

休耕田を利用した地下水涵養調査

堀 順一¹・高山 久¹・渡辺哲子¹
富樫 均²・塩原 孝³・斎藤龍司³

2005年度から2006年度に豊丘村の地下水保全対策を支援するため、モニタリングや休耕田を利用した地下水涵養の希釈効果等の検討などの調査を行った。

モニタリングの結果、浅層地下水では水位と降水量に相関が見られた。また、水位と硝酸性窒素濃度に負の相関が見られた。深層地下水の水位と降水量、水位と硝酸性窒素濃度は相関がはっきりしなかった。そこで、休耕田を使って浸透水の速度や水質を調査したところ、田面水縦浸透速度は、平均で20.8mm/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。

キーワード：地下水汚染，硝酸性窒素，涵養，モニタリング

1. はじめに

環境省が1999年度から2006年度にまとめた全国地下水調査によれば、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準超過率は約4～6%¹⁾、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ヒ素等の汚染に比べると高く、これらの窒素による地下水汚染は、近年全国的な問題となっている。

長野県でも環境基準を超過した井戸は全県的に見られ、2001年度から2005年度の調査による環境基準超過率は5～9%である²⁾。

水道水源としての地下水依存率が高く、水道水源の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」調査が行われた。その結果、豊丘村の環境基準超過率は約20%であることが分かり、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泄物に起因する可能性が高いと推定された³⁾。このことから減肥を中心とした地下水保全対策が始まった。

そこで、豊丘村の地下水保全対策を支援するために、地下水の長期モニタリングによって対策の効果を検証すること、水田や休耕田を利用した地下水涵

養の希釈による浄化の効果等を検討することを目的に調査を行った。その結果若干の知見が得られたので報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地域の概要

図1に豊丘村の概要³⁾を示す。地形は天竜川沿いの沖積低地と3段の河岸段丘から成り立っている。地質構造はミソベタ層と呼ばれる不透水層を挟んで2つの帯水層（伊那層上部と伊那層下部）があり、これらの地層は伊那山地山ろく斜面に沿って傾斜している。また、ミソベタ層は山ろく斜面とわずかに交差する構造をしており、中段段丘面より東方ではミソベタ層が分布していない。地下水は帯水層の傾斜に沿って上位段丘から沖積低地に向かって流れ、沖積低地では天竜川に沿って流れるものと推定される。土地利用をみると果樹園が多くあるが水田も見られる。過去には桑園が多くあり、これらの桑園では果樹園より多量に施肥が行われていたと推定される⁴⁾。硝酸性窒素による地下水の汚染状況は浅層地下水に限らず深層地下水にも広がっている。浅層地下水の汚染は直上の汚染源から雨水の浸透により硝酸性窒素が移動したものと考えられる。また、深層地下水の汚染はミソベタ層が分布していない中

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 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120
3 長野県南信農業試験場 〒399-3103 下伊那郡高森町下市田 2476

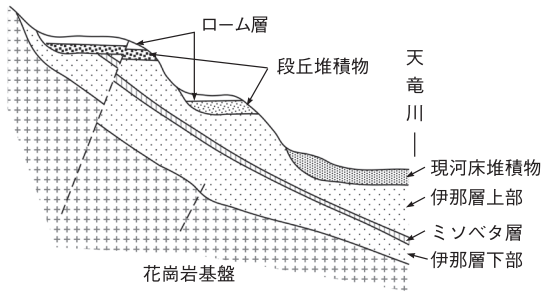


図1 豊丘村の概要図

位段丘面より東方に降った雨水が地下に浸透し、地下水の流れによって移動したものと考えられる。

2.2 地下水モニタリング調査

本調査では浅層地下水と深層地下水の両者の硝酸性窒素濃度及び水位をモニタリングするため、観測井戸として浅層地下水の水位を測定するための浅井戸を2本、浅層地下水の高濃度の硝酸性窒素を測定するための横井戸及び湧水をそれぞれ1本、深層地下水のみが採水できる深井戸を2本の合計6本を選定した。観測井戸の位置を図2に四角印で示す。AとBは浅井戸、CとDは横井戸及び湧水、EとFは深井戸である。

