

## 熊本白川中流域における湛水事業による硝酸性窒素汚染の可能性

市川 勉\* 伊藤 ゆい\*\*

### Possibility of Nitrate Nitrogen Pollution by Ponding water project in the Middle Shira-River Area, KUMAMOTO

by

Tsutomu ICHIKAWA\*, Yui ITO\*\*

(Received: September 30, 2013, Accepted: February 20, 2014)

#### Abstract

Kumamoto city located in the middle of the Kyusyu Island, Japan is greatest city which uses groundwater for domestic water. There are 4 groundwater areas in Kumamoto prefecture, and the Kumamoto area is the biggest one in those 4 areas. In this area, all of domestic water for 1 million populations depends only on groundwater. In addition, this groundwater is used to agriculture and industrial too. Moreover, this groundwater is the important resource for supporting development of Kumamoto prefecture. However, groundwater level decreased year by year until 2004. It seems that paddy field having high ability for groundwater recharge is continuously decreasing. Because of that, Kumamoto city and 4 companies have performed the ponding water project on the field in the Middle-Shira River Area since 2004. The ponding water project is to keep water in the no rice crop by farmer. In this way, groundwater level is rise up. However, recently, the nitrate nitrogen concentration of groundwater rises in Kumamoto area. And, it is said that the ponding water project causes the nitrate nitrogen pollution of groundwater. Therefore the authors observed the nitrate nitrogen concentration of soils in the ponding water area and estimated quantity of nitrate nitrogen in seepage water afterward on field in the Middle-Shira River Area. As a result, it is considered that the possibility of the nitrate nitrogen pollution by the ponding water project is low.

Key Words : recharge, groundwater, nitrate nitrogen pollution, ponding water project

#### 1. はじめに

熊本県は上水道水源の80%以上を地下水に依存し、その中でも熊本市を中心とした11の市町村からなる熊本地域は100万人の住民が100%地下水に依存している我が国で最大の地下水利用地帯である。その地下水取水量は自噴井戸を含むと平成21年度(2009年度)で、約1.73億 $m^3$ 、上水道用では、1.05億 $m^3$ にもなる。この地域の地下水賦存量は年々低下してきており、30年以上にわたる長期的観測データでは低落傾向を示し、地下水帯の最下流部にあたる熊本市南部の江津湖の湧水量は、1960年ごろには約10 $m^3/s$ (日量864,000 $m^3$ )<sup>(1)</sup>あったものが、1990年ごろには約5.8 $m^3/s$ (日量500,000 $m^3$ )、2005年には約4.1 $m^3/s$ (日量350,000 $m^3$ )と大幅に減少している。2003年、ある企業が食堂で使用するコメを契約栽培し、さらに、年間に使用する地下水と同量の地下水涵養を実施する「環境中立事業」を開始した。地下水涵養の方法は水稻作付調整田(いわゆる減反田)が次の作物を植え付ける前の空いた期間に水張を行うことによって地下への浸透を促そうとするものである。著者が観測した水田の日

\* 熊本教養教育センター教授

\*\* 熊本大学大学院自然科学研究科複合新領域科学専攻博士前期課程

浸透速度は水田で観測した結果、8月で平均100mm/日に達するものであった。2004年、熊本市がこの減反田での水張り事業を開始した。この事業はその後3企業が参加し、現在では「湛水事業」と呼んでいる。この湛水事業は、2004年当初、湛水面積で186ha、推定涵養量約920万 $m^3$ であったものが徐々に増え、2012年には湛水面積386ha、推定涵養量が約2,000万 $m^3$ にもなっている。このような大規模な地下水涵養を実施しているのは、わが国でも例を見ない。その効果は地下水位の上昇と下流の江津湖湧水量の上昇として表れているが、湛水田の面積が頭打ちとなり、地下水位上昇、湧水量の上昇には歯止めがかかっている。

一方、湛水を行っている圃場は湛水前に栽培されていた作物の取り入れ後に実施されるため、前の作物を耕作しているときに畑に施した肥料が残留し、湛水を行うことによって高い浸透性から、浸透した水と一緒に肥料、特に硝酸性窒素が溶脱する懸念がある。特に、白川中流域の水田が高い浸透能力を示しており、地表面を水で覆って圃場の土壌中の酸素をなくす還元状態にする前に浸透してしまうので、硝酸性窒素は還元状態で脱窒される前に浸透水と一緒に地下に浸透し、地下水の硝酸性窒素

汚染を引き起こす懸念が示されていた。

そこで、本研究では、白川中流域に展開されている淡水事業の圃場において、湛水前後の土壌を深度 1m まで不攪乱の状態にて採取し、簡易土壌養分試験によって土壌中に残留した窒素の変化を測定し、湛水事業によって溶脱した窒素分が地下水の硝酸性窒素汚染に影響を与えているかどうかを検証した。

## 2. 熊本地域の地質構造と地下水流動

熊本地域の地質構造は、約 30 万年前から始まる阿蘇山の火山活動によって形成された火砕流堆積物と溶岩によって構成された地層によって構成されている。熊本地質研究会は、2010 年、それまでに蓄積されたボーリングデータを用いて 1km メッシュの断面図を作成した<sup>(2)</sup>。その地質図は図-1 の南北と東西の断面線で作成されている。これらのデータを基に図-1 で示した地下水流れ方向に沿った断面図を図-2 に示した。図-2 で、熊本地域地下水の帯水層となっているのは、4 回にわたる阿蘇山の火砕流噴火による堆積物で古い順から ASO-1、ASO-2、ASO-3、ASO-4 呼ばれる火砕流堆積物と砥川溶岩である。ASO-3 と ASO-4 の間に布田層と言われる粘土層が堆積し、帯水層を 2 つに区分している。この図-2 に示しているように、白川中流域は白川の流れてによってそれまで堆積していた地層、火砕流堆積物の ASO-3、ASO-4 が削り取られている。そのため、白川中流域で浸透した水は直接 ASO-2 以下の深い第 2 帯水層に直接地下水プールに入る。地下水プールから流出した水は下流へと流れ、砥川溶岩に入ると流速を増し、江津湖、嘉島周辺で地上に湧出する。白川中流域農地は阿蘇火山が噴出した火山灰が降り積もり、赤ボク・黒ボクといった有機質火山灰土が高い浸透特性を持って分布している非常に有能な表土層を展開し、熊本地域地下水の涵養地となっている。その浸透能力は水田で干し上げ後、平均で 100mm/日、畑地では

