

## 熊本県白川中流域における湛水事業による土壌中に残留した 硝酸性窒素の溶脱について

野口翔平\* 市川 勉\*\*

On eluviation examination of nitrate nitrogen remained in the farm soil by the work  
to set water in farmland in the middle SHIRA-River area, Kumamoto  
by  
Shohei NOGUCHI and Tsutomu ICHIKAWA

(Received: September 30, 2011, Accepted: February 24, 2012)

### Abstract

The drinking water is supplied by pumping up groundwater for about 1 million populations in the Kumamoto area. However, recently, recharge rate in the recharging area is decreasing, because paddy field change to urban area and farmers don't make rice in paddy field. Then, KUMAMOTO-city keeps irrigation water to no-use paddy field from 2004. The groundwater contamination by nitrate nitrogen is concerned to the work to set water on farmland. Because sprinkled fertilizer is remaining in the farm soil before work to set water on farmland, so there is worry of nitrate nitrogen pollution by infiltration to downward set water. The authors collect non-disturbance soils before and after setting water in the farmland, and observe the concentrations of nitrate nitrogen of samples in the farmland of much kind of crops. As a result, it is understood that nitrogen remained in the soil after the planting of the specific crops and the eluviation is occur by setting water farmland. Furthermore, it was recognized that speed of eluviation was considerably fast.

### 1. はじめに

熊本市を中心とした熊本地域(11市町村、人口約100万人、面積約1048k㎡<sup>1)</sup>)は生活用水の全てを地下水で賄っている<sup>2)</sup>我が国最大の地下水利用地域である。

熊本地域の地下水は、主に大津町・菊陽町にかけての白川中流域の水田の湛水によって涵養され、地下水バイパスを流下し、江津湖などの湧水域へ到達する。しかし近年、減反による水田の減少、都市化による農地減少により涵養量も減少し、それに伴い、江津湖の湧水量も減少傾向にあった。

そこで2004年から熊本市は、白川中流域の減反・転作田において作物作付け前に水張りを行なう湛水事業を実施した<sup>3)</sup>。湛水事業による地下水涵養量は、2010年において約2000万m<sup>3</sup>となっており<sup>4)</sup>、江津湖の湧水量も増加に転じてきた。湛水の効果は他に、病害虫の防除による減農薬、ミネラル増加による減肥料などが期待される。しかし、湛水事業で懸念されることは、

湛水前に農地に残留した窒素などの栄養塩類が、湛水することで浸透水に溶脱し、硝酸性窒素による地下水汚染である。

本研究では、白川中流域湛水田において湛水前後の土壌と湛水中の水を採取・簡易土壌養分分析試験を行ない、栄養塩類の濃度を測定・定量化することによって溶脱の可能性を検討した。

### 2. 調査地点と方法

調査地点は白川中流域の大津町・菊陽町にかけての浸透能の高い地帯において、湛水事業が実施されている減反田を選定して行ない、調査地点をFig.1に示す。

\* 東海大学大学院産業工学研究科社会開発工学専攻院生

\*\* 東海大学産業工学部環境保全学科教授



Fig. 1 調査地点

調査方法は、各地点において地表から 100cm までを採土器によって、およそ 10cm 間隔で高さ 5cm の土壌を不攪乱の状態でのサンプリングした。土壌中の窒素測定は、簡易土壌養分分析法により<sup>5)</sup>、土壌中の栄養塩類を純水に溶出させ、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$  をデジタルパックテストにて測定した。簡易土壌養分分析法とは、土壌を不攪乱で採取後、室内で表面乾燥させ、その後、試料を砕き、純水 100cc に対し試料 50cc を加え、3 分間攪拌した後、減圧濾過で濾過したものを区溶出液とし、分析する。なお、地下浸透した窒素は安定した硝酸性窒素に変化するため、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$  の合計を窒素とした。

熊本県が過去に行なった調査によると、脱窒による硝酸性窒素の除去量は、白川中流域水田では、浸透速度が速いため、通常の水田の 1/6~1/14 程度しかないとされている<sup>6)</sup>。これから、湛水田は水田以上に日浸透速度が速いため、ほとんど脱窒しないと考えられる。そのため脱窒は考慮しないものとした。

