたように調査結果では地下水中の濃度において施肥の影響は明らかではなかった。一方、カリウムやケイ酸については、施肥の影響が認められた。

これは実際には、作物や植物への吸収や大気への揮散、脱窒、土壌への吸着などの現象で施肥による地下水への影響度合が成分により異なるためと考えられる。窒素は、イネを含む植物による吸収や、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の揮散、 $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ の脱窒が考えられる。窒素は50～60%（イネ等では25～40%のことが多い）が1作のうちに作物により吸収・利用され¹⁵⁾、脱窒は施肥量の30%程度¹⁶⁾である。したがって、窒素は水田湛水中で稲を含めて植物や藻類により吸収されたり、脱窒も起こるため、地下水への溶脱があまり認められないものと考えられる。リンについては、作物や植物の吸収は数～20%であり¹⁵⁾、また、リン酸は土壌中のカルシウム、アルミニウム、鉄と結合して水に溶けにくくなる¹⁷⁾ため、地下水に溶脱しないものと思われる。カリウムは、作物や植物への吸収は30～60%である¹⁵⁾。しかし、土壌への吸着力は一般に電荷が小さくなるにつれて弱くなり、また、1価の陽イオンではナトリウムについてカリウムは吸着力が弱い¹¹⁾。そのため、表2の濃度比率が大きいカリウムの地下水への溶脱が認められるものと思われる。マグネシウムは、pHに依存するため施肥の影響が明らかではなかったと考えられる。ケイ酸は、もともと土壌から地下水に供給されるといわれており、施肥の影響がそのまま現われるものと思われる。

4. 結 言

本研究の目的は、庄川扇状地にある休耕田を利用した地下水涵養実験において、地下水の水質形成機構を明らかにし、地下水水質への影響を検討することである。本論文では、とくに流動状況と肥料成分の水質変化特性について解明し、つぎの結論が得られた。

表1 標準的な施肥量

施肥	基肥	追肥	穂肥
成分名	(kg/30a)		
窒素全量	7.35	2.31	18.4
うちアンモニア性窒素	5.88	—	5.33
く溶性リン酸	6.41	1.05	—
うち水溶性リン酸	5.09	—	—
く溶性カリウム	12.2	6.48	4.48
うち水溶性カリウム	—	5.48	—
く溶性苦土(マグネシウム)	—	2.40	—
く溶性マンガ	—	1.80	—
水溶性ほう素	—	0.06	—
可溶性ケイ酸	—	12.0	—

表2 各肥料成分が地下浸透水中にすべて溶解すると仮定したときの濃度と農業用水中の濃度との比率

成分名	濃度比率		
	基肥	追肥	穂肥
窒素全量	13.0	7.88	43.3
く溶性リン酸	283	47.0	—
うち水溶性リン酸	225	—	—
く溶性カリウム	13.9	7.82	5.72
うち水溶性カリウム	—	6.77	—
く溶性苦土(マグネシウム)	—	3.38	—
可溶性ケイ酸	—	2.40	—

- 1) 休耕田を利用した地下水涵養量は、一般的な水田と比べ10倍程度大きかった。
- 2) 休耕田地下水は基本的に庄川河川水の伏流水であり、その表層に周辺の水田や休耕田からの浸透水を受けている。
- 3) 休耕田地下水の起源が庄川、周辺の水田、休耕田のいずれであろうと地下水観測孔までかなり早く浸透している。
- 4) 休耕田や水田が湛水され、還元的な条件の場合は $\text{NO}_3\text{-N}$ は溶脱しないが、湛水されていない場合は酸化的な条件となり、地下水への溶脱が起こりやすくなる。とくに、休耕田を利用した地下水涵養手法において、中干し・耕起によりIN濃度が高くなる可能性があり、維持管理上、留意が必要である。
- 5) 休耕田地下水中の K^+ と SiO_2 濃度は、周辺の水田における施肥の影響のため、夏期に高くなる。

以上のように、周辺の水田における施肥が休耕田地下水の水質に影響を与えているが、休耕田を利用した涵養そのものが地下水水質に与える大きな影響は認められない。耕作中の水田による涵養に比べ、休耕田を利用した涵養手法は量的にも質的にもすぐれた手法であるといえる。