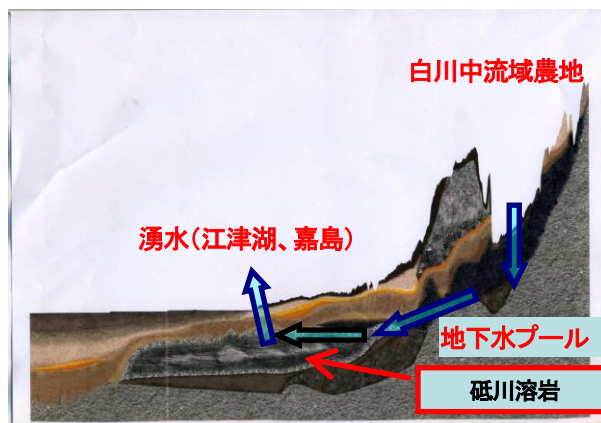


図-2 地下水流動方向の地質断面と地下水流れ

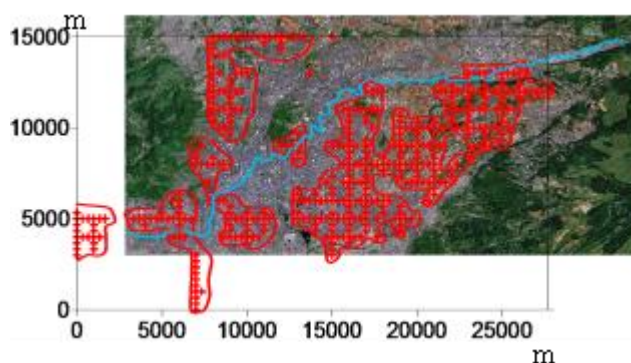


図-3 布田層の分布

100mm/hr. にも達する。

地下水を上下に二分する粘土層である布田層の分布を図-3 に示す。この図を見るとわかるように、白川中流域にはほとんど存在しない。また、山際や一部の高台にも存在しない。したがって、布田層の存在しない場所では、地表面からの浸透水はすべて直接第二帯水層に浸入することになる。

## 3. 熊本地域の地下水の状況と白川中流域の湛水事業

### 3.1 熊本地域の地下水と江津湖湧水の状況

熊本地域の地下水に関する調査は、熊本県・熊本市が実施しているが、その調査結果による地下水流速分布は図-4 のようになっている<sup>(3)</sup>。図-4 には、涵養地である白川中流域に近い地下水位観測地点・菊陽と流出口である江津湖に近い水前寺の地下水観測井の位置を示している。熊本県が観測している菊陽と水前寺観測井の地下水位の 2004 年までの変化を図-5、図-6 に示した。この 2 つの図で直線回帰をして地下水位低下状況を見ると菊陽の地下水位は一日あたり 0.243mm、年簡に換算すると 8.7cm の低下、水前寺では、一日当り 0.021mm、年間に換算すると 0.077cm の低下になった。

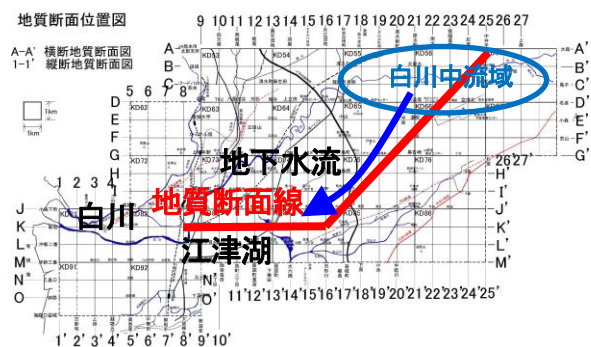


図-1 熊本地域平面図

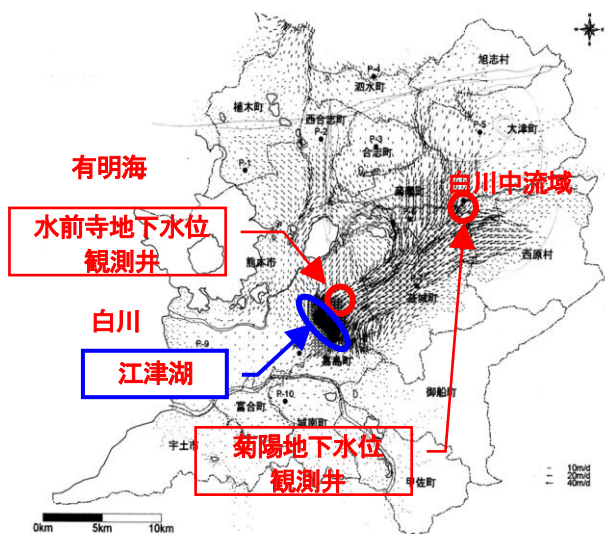


図-4 熊本地域第二帯水層地下水流動と地下水位観測位置

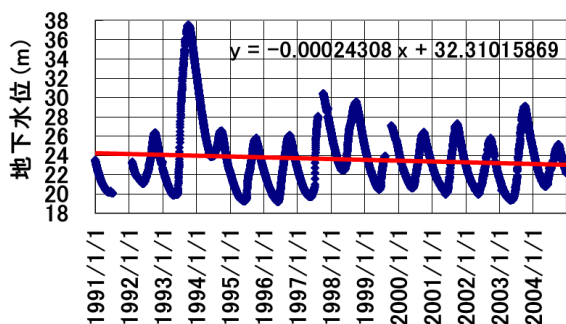


図-5 菊陽地点地下水位変化 (2004年まで)