調査は、2009 年から 2010 年にかけて行い、2009 年の調査では、湛水前の作物はニンジン、コムギを中心とした圃場に湛水した 8 地点で調査を行ない、湛水前後の土壌中の窒素濃度を測定し、溶脱の状況を評価した。2010 年は 3 地点において湛水前後の土壌中の窒素濃度を測定しただけでなく、湛水中の灌漑用水、表面水の水質測定を行ない、さらに、浸透水を採水・分析することによって、溶脱の速度を観測した。これらの観測地点の一覧と湛水田の日浸透速度を Table. 1 に示し、調査水の概要を Fig. 1 湛水田の各項目を Table. 1 に示す。また、湛水中に深度 50 cm の位置に高さ 5 cm のストレーナを施した採水井を設置し、浸透水を採水し、Fig. 2 に示した。

また、湛水中に浸透水を採水した調査水の概要を Fig. 3

に示す。採水は週 2 回の頻度で行い、各点の水質を測定した。また、2010 年に実施した地点番号 9~11 では、1ha あたりの土壌 1m 中の湛水前後の窒素量を測定し、湛水による溶脱量を計算し、湛水前後の窒素収支を検討した。

Table 1 湛水田項目

地点番号	湛水前作物	調査年	日浸透速度 (mm/日)
1	ニンジン	2009	66
2	ニンジン	2009	82
3	ニンジン	2009	98
4	ニンジン	2009	82
5	コムギ	2009	160
6	コムギ	2009	180
7	コムギ	2009	136
8	コムギ	2009	142
9	コムギ (エコファーム)	2010	184
10	コムギ	2010	164
11	ニンジン	2010	86

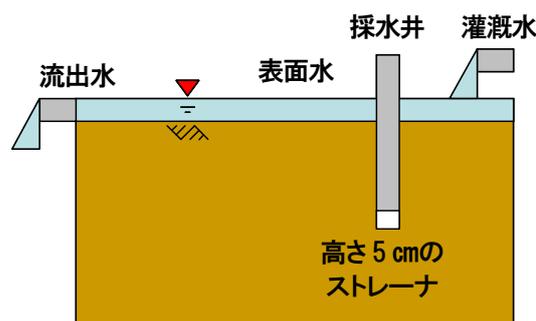


Fig. 3 調査水の概要

### 3. 測定結果

2009 年に調査した湛水前後の土壌中の深度別窒素濃度を Fig. 3~10 に示す。Fig. 3~6 の湛水前の作物がニンジンの場合、いくつかの地点で湛水後の地表付近の窒素濃度が大幅に増加した。これは、Pic. 1 に示したように湛水中に藻が繁茂し窒素を吸収して、湛水後に干し挙げたとき肥やしとなり、地表面に窒素が集積したためと考えられる。Fig. 3~6 のように、ニンジンを作付けして湛水した場合の多くは、湛水前の各深度の窒素濃度は、湛水後には低下している。これは、土壌中に残留していた窒素が早い浸透によって洗い流され、溶脱していると考えられる。Fig. 7~10 の湛水前の作物がコムギの場合にも、湛水前より窒素濃度の低

下が見られる。しかし、Fig. 8、9 のように湛水後に増加している地点もあるが、残留した窒素がそのまま残ったのか、灌漑水が湛水によって浸透し、浸透水中の窒素が残留したものかは判断できない。