調査時期は2005年度から2006年度で、調査頻度は2005年度が5、7、9、11、1、3月の年6回、2006年度が5、8、11、2月の年4回である。

硝酸性窒素の分析方法はJIS K0102の43.2に準

拠した。

段丘面上のB井戸で(株)クリマテック製水圧式水位センサー CDK-1830 を用いて水位の連続測定を行った。E井戸の水位測定は観測日のみ携行型水位計で行った。

降水量は飯田測候所のアメダスデータを使用した。

2.3 休耕田を利用した地下水涵養調査

休耕田に水を導入し、田面水縦浸透速度と浸透水質を測定した。また、土壌中での窒素の動態をみるため土壌中の無機態窒素を測定した。

2.3.1 調査地点及び調査期間

調査地点は、水道水源として主要な帯水層である伊那層下部に影響がある中位段丘面より東方の地域を対象とし、図2に丸印で示す柿平地区、木門地区、上佐原地区の3ヶ所を選定した。柿平地区の休耕田は休耕後1年で面積が221㎡、木門地区の休耕田は休耕後約10年で面積が35㎡、上佐原地区の休耕田は休耕後約10年で面積が82㎡である。

調査期間は、2006年7月～2007年1月で、2006年7月6日に代かきを行い、既存の農業用水から水を導入し、湛水状態にした。湛水は2006年8月29日まで行った。2006年7月26日にポーラスカップの埋め込みを行い、2006年8月1日、8月10～11日、8月28～29日に田面水縦浸透等の測定と浸透水及び田面水の採水を行った。湛水状態を止めてから約4ヶ月後の2007年1月11日には土壌の

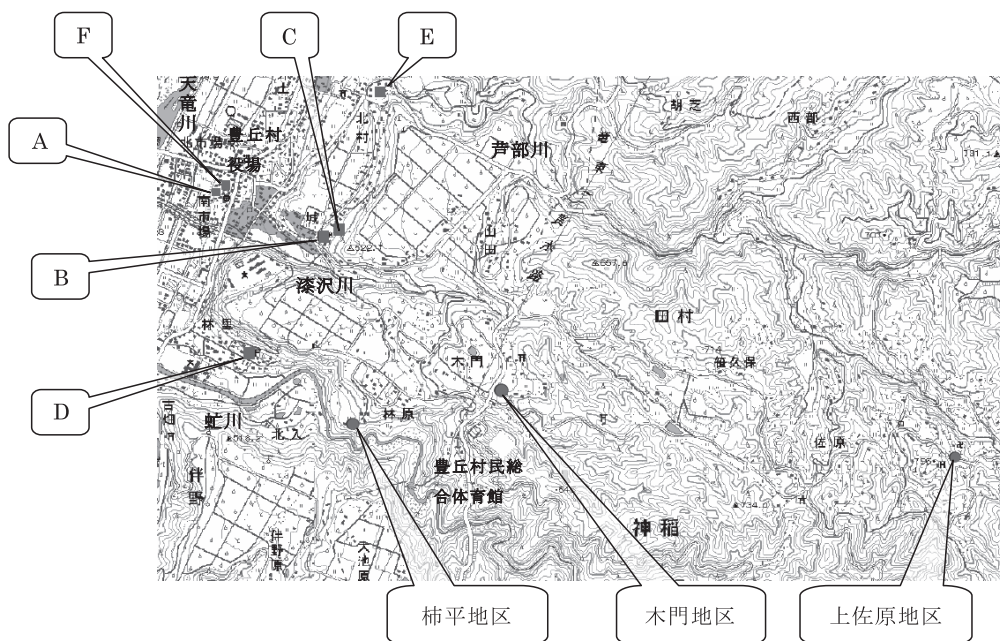


図2 調査場所

採取を行った。

2.3.2 調査項目

(1) 田面水縦浸透速度

田面水縦浸透速度は田面水の水位変化、蒸発量及び降雨量から算出した。

田面水の水位変化は、湛水させた休耕田内に、内部にものさしを付置した内径φ 180mmの塩ビパイプを田面に17～18cm程度挿入して設置後、8月1日は5時間、それ以外の2回は21～29時間で測定した。