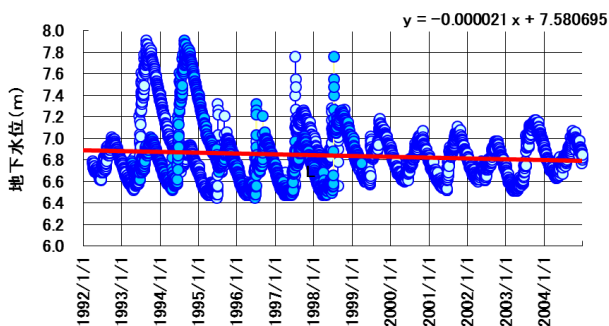


図-6 水前寺地下水位変化 (2004年まで)

一方、熊本地域地下水流動の下流部に位置する江津湖の湧水量は、2004年までに平均で797m<sup>3</sup>/月、年間日量9,567m<sup>3</sup>の湧水量が減少している。さらに、白川中流域の水稻作付け調整率（いわゆる減反率）は熊本県の集計で

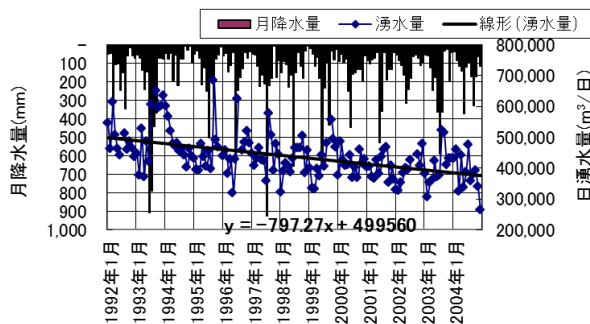


図-7 江津湖湧水量の変化 (2004年まで)

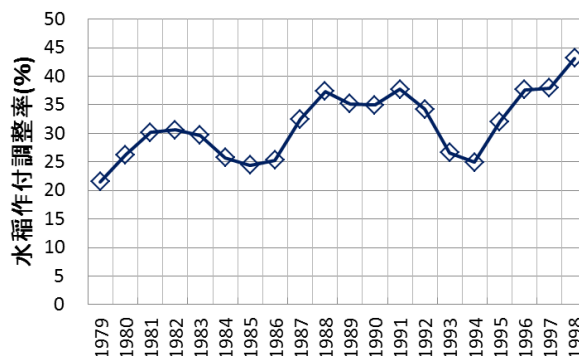


図-8 白川中流域水稻作付け調整率の推移

は図-8に示したように40%代後半となっており、政府の基準30%の1.5倍となっている。この背景には、コメ価格の低下、農家の高齢化など種々の問題がある。しかし、この水田減少は熊本地域にとって重要な地下水資源の減少を促進させ、将来にわたる継続的な地下水利用に黄色信号をともした。



写真-1 湛水事業の様子

### 3.2 白川中流域の湛水事業

継続的な地下水位観測と江津湖の湧水量観測の結果、熊本地域の地下水は長期低落傾向がはっきりと示された。

その原因は熊本地域の最大の涵養地域である白川中流域の水田地帯の水稲耕作の減少、農地の減少にあることが推定された。その結果を基に、熊本市は2004年から白川中流域の水稲作付け調整田（転作田）において、次の耕作までに空いた期間に、農地に湛水をしてもらう湛水事業を開始した。写真-1は湛水事業の様子を示したものである。この湛水事業には4企業も参加し、農地土壌のクリーニング、土壌中の害虫（線虫など）の駆除を目的として実施した。その間の農地利用の推移を図-9に、転作率（水田可能面積に対する転作田の割合）と湛水率（水田可能面積に対する湛水田の割合）を図-10に示す。図-9と図-10を見ると分かるように、水田が可能な面積（水田面積）は9年間で減少傾向にあり、水稲作付面積（水田にした面積）は大幅に減少、転作面積は大幅に上昇し、転作した農地のうち、当初1/6程度であった湛水田の割合が50%程度に上昇したが、2009年以降は伸び悩んでいることがわかる。

これらの情報と各地域の水田面積、中干し前後の水田の日浸透速度を使って水田での涵養量を計算した。湛水田については77地点にのぼる減水深試験結果を用いて分布図を作成し、一筆地ごとの日浸透速度を求め、農家

が提出した湛水田の湛水記録から湛水田による涵養量を計算した。その結果は、図-11に示すようであった。

図-11から、水田の涵養量は2004年5,000万 $m^3$ あったものが2012年には3,300万 $m^3$ まで落ち込んでいることがわかる。湛水事業による涵養量は2004年、920万 $m^3$ が2008年に2,000万 $m^3$ まで増加したが、その後は横ばい状態になったことがわかる。その結果、地下水涵養量は2004年の6,000万 $m^3$ から2009年に6,600万 $m^3$ まで増えたが、その後は横ばいである。2012年の減少は7月12日の北部九州大洪水で白川中流域の農地が白川の氾濫によって農地に濁水が入り耕地面積が減少したことによる。また、2010年から飼料稲・飼料米が開始されたことによる増加である。このように転作が大幅に進んだ原因はコメ価格の低落と減反政策の奨励によって米農家の収入が減少したため、転作・湛水へ転換し、収入増を図ったためと考えられる。しかし、2004年の転作率はそれまでの割合とほぼ等しいため（図-8参照）、湛水事業による地下水涵養量は水田のみの場合に比べれば減少していると考えられる。

湛水事業開始後の地下水位の変化を見ると、図-5、図-6で低下していた地下水位は2005年以降、図-12、図-13のように若干増加傾向を示した。江津湖の湧水量の変動は図-14のようになった。