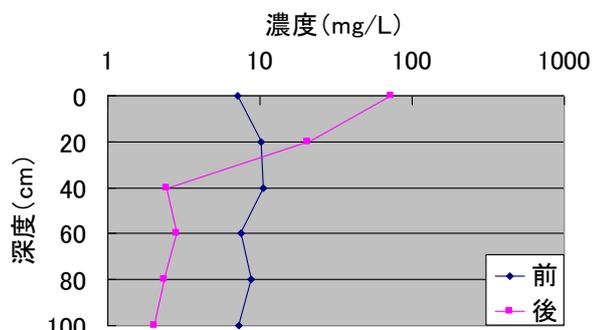


Fig. 3 地点1(ニンジン)の土壤窒素濃度分布

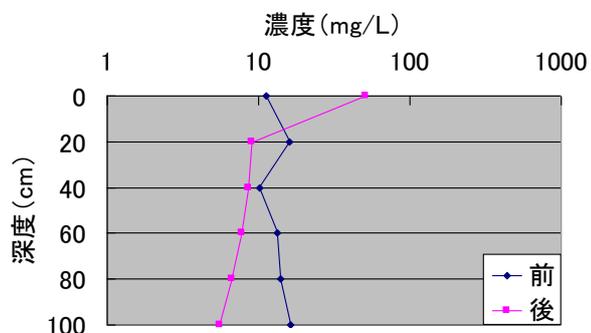


Fig. 4 地点2(ニンジン)の土壤窒素濃度分布

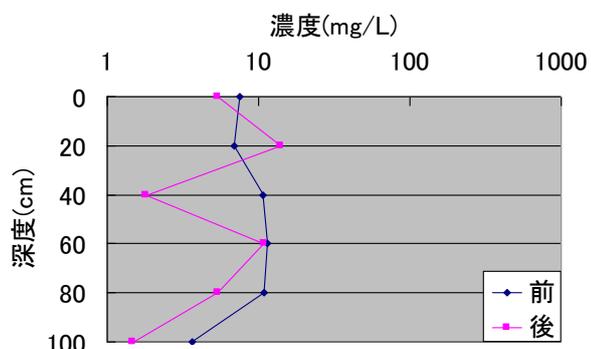


Fig. 5 地点3(ニンジン)の土壤窒素濃度分布

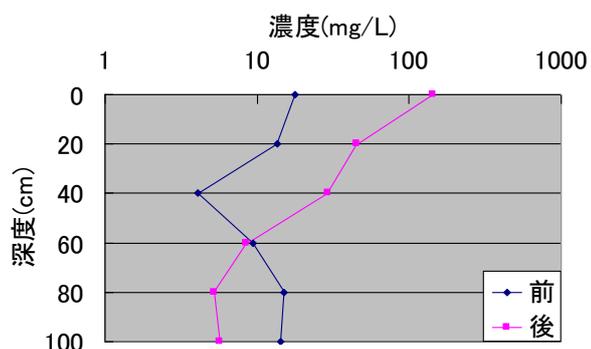


Fig. 6 地点4(ニンジン)の土壤窒素濃度分布

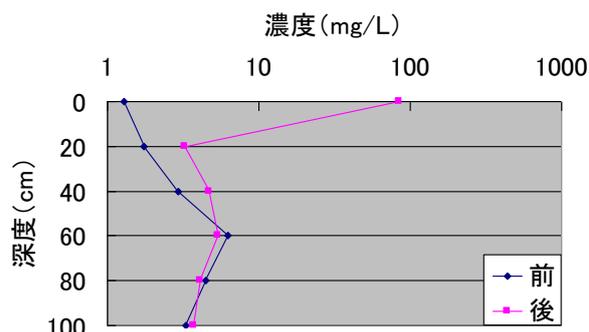


Fig. 7 地点5(コムギ)の土壤窒素濃度分布

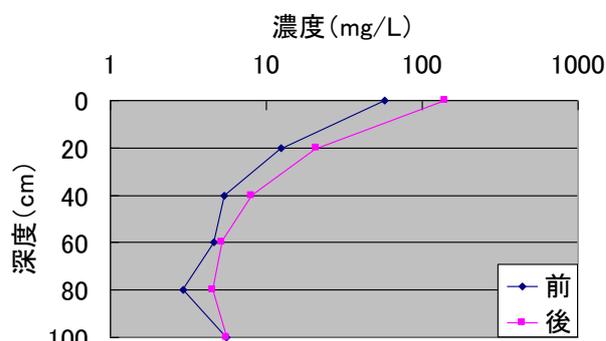


Fig. 8 地点6(コムギ)の土壤窒素濃度分布

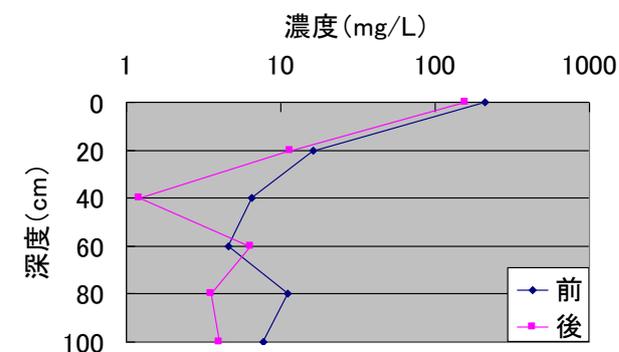


Fig. 9 地点7(コムギ)の土壤窒素濃度分布

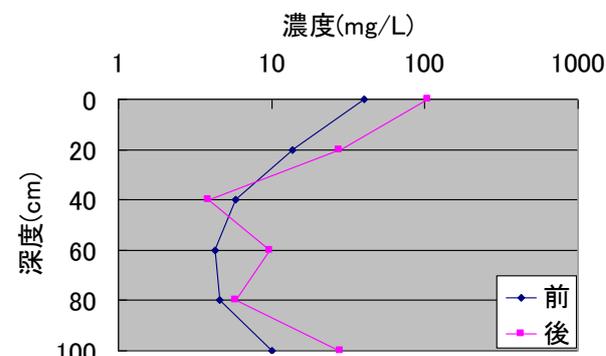


Fig. 10 地点8(コムギ)の土壤窒素濃度分布



Fig. 1 湛水中に繁茂した藻

次に、2009年の湛水前後の土壤中の窒素結果から、いくつかのケースで窒素溶脱の可能性が認められた。そこで、2010年にTable 1に示した地点番号9~11のように、湛水前にコムギ(エコファーム)、通常栽培のコムギ、そして、ニンジンの3種類の圃場において、

- 1) 溶脱の速度を観測するために、圃場内に50cm深度にストレーナを取り付けた集水用井戸を設置し、週に2回のペースで観測した。