今冬(2009～2010年)の降雪時においても、富山市等の市街地では消雪用水の利用が急増し、地下水位が低下したため、消雪装置から水が出なかったり、生活用水として利用している井戸が使えなくなったりしている¹⁸⁾。この対策として、市街地周辺部における休耕田を利用した地下水涵養手法が有効であると思われる。そのためには、涵養用水の水利権確保や農家への補償制度の確立¹⁹⁾など社会システムの整備が必要である。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、砺波市役所の関係諸氏、富山県立大学短期大学部卒業生ならびに学生の川村安正氏、今井亮太氏、吉岡翔時氏、畑 智子氏、場家梨沙氏および山本美咲氏の協力を得た。深甚なる謝意を表するしだいである。

—参考文献—

- 1) 建設省河川局河川計画課：地下水人工涵養の現況と課題—よりよい利用と保全のために—，山海堂，東京

- (1988)。
- 2) 富山県生活環境文化部環境保全課：地下水指針(2006)。
- 3) 富山県生活環境文化部環境保全課：休耕田を利用した地下水涵養手法の検討(実証調査)，地下水技術，48(6) 3～16(2006)。
- 4) 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(2004)。
- 5) 丸山利輔，五十崎恒，西出 勤，村上康蔵，四方田穆，高橋 強，三野 徹：新編 灌漑排水 上巻，養賢堂，東京(1986)。
- 6) 砺波市商工農林部商工観光課：地下水の人工涵養について 砺波市柳瀬地内(環境保全対策特別委員会)(2006)。
- 7) 川村安正：休耕田を利用した地下水涵養手法，富山県立大学短期大学部専攻科修了研究(2007)。
- 8) 木戸瑞佳，溝口俊明，中村篤博，水畑 剛，鳥山成一，橋本淳一，川崎清人：東アジア地域からの大気降下物に関する研究(第2報)—富山県におけるイオン成分沈着量の経年変化—，平成20年度版富山県環境科学センター年報，36，67～74(2009)。
- 9) 國松孝男，武田育郎：農林地からの汚濁負荷とその計測方法，水質汚濁研究，11(12) 743～747(1988)。
- 10) 武田育郎：農地におけるノンポイント汚染源負荷，水環境学会誌，20(12) 816～820(1997)。
- 11) 半谷高久，小倉紀雄：第3版水質調査法，丸善，東京(1995)。
- 12) となみ野農業協同組合：コシヒカリの栽培基準 (<http://www.ja-tonamino.or.jp/pdfs/1.pdf>) (2008)。
- 13) 富山市農業協同組合富山農業普及指導センター：コシヒカリの栽培こよみ(2008)。
- 14) 三重県中央農業改良普及センター：人と自然にやさしい農業を目指して (<http://www.mate.pref.mie.jp/kankyo/>) (2008)。
- 15) 早瀬達郎，安藤淳平，越野正義：肥料と環境保全—化学肥料の影響と廃棄物の肥料化—，ソフトサイエンス社，東京(1976)。
- 16) 土壌の働きと根圏環境V，加除式 農業技術体系 土壌施肥編1，p.1～12 農山漁村文化協会，東京(1987)。
- 17) ㈱日本土壌肥料学会：肥料をかしこく使おう！～豊かで安全な食料の生産のために～ (<http://www.soc.nii.ac.jp/jssspn/kashikoihiroyo.pdf>) (2008)。
- 18) 北日本新聞：散水消雪一斉稼働で地下水位急激低下 富山県，節水呼び掛け，12月21日朝刊 (<http://www.kitanippon.co.jp/contents/KNPnews/20091221/28782.html>) (2009)。
- 19) 北日本新聞：井戸水「また止まった」富山県内，一斉消雪で地下水位低下，1月27日朝刊 (http://www.47news.jp/localnews/toyama/2010/01/post_20100127102009.html) (2010)。
- 20) 嶋田 純：熊本地域70万市民を支える地下水資源の持続的管理，IAH 2008 Toyama公開シンポジウム「地下水の科学と人間の幸せ」，40～47(2008)。

(原稿受付日；2010年 2月17日)

(原稿受理日；2010年 3月26日)