

水田を利用した地下水涵養調査

堀 順一¹・高山 久²・渡辺 哲子¹
富樫 均³・塩原 孝⁴・斎藤 龍司⁴

豊丘村の地下水保全対策の一環として、水田を利用した地下水涵養による地下水中の硝酸性窒素の希釈効果を検討するために水田の田面水縦浸透速度や水質を調査した。その結果、田面水縦浸透速度は、平均で 13mm / 日であった。また、浸透水の窒素成分は豊丘村の地下水と比べると濃度が低く、浸透水によって地下水を希釈し、地下水中の硝酸性窒素濃度を低下させることが可能と考えられた。さらに、調査水田における 10a 当りの窒素の投入量および除去量を算出すると、投入窒素量は 8.5kg で作物吸収による除去量 8.3kg とほぼ同じであったことから水田への窒素負荷量は小さく、水田からの浸透水による地下水中の硝酸性窒素の希釈効果は休耕田の利用による地下水涵養の希釈効果と同等と推定された。

キーワード：地下水汚染，硝酸性窒素，地下水涵養，水田

1. はじめに

水道水源としての地下水依存率が高く、硝酸性窒素濃度が上昇傾向を示し水源によっては環境基準を超えていた豊丘村で 2003 年度～2004 年度にかけて汚染原因調査と対策の検討を目的とした「地下水保全対策モデル事業」が行われた。その結果、豊丘村の地下水の環境基準超過率は約 20%におよび、汚染の主な原因が過去に農地等に供給された化学・有機質肥料及び堆肥を含む家畜排せつ物に起因する可能性が高いと推定された¹⁾。

この調査結果を受けて、豊丘村の地下水保全対策の一環として、2005 年度～2006 年度に地下水質等のモニタリングを継続するとともに休耕田を利用した地下水涵養の希釈効果等の検討を行なった²⁾。調査では休耕田での田面水縦浸透速度が求められ、また、浸透水の窒素濃度は豊丘村の地下水と比べると濃度が低く、浸透水により地下水を希釈し、結果として硝酸性窒素濃度を低下させることが可能であることが示された（以下「休耕田調査」と言う）。

しかし、この地域では農業従事者の高齢化や鳥獣被害による耕作放棄が進み、管理等の労働力確保が必要な休耕田を利用した大規模な地下水涵養は困難と思われる。

最も現実的な硝酸性窒素対策は田畑の減肥などの

施肥技術の改善と、水田がもつ脱窒作用と浸透水の希釈効果による硝酸性窒素濃度の低下作用の利用である³⁾。そこで、2007 年度は豊丘村の水田で田面水縦浸透速度や浸透水の水質測定のほかに、地下水の水質測定や施肥や作物吸収などの窒素量の推定を行い、水田による地下水涵養の希釈効果等を検討した。

2. 調査方法

2.1 調査地点及び調査日程

調査地域の概要は前報²⁾に示したとおりである。調査地点を図 1 に示す。水田からの地下水涵養による地下水の水質の変化を見るため地下水の流下する方向に沿って水田の上流と下流に浅井戸が有る北村地域を選定し、水田と浅井戸調査を行った。調査水田の面積は 2134m² である。

水田の作業及び調査日程を図 2 に示す。2007 年 5 月中旬に代かきを行い、湛水状態になった後、5 月 23 日に田植えを行った。7 月中旬には中干しを約 2 週間行った。その後再び湛水し 9 月上旬に落水、9 月 25 日に稲刈りを行った。

田面水縦浸透速度の測定や浸透水、田面水、流入水及び地下水の採水の日程は図 2 のとおりである。

1 長野県環境保全研究所 環境保全部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978
2 佐久保健所 〒385-8533 佐久市跡部 65-1
3 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120
4 長野県南信農業試験場 〒399-3103 下伊那郡高森町下市田 2476

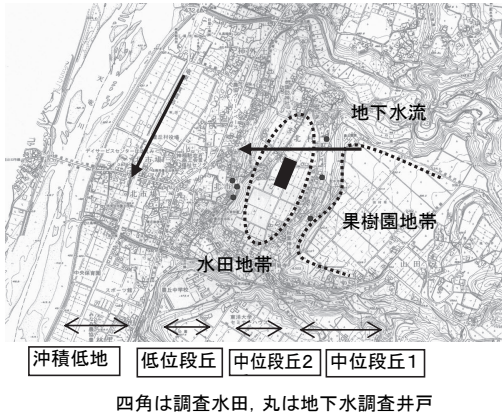


図1 調査地点

2.2 調査項目

(1) 田面水縦浸透速度

田面水縦浸透速度は、22～24時間の田面水の水位変化、蒸発散量及び降雨量から算出した。

田面水の水位変化は、湛水させた水田内に物差しを垂直に立て、調査開始時と終了時の水位から算出した。

休耕田調査の蒸発散量は、コンテナを用い、田面水より上に設置したため、コンテナが田面水より高温になり蒸発量をかなり過大に見積もった可能性があるが、今回はこの点を次のとおり改善した。即ち、稲による蒸散量も加味するため、水田の1m²当りの株数に比例する株数を植えた直径24cmのワグネルポットを水田内に埋設し、物差しを付置した後、水を導入して田面水の水位変化と同時期のワグネルポット内の水位変化を測定して求めた⁴⁾。