- 2) さらに、圃場への灌漑用水を通じた窒素の供給量を評価するため、灌漑用水、圃場に溜まった表面水の水質観測も週に2回のペースで実施した。
- 3) 採集した土壌については、土壌の比重、間隙率、体積含水率などの諸量を求め、圃場全体の窒素量を計算した。

以下にその結果を述べる。

Fig. 11に地点9の湛水前後の深度別土壌窒素濃度分布を示す。この圃場はエコファームであるため、窒素施肥量が比較的少なく、施肥を3割減で行なっているため、湛水前の窒素濃度は低い値であり、湛水後、全体的に窒素濃度は上昇した。

Fig. 12に地点10の湛水前後の深度別土壌窒素濃度分布を示す。この圃場のコムギの窒素濃度は、地点番号9のコムギよりも少し高い値であった。湛水後に地表面の窒素濃度が大きく上昇したのは、他の地点と同様に表面に湛水によって植物が繁茂し、それが乾燥によって集積したことが原因と考えられる。

Fig. 13に地点11のニンジンの圃場の湛水前後の深度別土壌窒素濃度分布を示す。この圃場は窒素施肥量がコムギよりも多く、各深度の窒素濃度も高い値であった。湛水後の窒素濃度は、湛水前よりも全体的に小さくなった。湛水前の窒素濃度が高いのは、農地の土壌に肥料が残留しており、作物が吸収しきれない、すな

わち、作物に対する施肥量が多いためだと考えられる。その結果、圃場に残留した窒素は、湛水した水が速い日浸透速度によって溶脱したものと考えられる。

湛水中のニンジン栽培地での窒素の動向を Fig. 14に示す。採水井50cmにおいて、湛水当初4.2mg/Lあった窒素濃度は、3日後には1.24mg/L、1週間後には0.45mg/Lと、灌漑水の窒素濃度とほぼ同じ値になった。この地点の日浸透速度は86mm/dayであるため1週間で、土壌中の窒素が溶脱したと考えられる。