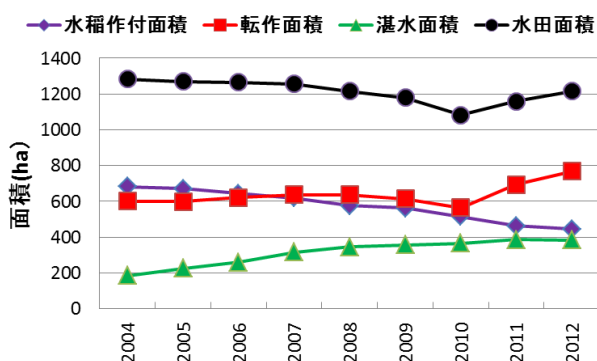


図-9 湛水事業の経過(各面積の推移)

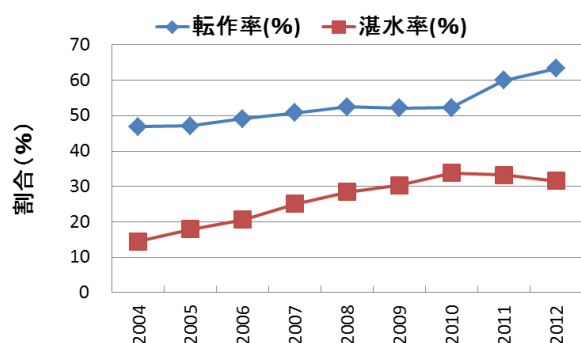


図-10 転作率、湛水率の推移

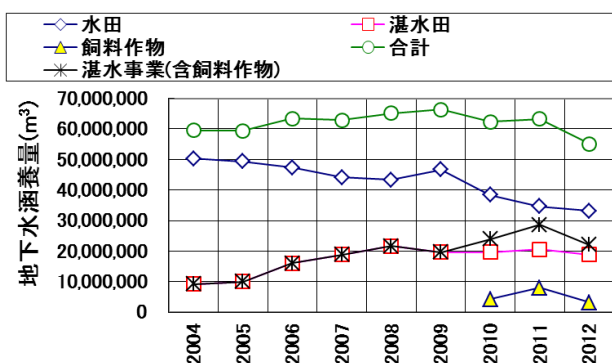


図-11 白川中流域地下水涵養量の推移

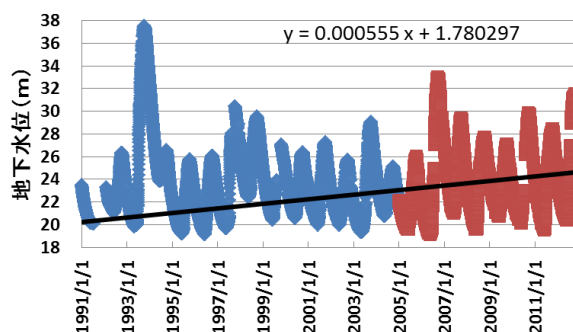


図-12 菊陽地点地下水位変化 (2012年まで)

図-12、図-13の地下水位の変化は2005年以降上昇に転じている。その上昇率は菊陽観測井の地下水位で0.555mm/日(20.3cm/年)、水前寺観測井の地下水位で0.09mm/日(3.3cm/年)であった。一方、江津湖の湧水量は図-14に示したように、2005年以降2007年まで上昇傾向で、それ以降は横ばいになっている。これは降水量の関係もあるが、白川中流域の湛水事業が伸び悩み、限界に達しているともいえる。

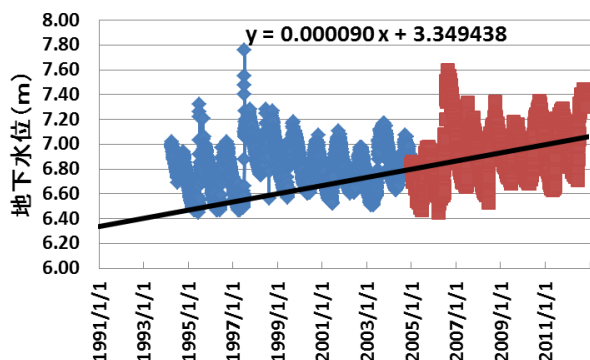


図-13 水前寺地下水位変化(2012年まで)

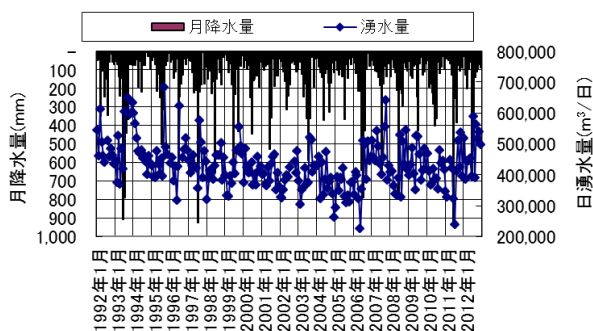


図-14 江津湖湧水量の推移(2012年まで)