蒸発量は、田面水の水位変化の測定開始時に、面積約1800cm²ほどのコンテナに水を入れ重量を測定後、休耕田内の台上にコンテナを設置した。田面水の水位変化の測定終了時にコンテナの重量を測定し、両者の重量の差から計算した。

降雨量は、田の脇にポリビンに直径17.7cmのロートを付けた器具を付置し、ポリビン内に溜まった雨水の重量を測定し計算した。

(2) 浸透水質及び土壌調査

休耕田のそれぞれ3ヶ所(計9ヶ所)に約1mの深さで大起理化学工業(株)製DIK-8392ポラスカップを埋め込み、シリンジで吸引して土壌浸透水を採取した。この浸透水について、pH、電気伝導率、全窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素を測定した。分析方法は表1のとおりである。また、田面水についても同様の項目を測定した。

また、上佐原では土壌中の窒素を形態別に調査した。土壌の採取は、上佐原のポラスカップを埋めた2地点で、深さ2cm程度までの地表部と検土杖を用いて地表～20cm、20～40cm、40～60cm、60～80cm、80～100cmに分画して行った。

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、「土壌の汚染に係る環境基準について」(平成3年環境庁告示第46号)に定める方法に準じて検液を調製した。アンモニア性窒素は、「土壌養分分析法」⁵⁾に定める方法に準じて検液を調製した。分析方法は浸透水等と同

表1 分析方法

項目	方法
pH	JIS K0102の12.1(ガラス電極法)
電気伝導率	JIS K0102の13(電気伝導率計)
全窒素	JIS K0102の45.2(紫外吸光度法)
硝酸性窒素	JIS K0102の43.2(イオンクロマトグラフ法)
亜硝酸性窒素	JIS K0102の43.1(ナフチルエチレンジアミン吸光度法)
アンモニア性窒素	上水試験方法(インドフェノール法)

様である。

3. 結果及び考察

3.1 モニタリングによる硝酸性窒素濃度の推移

モニタリングによる硝酸性窒素濃度の推移を図3に示す。実線で示した浅井戸や横井戸などの浅層地下水では一部増加傾向が見られる井戸もあるが全体としては概ね横ばい傾向であった。破線で示した深層地下水は横ばい傾向であった。