降雨量は、水田に隣接して直径17.7cmのロートを付けたポリビンを設置し、ポリビン内に溜まった雨水の重量を測定し算出した。

(2) 硝酸性窒素濃度

流入水、田面水、浸透水及び地下水の硝酸性窒素濃度はイオンクロマトグラフ法⁵⁾で測定した。なお、浸透水は調査水田内の3ヶ所の深さ約60cmの位置にポーラスカップ（大起理化学工業(株)製 DIK-8392）を埋め込み、シリンジ又はポンプで吸引して採取した⁶⁾。

(3) 窒素投入量および作物吸収量

施肥由来の化学肥料の窒素量は施用量と成分率、有機質（稲わら）の窒素量は施用量とCNコーダーで測定した窒素含有量⁷⁾から算出した。流入水由来の窒素量は、流入水量に流入水の全窒素濃度（平均値）を、降雨由来の窒素量は、アメダス飯田観測所の降雨量に長野県大気汚染等測定結果⁸⁾から算出した降雨中の窒素濃度（平均値）を乗じて求めた。作物吸収量は耕作者から提供された作物量にCNコーダーで測定した窒素含有量⁷⁾を乗じた。

3. 結果及び考察

3.1 田面水縦浸透速度及び地下水涵養量

田面水縦浸透速度の測定結果を表1に示す。全平均値で1日当り13mmであり、この値は、休耕田調査の結果の1日当り20.8mm²⁾より小さな値であった。これは、休耕田に比べ実際の水田では代かき等の管理がしっかり行われているためと思われる。なお、2004年に行われた豊丘村における地下水保全対策モデル事業報告書によれば豊丘村の水田の減水深は1日当り約20mmと報告されている¹⁾。田面水縦浸透速度は概ね減水深から蒸発散量を引いたものと考えられるので、蒸発散量として本調査結果の平均値5mm/日を使うと、田面水縦浸透速度は約15mm/日となることから、今回の測定値はそ

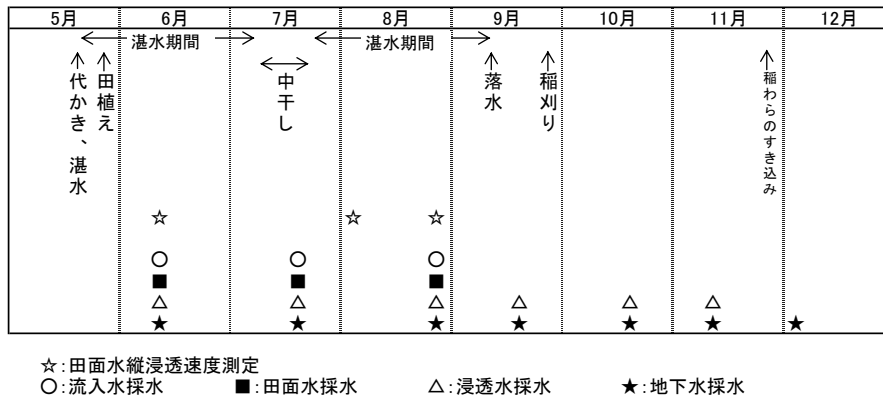


図2 水田の作業及び調査日程

表1 田面水縦浸透速度の測定結果

		単位: mm/日				
		天候	地点①	地点②	地点③	平均
田面水の 水位変化	2007/6/11～6/12	晴れ	14	11	11	12
	2007/8/7～8/8	晴れ	21	22	22	22
	2007/8/27～8/28	曇り	20	19	19	19
	平均		18	17	17	18
蒸発散量	2007/6/11～6/12	晴れ	5	6	7	6
	2007/8/7～8/8	晴れ	3	3	8	5
	2007/8/27～8/28	曇り	2	3	3	3
	平均		3	4	6	5
田面水縦 浸透速度*	2007/6/11～6/12	晴れ	9	5	4	6
	2007/8/7～8/8	晴れ	18	19	14	17
	2007/8/27～8/28	曇り	18	16	16	16
	平均		15	13	11	13