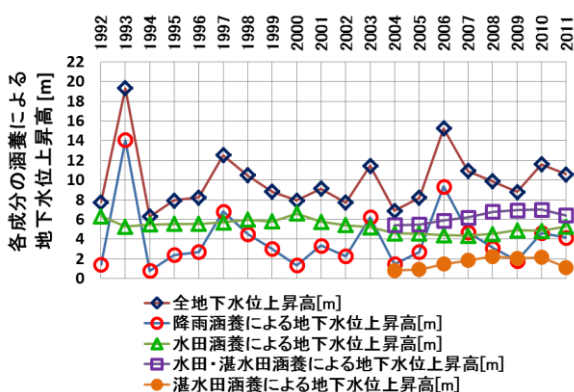


図-15 統計解析による1992年以降の水田、湛水田、降雨の各要素による地下水上昇量

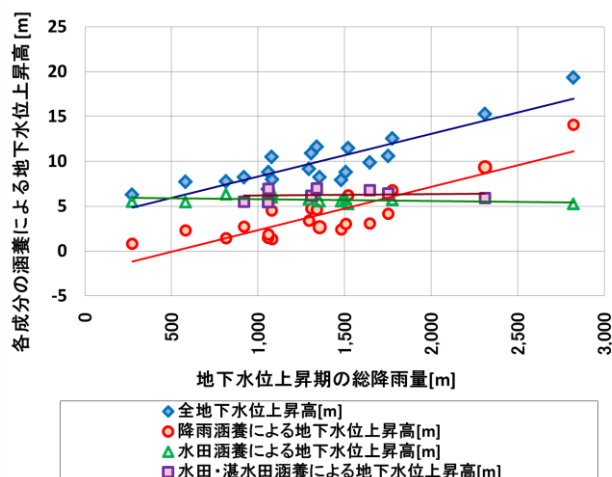


図-16 地下水上昇期間における降雨と各要素の地下水上昇量

一方、花尻らは菊陽地下水位、降水量、そして白川中流域湛水事業のデータを用いて統計的手法によって湛水事業による地下水変動の効果の評価を行った<sup>(4)</sup>。その手法を2011年までのデータに適用した結果、図-15、図-16の結果を得た。図-15は、1992年から2011年における各年の各要因別地下水水位上昇高さを示している。降雨による期間中の降雨によって激しく上下しているが、水田による地下水水位上昇高さは、1990年代の6mから徐々に低下し、湛水事業が始まる2004年には4m付近まで低下している。その後湛水事業が開始され、2008年には水田と湛水事業による地下水水位上昇高さは6m近くまで回復している。湛水事業後の水田による地下水水位上昇高さは3.5~4m、湛水事業による地下水水位上昇高さは1.5~2mと推定された。2011年は洪水による濁水が灌漑用水に入り、水田や湛水田にマッドケーキが形成されて低下した。図-16は横軸に地下水水位上昇期間の降雨量、縦軸に各要素の地下水水位上昇高さを示したグラフである。この図から、地下水水位上昇期間の降雨量が500mmを下回ると降雨による地下水水位上昇がなくなることがわかる。湛水事業により、水田の減少による地下水水位上昇がある程度補充されており、地下水水位低下を防いでいることがわかるが、湛水事業後、水田が急激に減少し、湛水田の地下水水位上昇への効果が減少していることも否定できない。各年の総地下水涵養高さを計算すると、水田が約7,500mm(平均湛水期間110日)、湛水田が約5,500mm(平均湛水期間53日)となり、水田の方が地下水涵養には有利なことがわかったが、農家は経済的理由から転作し、湛水事業に参加する選択を行い、白川中流域の湛水事業も限界にきていることがわかる。

#### 4. 熊本地域地下水の硝酸性窒素汚染

近年、熊本地域地下水の硝酸性窒素濃度が上昇傾向にあると言われている。その結果、熊本県・熊本市共に硝酸性窒素の保全計画をまとめており、熊本県や熊本市のホームページに公表されている。それらを引用すると、熊本県が調査した平成16年(2004年)～平成18年(2006年)の熊本地域の観測井戸の地下水に含まれる硝酸性窒素濃度の分布は、図-17のようになっている<sup>(6)</sup>。また、熊本市でも平成20年に第二次熊本地域硝酸性窒素削減計画を策定した<sup>(6)</sup>。その中に、熊本市東部の取水停止をした水源井(宅磨5号井戸)の観測結果が示されている。その観測結果を図-18に示す。さらに、著者らが観測している江津湖の湧水の硝酸性窒素の推移を図-19に示した。湧水に含まれる硝酸性窒素の濃度は上昇傾向にあることがわかる。これらの観測結果から、熊本地域地下水の硝酸性窒素汚染は進行状況にあることがわかる。