浅層地下水(B)、深層地下水(E)の水位と降水量及び硝酸性窒素濃度の関係を「地下水保全対策モデル事業」調査で測定した2004年度も含めて図4及び図5に示す。

浅層地下水の水位は降雨から3日ほどの時間差で上昇し降水に対し比較的鋭敏に変化する様子が見られた。一方、深層地下水の水位と降水量は相関がはっきりしなかった。

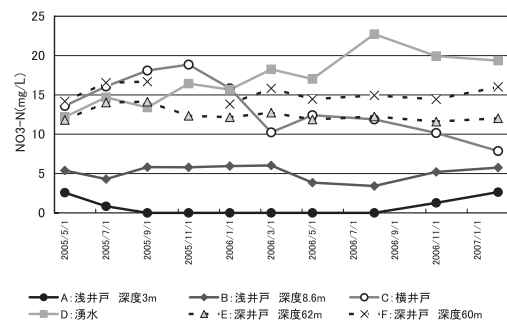


図3 硝酸性窒素濃度の推移

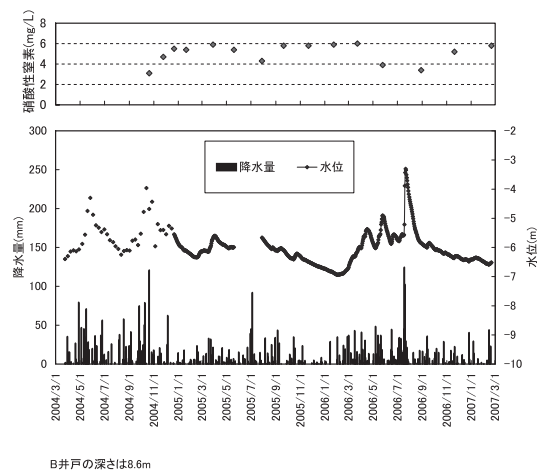


図4 浅井戸Bの水位と降水量、硝酸性窒素濃度の関係

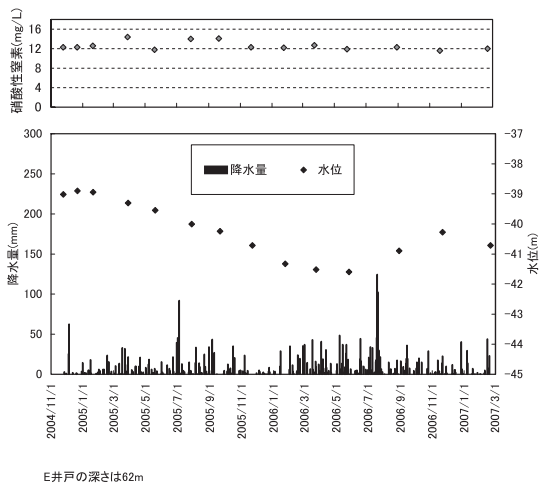


図5 深井戸Eの水位と降水量，硝酸性窒素濃度の関係

さらに硝酸性窒素の測定変化を重ねてみると，浅層地下水では水位が上昇するとともに硝酸性窒素濃度が低下している．これらのことから，地下水涵養により地下水量を増加させ，結果として硝酸性窒素濃度を低下させることが可能と考えられる．なお，深層地下水では水位の変動にやや遅れて硝酸性窒素が変動するように見えるが，あまり明確な変化は見られない．深層地下水の水位調査は浅層地下水に比べ断片的であったこともありさらに調査する必要があると思われる．

3.2 田面水縦浸透速度

田面水縦浸透速度の測定結果を表2に示す．

上佐原での田面水の水位変化は，3回の測定で測

	上佐原	木門	柿平	全体	備考
田面水の水位変化					
2006/8/1	17.2	9.1	9.6		
2006/8/10 ~ 11	54.1	—	13.2		
2006/8/28 ~ 29	14.8	—	14.9		
蒸発量					
2006/8/1	7.1	12.8	12.5		
2006/8/10 ~ 11	3.0	—	7.1		
2006/8/28 ~ 29	1.3	—	2.4		
田面水縦浸透速度					
2006/8/1	10.1	-3.7	-2.9		除外
2006/8/10 ~ 11	51.1	—	6.1		
2006/8/28 ~ 29	13.5	—	12.5		
平均	32.3	—	9.3	20.8	

定用の塩ビパイプを同一地点に設置しなかったこと等によりバラツキが大きかった．

木門地区の休耕田は，2006年7月の豪雨の影響とモグラ等の穴からの漏水で土手が崩れたため2006年8月1日で調査を打ち切った．

2006年8月1日は，測定が晴天の昼間の5時間だけであり蒸発量測定用のコンテナを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．そのため木門と柿平では田面水の水位変化より蒸発量が大きくなり，田面水縦浸透速度を算出できなかったため，2006年8月1日の結果は田面水縦浸透速度の評価からは除外した．昼間の5時間だけでは測定時間が短いと思われたので，その後の2回は21～29時間測定した．8月10日～11日は晴天，8月28日～29日は曇り後晴れであり，調査期間中，降水はなかった．なお，蒸発量測定用のコンテナは8月1日と同様に設置した．

田面水縦浸透速度は，調査した上佐原と柿平の2地点の平均で20.8mm/日であった．これは，水稻の指導指針⁶⁾の20～30mm/日の範囲内であった．

下伊那農業改良普及センターが調べた豊丘村の水田の減水深は約20mm/日という報告がある³⁾．田面水縦浸透速度は概ね減水深から蒸発量を引いたものと考えられるが，今回の浸透速度の値はこの減水深の報告値とほぼ同程度であった．

他地域での調査では約50～515mm/日⁷⁾，69mm/日⁸⁾等の報告があり，これらと比較すると，本調査は小さい値であった．これは前述したように蒸発量を過大評価した可能性があることにも一因があると考えられ，より正確な値を求めるには調査方法の検討とともに測定回数を増やす必要があると考えられる．