* 田面水の水位変化－蒸発散量

れとほぼ同程度であった。なお、月毎の値を比較すると8月は6月に比べ大きな値であった。これは7月に中干が行われ、土壌表面に亀裂が入ること等により田面水が浸透し易くなったためと思われる。

地下水への水田からの涵養量は、田面水縦浸透速度に灌漑日数と水田面積を乗じて算出できる⁹⁾。これらの値を当てはめると本調査水田からの涵養量は2800m³となる。豊丘村における水田の耕作面積は1.89km²なので、単純に計算すると村全体では250万m³の涵養効果ということになる。

3.2 硝酸性窒素濃度の経時変化

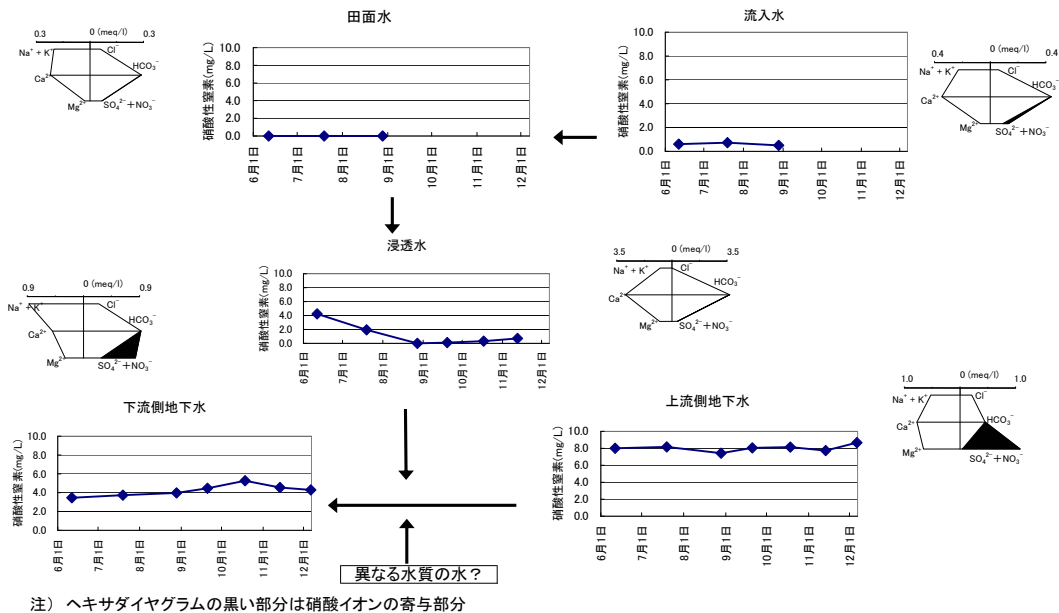
流入水、田面水、浸透水及び地下水の硝酸性窒素の経時変化とそれぞれの代表的なヘキサダイアグラムを図3に示す。

流入水中の硝酸性窒素濃度は0.5～0.7mg/Lと低くほとんど変化がなかった。田面水では調査中検出されず、水田の植物の吸収や脱窒の結果と考えられる。浸透水は6月に4.2mg/Lとやや高かったが徐々に減少し、8月以降は0～0.7mg/Lと低いレベルであった。なお、調査期間中の平均値は1.2mg/Lであった。田面水や8月の浸透水で硝酸性窒素がほとんど検出されなかったのは休耕田調査の結果と同じであった。6月の浸透水の濃度がやや高かったのは、田植え時の施肥の影響と考えられる。

水田では田植えの時と中干後に施肥が行われる。施肥直後は浸透水の硝酸性窒素濃度が増加すると想定されたが、大きな増加は見られず、調査期間中の平均値1.2mg/Lは豊丘村の地下水中の硝酸性窒素(平均6.5mg/L, 最大36mg/L)に比べ低い値であった。このことから水田の浸透水は、休耕田の浸透水と同様に地下水を希釈し、結果として地下水中の硝酸性窒素濃度を下げる効果があると考えられる。

地下水の硝酸性窒素濃度は、水田の上流側では6月から12月の間ほとんど変化がなかった。下流側では6月から8月に比べ9月から12月はわずかに高くなったが、水田の湛水期と非湛水期による明確な違いは見られなかった。

水田の上流及び下流側地下水の硝酸性窒素濃度を比較すると下流は上流のおよそ1/2であった。ヘキサダイアグラムを見ると上流側地下水はCa-NO₃型に分類される。流入水、田面水、浸透水はCa-HCO₃型