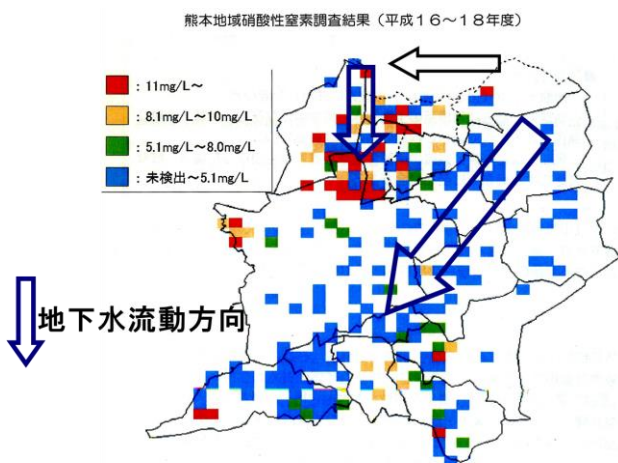


図-17 熊本地域の地下水に含まれる硝酸性窒素濃度

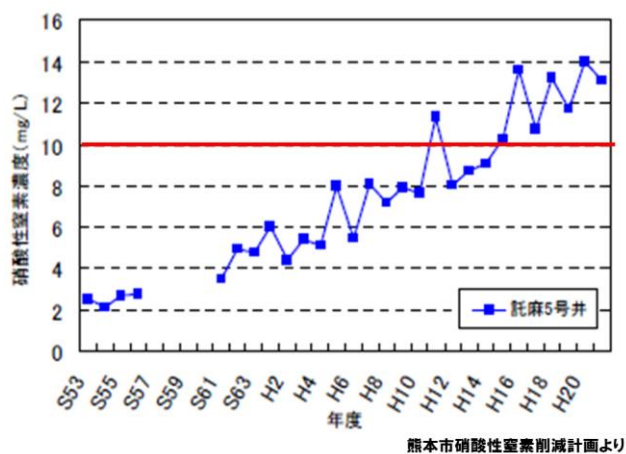


図-18 熊本市東部水源井の硝酸性窒素濃度

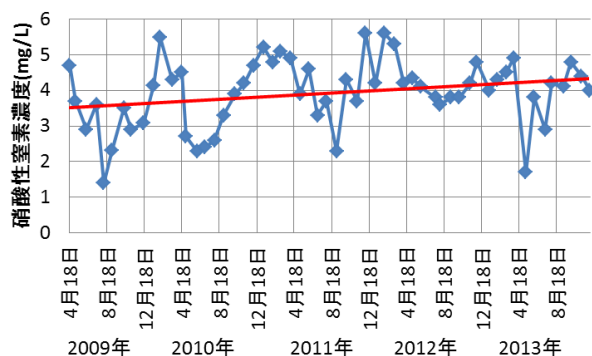


図-19 江津湖の湧水の硝酸性窒素濃度の推移

#### 5. 白川中流域湛水事業の硝酸性窒素汚染への影響

白川中流域で実施されている湛水事業は湛水前まで何らかの作物を栽培し、その後、湛水して地下水涵養を促進させる。湛水の目的は圃場直下の土壌の湛水によるクリーニング、線虫などの土壌中に存在する害虫の駆除など、営農上の目的を持っている。さらに、湛水によって地下水が涵養される効果もある。湛水事業が開始され、2012年で9年が経過した。すでに述べたように、当初、効果が上がり、地下水位、江津湖の湧水量も回復傾向にあったが、湛水事業による地下水涵養量が上昇傾向に歯止めがかかった現在、ほぼ横ばいになっている。しかし、毎年、2,000万 $m^3$ もの地下水涵養ができていますので、今後とも継続する必要があります。

一方、湛水事業の継続を行っていく上で、懸念材料がある。それは、熊本地域地下水の硝酸性窒素濃度が上昇傾向にある問題である。湛水前の営農によって圃場の土壌中に残留した窒素が湛水によって速い速度で地下に浸透するために地下水中に溶脱する懸念があることである。そこで、湛水前後の圃場、深度1mまでの土壌中の残留窒素量を観測し、地下水への溶脱の状況について考察した。

湛水事業前の作物は種々にわたっている。通常、水田の場合は湛水することによって、代掻き後は日浸透速度も低く、土壌中が嫌気状態になるため脱窒作用が促進されること、稲が大量の窒素を吸収するために圃場の土壌中に残留する窒素はごく少ないと推定される。したがって、湛水前の圃場が畑作の場合について調査した。また、湛水田で浸透した水がどの程度の速さで浸透・溶脱するかを観測するため、圃場に深度50cm(写真-2)と100cmの採水井を設置し、定期的に採水し窒素濃度を測定した。ただ、100cmの採水井では浸透水を採水できなかった。圃場に設置した状況を図-20に、採水した水の窒素濃度の変化を図-21に示す。観測結果では、灌漑水、表面水、流出水ともに大きな変化は見られなかったが、50

cm採水井の窒素濃度は湛水初日に 4mg/L を超える濃度が見られたが、3日目には当初の1/4、7日目には灌漑水など他の水とほぼ同じ窒素濃度となり、早い速度で溶脱が進んでいることがわかる。したがって、湛水田では、前の作物収穫後に圃場内の土壌中に残留していた窒素はほぼすべて溶脱すると考えられる。そこで、湛水事業を実施している白川中流域の湛水前の作物を調査し、その各作物の中の代表種を表-1のように決めて各圃場の湛水前後の深度1mまでの土壌を採土器によって不攪乱の状態で採取し(写真-3)、一週間の室内放置によって表面乾燥状態にした試料を用いて簡易土壌養分分析法<sup>(7)</sup>によって土壌中の窒素分を測定し、深度1mまでの単位面積当たりの窒素量を求めた。分析は、現地でも測定できるデ

表-1 湛水前作物と代表種

分類	作物種	代表種
飼料作物	ソルゴ、緑肥、レンゲ、トウモロコシ、イタリアン、ニシアオバ、ローズグラス、牧草	イタリアン
果物	メロン、イチゴ	メロン
雑穀類	ソバ、菜種、小麦、花、ひまわり、	小麦
根菜類	甘藷、ゴボウ、サトイモ、ジャガイモ、人参、大根	人参
野菜類	南瓜、キャベツ、小松菜、高菜、タバコ、玉ねぎ、スイートコーン、ニンニク、ネギ、ピーマン、ブロッコリー、ほうれん草	スイートコーン