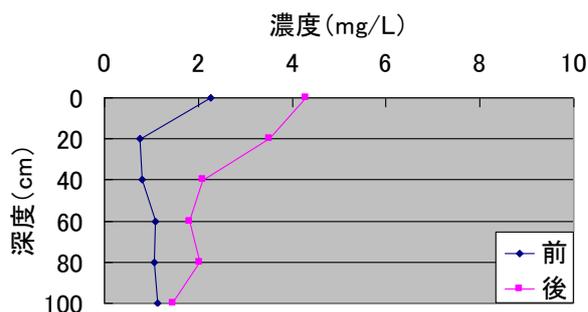


Fig. 11 地点9(コムギ(エコファーム))の土壌窒素濃度分布

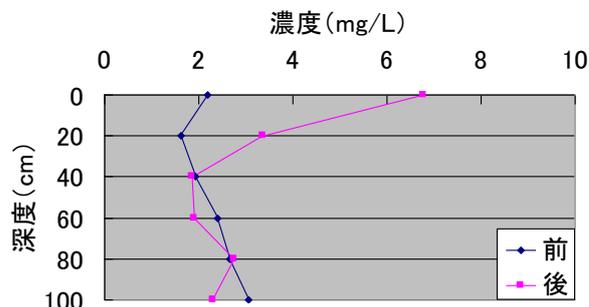


Fig. 12 地点10(コムギ)の土壌窒素濃度分布

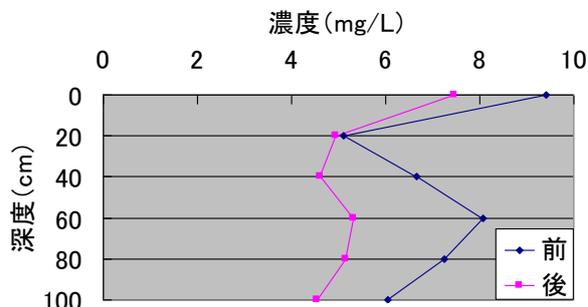


Fig. 13 地点11(ニンジン)の土壌窒素濃度

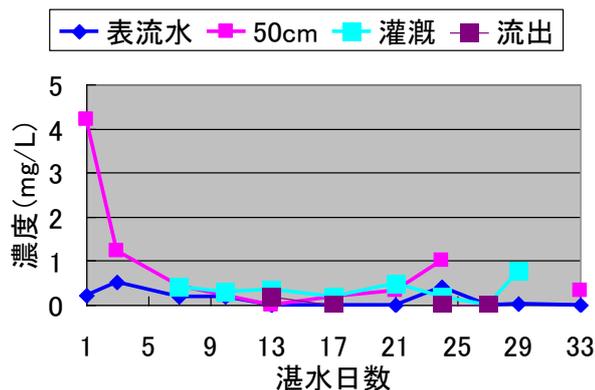


Fig. 14 地点11(ニンジン)の湛水中窒素の動向

次に各湛水田における窒素収支を検討する。地点 9～11 の各湛水田における灌漑水の窒素濃度のデータから窒素流入量を計算し、湛水前後の深度 1m までの土壌中に残留している窒素の量を溶脱試験のデータから計算し、湛水前土壌中と湛水期間中の湛水田への流入量の合計と、湛水後土壌中と浸透した水に溶解している窒素の量の合計が等しいものとして、土壌深度 1m、湛水田面積 1ha、湛水期間 1 ヶ月 (30 日) 当りの浸透水中の窒素量を計算した。その結果、Fig. 15、Table 2 の結果を得た。

地点 9 の圃場では滞留窒素量は 13.6kg N/ha と低い値が求められた。これは、コムギのエコファームは施肥量が 3 割ほど少なかったため、湛水前の窒素量が少なく、灌漑水中の窒素の全てが土壌中に集積し、地下浸透した窒素量はマイナスとなった。