注) ヘキサダイアグラムの黒い部分は硝酸イオンの寄与部分

図3 硝酸性窒素の経時変化とヘキサダイアグラム

でありヘキサダイアグラム白い部分が上流側地下水と同じような形である。これに対し、下流側地下水はNaK-HCO₃型であり、上流側地下水や浸透水とはやや異なっている。NaK-HCO₃型は、深層地下水に見られる型であり¹⁰⁾、地下水保全対策モデル事業調査でも豊丘村の深層地下水の一部で見られた。このことから下流側地下水では例えば深層地下水の上昇など水質の異なる水の混入が考えられる。本調査では水田からの浸透水による直接的な希釈効果は確認できなかった。

3.3 調査水田面における投入窒素量と作物吸収による窒素除去量

水田では休耕田と異なり稲が栽培され施肥が行われる。そこで、調査水田へ投入される窒素量と作物吸収として取り除かれる窒素量について検討した。

調査水田における10a当りの要素別窒素量を表2に示す。人為的に投入した窒素量はすき込み稲わら由来の1.6kg、化学肥料由来の5.7kg、流入水由来の0.8kgの合計8.1kgであり、ここに降雨由来の0.4kgが加わり、水田への総投入量は8.5kgであった。なお、調査水田の施肥量はこの地域の施肥基準に比べると標準的な量であった。一方作物吸収による窒素除去量は8.3kgで投入量と除去量はほぼ同レベルであり、結果として、水田耕作による水田土壌への窒素負荷量は小さいと考えられる。このことは3.2で示した水田と休耕田の浸透水中の窒素濃度が同レベルであることも説明できる。

なお、水田の窒素収支を検討するためには、浸透水による溶脱量、土壌由来の窒素量、脱窒量、窒素固定量に関する検討が必要であるが、これらについては今後の課題である。

4 まとめ

豊丘村の地下水保全対策の一環としての水田を利用した地下水涵養調査の結果、次のことが明らかに

表2 調査水田面における投入窒素量と作物吸収の除去窒素量 (Kg/10a/5ヶ月)

		窒素量
項目		窒素量
投入窒素	降雨由来	0.4
	流入水由来	0.8
	すき込み稲わら由来	1.6
	化学施肥由来	5.7
除去窒素	作物吸収量	8.3
投入窒素 - 除去窒素		0.2

なった。

- (1) 田面水縦浸透速度は、1日当たり13mmであった。
- (2) 水田の浸透水の硝酸性窒素濃度は地下水に比べ低いので、浸透水によって地下水を希釈し、地下水中の硝酸性窒素濃度を下げることが可能と考えられた。
- (3) 調査水田における10a当りの要素別窒素量を算出すると、施肥をはじめとする投入窒素量は8.5kgで作物吸収量8.3kgとほぼ同じレベルであり、水田耕作による窒素負荷量は少ないことから、水田耕作は休耕田を利用した地下水涵養と同等の地下水の希釈効果があると推定された。

謝 辞

この調査研究にあたり、下伊那農業改良普及センターの大島誠氏をはじめとする豊丘村の自然と共生する農業の推進検討会の方々には多大なご協力を頂いた。また、豊丘村の農家の方々には水田を借用させて頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 長野県 (2005) 豊丘村における地下水保全対策モデル事業報告書。
- 2) 堀順一・高山久・渡辺哲子・富樫均・塩原孝・斎藤龍司 (2008) 休耕田を利用した地下水涵養調査、長野県環境保全研究所研究報告, 4, p33-38.
- 3) (社) 日本環境測定分析協会 (2000) 土壌・地下水汚染と対策, p239.
- 4) (財) 国土開発技術研究センター (1993) 地下水調査および観測指針 (案), p119.
- 5) (財) 日本規格協会 (2008) JIS K 0102 工場排水試験方法.
- 6) 信州大学山地水環境教育研究センター, 信州大学理学部 (2006) きれいな諏訪湖復活事業委託業務完了報告書.
- 7) (財) 日本土壌協会 (2001) 土壌, 水質及び植物体分析法, p247-250.
- 8) 長野県生活環境部公害課 (1991-2005) 大気汚染等測定結果.
- 9) 八千代エンジニアリング(株) (2006) 平成17年度硝酸性窒素総合対策モデル事業 長野県豊丘村における硝酸性窒素対策検討調査報告書,

p51-52.
10) 中山勝 (2005) 被圧地下水の流動にともなう水

文地球化学的進化, 環境技術, Vol.34,
p575-579.

Investigation of the groundwater cultivation that used paddy fields

Junichi HORI ¹, Hisashi TAKAYAMA ², Tetsuko WATANABE ¹, Hitoshi TOGASHI ³,
Takashi SHIOHARA ⁴ and Tatsuji SAITO ⁴

- 1 *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Division,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan*
- 2 *Saku Health Center, 65-1 Atobe, Saku City 385-8533, Japan*
- 3 *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*
- 4 *Nagano Nanshin Agricultural Experiment Station,
2476 Shimoichida, Takamori, Shimoina 399-3103, Japan*