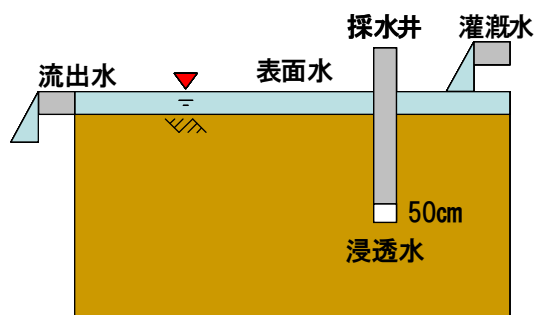


図-20 湛水田の採水の状況



写真-2 50cm採水井



写真-3 採土器による採土とカラム

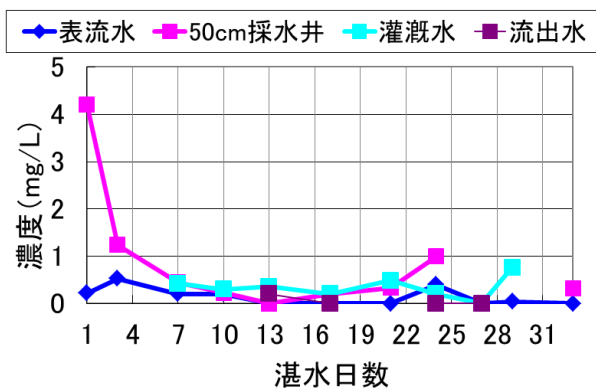


図-21 湛水開始後の各水の窒素濃度の変化

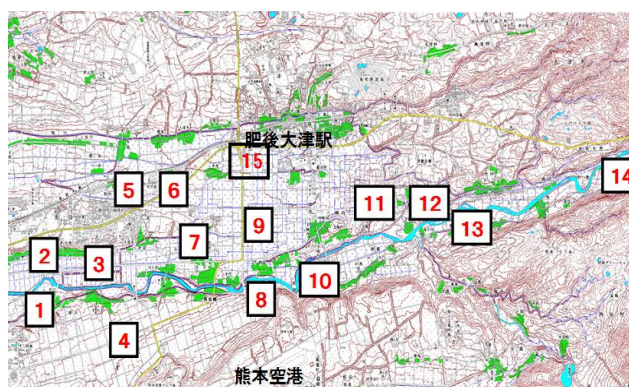


図-22 採土地点

ジタルパックテスト(株式会社共立理化学研究所)によって行った。調査地点は図-22に示す15地点である。これらの結果から各代表種の圃場の湛水による窒素溶脱

量を推定した。なお、この解析では2011年の湛水事業のデータを用いて行った。

図-23~27は各代表種が収穫され、湛水が実施された圃場の湛水前後の震度1mまでの簡易土壌養分分析法による窒素濃度の分布である。ここでは、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素の濃度は少ないが硝酸性窒素との合計量を求め、窒素濃度としている。

図-23~27で小麦やスイートコーンのように湛水後に地表面付近に窒素が集積する場合が見られた。これは湛水期間が一月を超え、圃場面に珪藻や水生植物が発生し、湛水終了後に干し上げる形になるため、表面付近に窒素集積が発生した為と考えられ

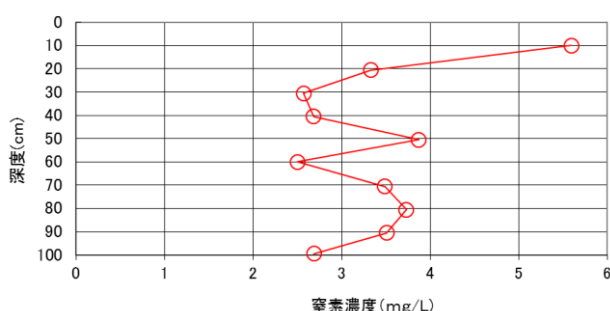


図-23 湛水前の窒素濃度分布(イタリアン)

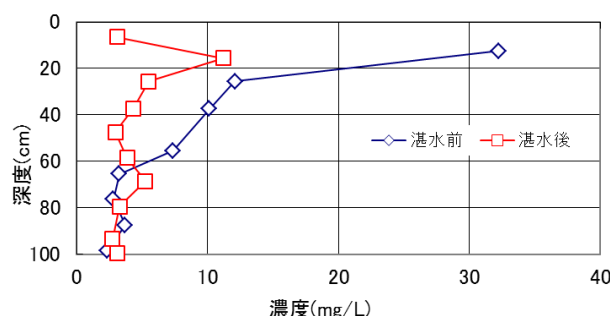


図-24 湛水前後の窒素濃度分布(メロン)

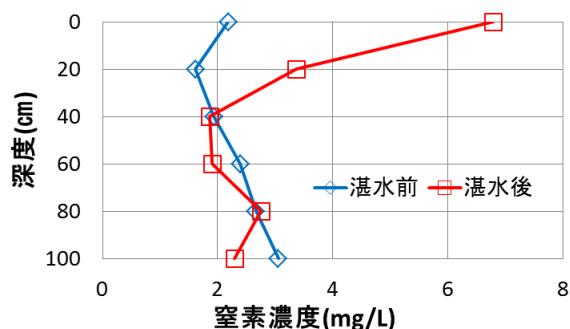


図-25 湛水前後の窒素濃度分布(小麦)

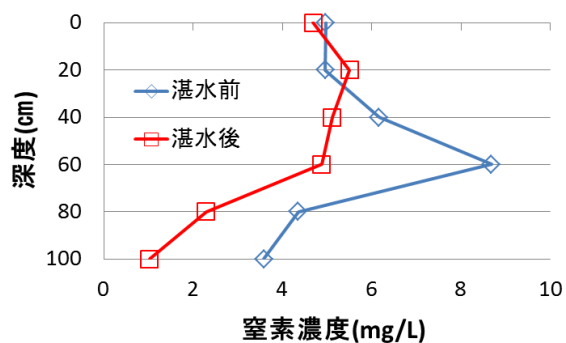


図-26 湛水前後の窒素濃度分布(人参)

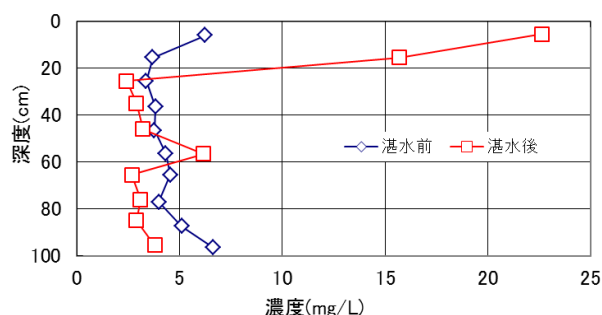


図-27 湛水前後の窒素濃度分布(スイートコーン)

表-2 各代表種の単位面積当たりの溶脱量

分類	代表種	単位面積当たりの溶脱量(kg/m <sup>2</sup> )
飼料作物	イタリアン	0.01322
果物	メロン	0.00340
雑穀類	小麦	0.00016
根菜類	人参	0.00133
野菜類	スイートコーン	0.00026