豊丘村の水田面積は2004年度の土地利用調査の図と航空写真⁹⁾を用いてGISで計測すると1.89km²になった．休耕田面積は2004年度の遊休農地調査の図を用いて計測すると0.78km²になった．湛水日数を水田は5月中旬から8月までの約100日，休耕田は凍結する冬季を除く5月中旬から11月までの約200日とし，この間湛水すると仮定し田面水縦浸透速度を本調査で得られた20.8mm/日として算出すると，水田及び休耕田からの涵養量は水田が393万m³/年，休耕田が324万m³/年となり，休耕田の涵養を行うことにより計算上水田だけに比べ1.8倍の涵養量が得られることになる．なお，河川

表3 休耕田浸透水及び田面水の水質調査結果

検体名	pH	EC (mS/m)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)
上佐原1	6.88 (6.64-7.10)	9.01 (6.53-11.30)	0.28 (0.06-0.52)	—	<0.2 (<0.2)	0.80 (0.68-0.90)
上佐原2	6.94 (6.79-7.14)	15.68 (13.75-17.01)	3.7 (3.4-3.9)	<0.002 (<0.002)	<0.2 (<0.2)	5.4 (3.4-8.5)
上佐原3	7.04 (7.00-7.08)	9.39 (8.73-10.07)	0.08 (0.04-0.14)	—	<0.2 (<0.2)	0.40 (0.32-0.49)
柿平2	6.50 (6.47-6.55)	23.7 (19.12-27.4)	0.20 (0.12-0.25)	<0.002 (<0.002)	<0.2 (<0.2)	0.68 (0.60-0.80)
柿平3	6.70 (6.68-6.73)	28.2 (25.8-30.9)	0.24 (0.21-0.28)	<0.002 (<0.002-0.002)	<0.2 (<0.2)	0.94 (0.68-1.3)
上佐原田面水	8.12 (6.95-8.73)	5.55 (4.10-6.61)	0.06 (0.06)	<0.002 (<0.002)	<0.2 (<0.2)	1.1 (0.71-1.4)
木門田面水	7.68	6.92	<0.02	0.002	<0.2	0.51
柿平田面水	8.24 (7.30-9.14)	14.59 (12.46-16.60)	<0.02 (<0.02-0.03)	<0.002 (<0.002-0.002)	<0.2 (<0.2)	0.68 (0.30-0.99)

注：数値は測定3回の平均値
「—」は試料が少なく測定できなかった
()は範囲

の伏没量や森林などの他の土地利用からの涵養量を含めた検討も今後必要である。

3.3 浸透水及び土壌中の窒素

各休耕田の3ヶ所からポーラスカップで採水した浸透水と田面水の水質調査結果を表3に示す。なお、木門の浸透水はポーラスカップの吸引では採水できなかった。また、柿平1のポーラスカップは破損したため、浸透水を採水できなかった。

浸透水及び田面水はアンモニア性窒素を若干検出したが、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素がほとんど検出されず、全窒素に占める無機態窒素の割合が低い。これらの窒素は経時的な一定の傾向は見られなかった。ほとんどが有機態窒素と考えられる浸透水の全窒素は上佐原2を除くと1mg/L未満であった。豊丘村の地下水は窒素成分のほとんどが硝酸性窒素で平均6.5mg/L、最大36mg/Lである。浸透水中の窒素成分が全て硝酸性窒素に変化したとしても地下水に比べかなり低いので、この浸透水によって地下水の硝酸性窒素濃度を希釈することが可能と考えられる。

上佐原2の浸透水のアンモニア性窒素が他の地点に比べ非常に高濃度であった。また、黄色に着色し濁りが有り、他の地点の浸透水とは明らかに違いがあった。そこで、その原因を検討するため土壌中の無機態窒素を調査した。対照として浸透水のアンモニア性窒素があまり高濃度でなかった上佐原1も調査した。その結果を図6に示す。

上佐原2のアンモニア性窒素は80～100cmの部分では8μgN/gと高くなった。一方、上佐原1のアンモニア性窒素は80～100cmの部分で上佐原2と異なり2μgN/gと低かった。