地点 10 は、浸透窒素量があったが、湛水後窒素量は増加したため、灌漑用水から供給された窒素が地下浸透したと考えられる。

地点 11 では、ニンジンの圃場であるため土壌に残留した窒素が多く、湛水後に窒素量が減少したため、地下へ溶脱した。

浸透水平均窒素濃度は、エコファームのコムギではマイナスとなったが、これは灌漑用水中の窒素濃度よりも低い濃度だと考えられる。他の 2 地点も環境基準である 10mg/L を下回っている。ニンジンの圃場の浸透水平均窒素濃度が高いのは、日浸透速度が遅いために灌漑用水中との希釈が少ないためと考えられる。

畑作で多量に窒素を施肥する場合、窒素が土壌に多量に残留し、湛水で溶脱しやすくなると考えられる。

Table 2 地点 9、10、11 の窒素収支計算結果

	地点 9	地点 10	地点 11	単位
湛水前土壌中窒素量	13.6	20.0	59.1	kg N/ha
灌漑用水供給窒素量	12.4	15.2	5.2	kg N/ha
浸透窒素量	-4.2	8.2	13.3	kg N/ha
湛水後土壌中窒素量	30.2	27.0	51.0	kg N/ha
滞留・溶脱窒素量	16.6	7.0	-8.1	kg N/ha
浸透量	5.52	4.92	2.58	m <sup>3</sup>
浸透水平均窒素濃度	-0.8	1.7	5.2	mg/L

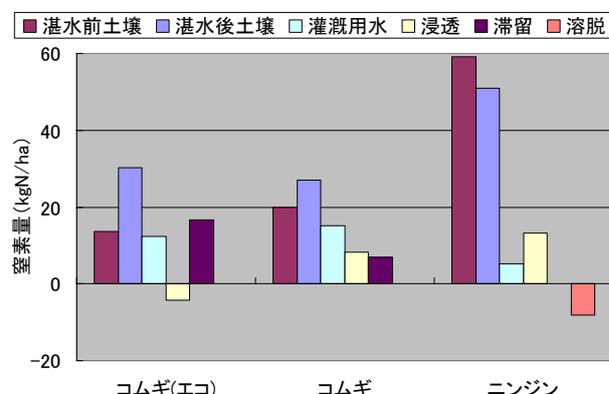


Fig. 15 地点 9、10、11 の湛水前後の窒素量収支

#### 4. まとめ

熊本県白川中流域で実施されている湛水事業によって、約 2000 万 m<sup>3</sup> もの地下水涵養の量が増加し、下流の湧出域の江津湖の湧水量が上昇傾向を示してきた。しかし、量の保全をはかるだけでなく、近年問題化しつつある硝酸性窒素汚染の問題に拍車をかける可能性のある湛水事業の現状を把握するために、湛水前後の土壌中の硝酸性窒素濃度を観測し湛水前後の窒素収支を求めた。その結果、湛水事業の圃場は日浸透速度が速いため、涵養量の確保を図る場合、土壌に残留しやすい作物を通常の状態に栽培すると、土壌中に残留した窒素が容易に地下水に溶脱する可能性が高いことがわかった。エコファームでは溶脱せず、かえって、灌漑用水中に含まれる窒素が土壌中に残留することがわかった。そのため、窒素汚染を抑制するためにはエコファームの導入が急務であると考えられる。

今回の現地試験では、作物の種類に関して、貧弱であることから、多くの作物の場合について試験結果を重ね、より広範囲な結果を求めるために種々の作物の

場合について試験を継続していく必要がある。

参考文献

- 1)熊本県：熊本県市町村合併地図,  
[http://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/1014294\\_1021406\\_misc.pdf](http://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/1014294_1021406_misc.pdf), 2010.
- 2)熊本市：熊本市地下水保全プラン, P. 6, 2010.
- 3)市川勉：2008 年度白川中流域湛水効果評価報告書, P. 1, 2009.
- 4) 刑部新也：熊本地域における白川中流域湛水事業による地下水涵養の効果評価, 東海大学大学院修士論文, P. 40, 2009.
- 5)松岡憲吾・波田善夫：パケットテストによる簡易土壌養分分析法, 2008.
- 6)熊本県：平成 10 年度熊本地域地下水かん養水質調査事業業務委託報告書, P. 69, 1999.