る。したがって、深度30cmまでのデータを使用せず、30cmより深い部分の土壌中の窒素を対象として窒素量を計算し、窒素溶脱量の計算を行う。また、図-23の飼料作物であるイタリアンは耕起を行わなかったため、湛水しても圃場に水が溜まることなく湛水期間が終了した。そのため、湛水後の観測ができなかった。そこで、他の代表種の湛水後、圃場の30cm~100cmの窒素量を計算してみると、一か月以上経過した圃場下部の窒素量はほとんど変わらなかったことからイタリアンの圃場でも同様とし、平均値を用いて計算することとした。このようにして計算した湛水田の湛水前後で溶脱した単位面積当たりの窒素の量は表-2のようになった。

湛水田からの浸透によって溶脱した窒素の量と浸透水



表-3 全窒素溶脱量、浸透水の窒素濃度の計算結果

分類	湛水面積 (m <sup>2</sup> )	単位面積当たりの窒 素溶脱量(kg/m <sup>2</sup> )	全窒素溶脱量 (kg)	涵養量 (m <sup>3</sup> )	窒素濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	窒素濃度 (mg/L)
根菜類	1,283,333	0.01322	1,700.4	8,507,300	0.00020	0.20
果物類	28,216	0.00340	95.9	78,134	0.00123	1.23
雑穀類	1,352,004	0.00016	219.9	7,224,480	0.00003	0.03
飼料作物	870,269	0.00133	11,508.5	3,303,495	0.00348	3.48
野菜類	150,870	0.00026	38.9	886,500	0.00004	0.04
合計	3,684,692		13,563.7	19,999,909	0.00068	0.68

に含まれる窒素濃度の計算を行う。2011年の湛水事業のデータを使用する。湛水事業を開始するに当たり各圃場の一筆地ごとの日浸透高さが求められているので各圃場の面積と日浸透高さ、湛水した日数などのデータから、分類ごとの面積、涵養量を求めることができる。全窒素の溶脱量は湛水面積に湛水面積当たりの窒素溶脱量を掛ければ、全窒素溶脱量が計算される。この全窒素溶脱量を涵養量で割ることによって窒素濃度が計算される。表-3はこれらの計算を行った結果である。表-3の結果を見ると分かるように、根菜類、雑穀類、野菜類の窒素濃度は灌漑水の窒素濃度が図-21から0.5mg/L程度であるから、灌漑水より低く、負荷量としても低いと考えられる。果物類は1.23mg/Lとやや高く、飼料作物は3.48mg/Lと最も高い値になっている。これらの作物は与える肥料が多いため窒素負荷も高くなっていると考えられる。しかし、合計の窒素濃度は0.68mg/Lとそれほど高い値ではなく、湛水事業による硝酸性窒素汚染の程度は低いと考えられる。これは、全窒素溶脱量が約13,000kgに対する涵養量が約2,000万m<sup>3</sup>と多いことが原因である。10a当たりの窒素溶脱量を分類ごとにみると、最も高いのが飼料作物で132.2kg/10a、果物類が34kg/10a、次に根菜類で13.3kg/10a、平均で38.6kg/10aとなっている。雑穀類や野菜類の窒素濃度が灌漑水の濃度よりも低く、負荷量としても低いことが考えられる。したがって、湛水事業による窒素汚染の可能性は低いことがうかがえる。もし同じ条件ならば、浸透量の少ない畑作による窒素汚染の可能性が高いと考えられる。

## 6. 結論

本研究では、熊本地域白川中流域の農地で実施されている湛水事業による硝酸性窒素汚染の負荷を検討するために、湛水事業による地下水涵養効果について過去の研究実績を基に説明し、湛水事業に参加している農家から

の湛水実施状況報告書、過去に実施した湛水田の一筆地ごとの日浸透速度を用いて涵養量を推定した。そして、15の湛水田で深度1mまでの不攪乱土壌の採取し、湛水前の作物種別に簡易土壌養分分析試験により測定した湛水前後の圃場直下の窒素の残留量と涵養量によって湛水事業による窒素溶脱が地下水の硝酸性窒素汚染に影響しているかどうかを検証した。その結果、飼料作物や果物類は軽微ではあるが影響を及ぼす可能性があるが、雑穀類、根菜類、野菜類の窒素濃度が灌漑水の濃度よりも低く、負荷量としても低いことが考えられる。また、全体で見ると、全窒素溶脱量が多量の涵養量によって希釈され、湛水事業による硝酸性窒素汚染への負荷はごく軽微であるという結論を得た。地下水の硝酸性窒素汚染の主たる部分は、単位面積当たりの涵養量が少ない畑作による可能性が高いことが推測される。

## 謝辞

本研究を行うに当たり、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金(平成23年度~25年度)、基盤研究(C)、課題番号23560651、「農地の営農と湛水事業による地下水の硝酸性窒素汚染に関する研究」の補助をいただいた。また、研究を推進するに当たり、熊本県、熊本市には地下水位その他のデータを供給していただいた。ここに記して、謝意を表す。

## 参考文献

- (1) 宮本昇、柴崎達雄、高橋一、畠山昭、山本荘毅、阿蘇火山西麓台地の水理地質、地質学雑誌、第68巻、第800号、pp.282-292、1962.
- (2) 中山 洋、古澤 二、荒牧昭二郎(熊本地盤研究会)、熊本周辺の地質断面図、2010.
- (3) 熊本県・熊本市、平成13年度熊本地域地下水調査報告書、2001.

(4) 花尻新也、市川勉、熊本地域の白川中流域の減反田による湛水事業の地下水位上昇への効果について、東海大学産業工学部紀要、Vol. 2 , pp. 59-66、2009.

(5) 熊本県、熊本地域硝酸性窒素削減計画、平成17年3月.

(6) 熊本市、第二次熊本市硝酸性窒素削減計画、平成22年3月.

(7) 松岡憲吾、波田善夫、パックテストによる簡易土壌養分分析法、Naturaliste、No. 12, pp. 33-40、2008.