土壌中80～100cm部分はポーラスカップを埋めたのとはほぼ同じ深さである。従って、上佐原2の浸透水のアンモニア性窒素は土壌中のアンモニア性窒素が浸透水へ溶出したものと考えられる。土壌

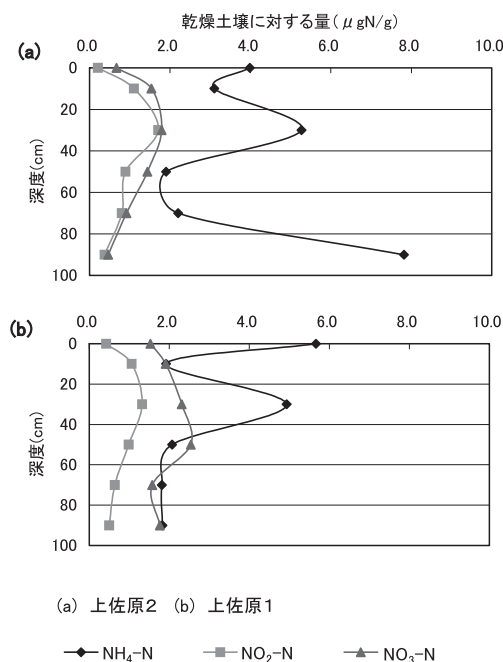


図6 上佐原1及び2の土壌中の無機態窒素の分布

中に高濃度のアンモニア性窒素があった理由は今後さらに調査する必要があると思われる。

硝酸性窒素と亜硝酸性窒素は、上佐原2と上佐原1ではほぼ同じ様相を示し、表層に比べ20～40cmの部分を中心にしてやや高いが、それより下の部分では低くなっていた。また、ほとんどの部分でアンモニア性窒素より低かった。

4. まとめ

豊丘村の地下水保全対策を支援するため、モニタリングや休耕田を利用した地下水涵養による希釈効果の検討などの調査研究を行った結果次のことが明らかになった。

- (1) 浅層地下水では水位が上昇するとともに硝酸性窒素濃度が低下していることから、地下水涵養により地下水量を増加させ、結果として硝酸性窒素濃度を低下させることが可能と考えられた。
- (2) 田面水縦浸透速度は、調査した上佐原と柿平の2地点の平均で20.8mm/日であった。
- (3) 上佐原2を除く休耕田からの浸透水の全窒素濃度は1mg/L未満で、豊丘村の地下水と比べると窒素濃度が低く、浸透水によって豊丘村の地下水を希釈し、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る。
- (4) 一部に土壌中の高濃度の窒素が浸透水へ溶出し、田面水よりも浸透水中の窒素が高くなる場所があった。

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多大なご協力を頂いた。また、豊丘村の農家の方々には休耕田を借用させて頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

文 献

- 1) 環境省水・大気環境局(2007.11)平成18年度地下水質測定結果。
- 2) 長野県(2004～2007)平成14～18年版環境白書。
- 3) 長野県(2005.3)豊丘村における地下水保全対策モデル事業報告書。
- 4) 八千代エンジニアリング(株)(2007.3)平成18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, p 91-95。
- 5) 土壌養分測定法委員会(2002.7)肥沃度測定のための土壌養分分析法, p 184-186。
- 6) 長野県(1998)主要穀類等指導指針, p45。
- 7) 富山県(2006.2)休耕田を利用した地下水涵養手法の検討(実証調査結果)。
- 8) 肥田登(1990.3)扇状地の地下水管理, p 121, 古今書院。
- 9) 下伊那建設事務所(2001)砂防基礎調査データ。

The investigation of the groundwater cultivation that used idle rice paddies

Junichi HORI¹, Hisashi TAKAYAMA¹, Tetsuko WATANABE¹, Hitoshi TOGASHI²,
Takashi SHIOHARA³ and Tatsuji SAITO³

- 1) Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Division,
1978 Komemura Amori Nagano, 380-0944 Japan
- 2) Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division,
2054-120 Kitago Nagano, 381-0075 Japan
- 3) Nagano Nanshin Agricultural Experiment Station, 2476 Shimoichida Takamori,
Shimoina, 399-3103 Japan