

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 12 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560651

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Study on Nitrate Nitrogen Contamination of Groundwater by Farming and the Ponding water in Farmland

研究代表者

市川 勉 (ICHIKAWA, Tsutomu)

東海大学・熊本教養教育センター・教授

研究者番号：00119645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、熊本地下水域の涵養域における湛水事業の効果評価、涵養域における地下水涵養量の評価、湛水前後の土壌に含まれる窒素量の観測による窒素負荷の評価、流出部における湧水量の変化と湧水中に含まれる硝酸性窒素の変動の評価を対象として実施した。

その結果、10年間の下流の湧水の変化は一時的に増加したものの2008年以降は上昇傾向に歯止めがかかり、その後はほぼ一定になっている。また、湛水前の作物別に湛水事業を実施した圃場に残留している窒素量を求めるために深度1mまでの不攪乱試料を採取し、浸透水の窒素濃度を推定したところ、湛水事業による地下水の硝酸性窒素汚染の可能性は低いことがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this research, it is carried out that the evaluation of the evaluation of effect to groundwater recharge by ponding water in farmland without no making rice, nitrogen loading by observation of the amount of nitrogen concentration of soil before and after ponding in farmland, and change of the amount of spring water and evaluation of change of the nitrate nitrogen concentration in spring water. As the results, I can get following results. In change of the amount of spring water from 2004 to 2013, the amount of spring water rose till 2008 and after that became almost fixed. This is based on the slow increase of the amount of groundwater recharge by ponding water in the farmland and the reduction of a paddy field. Since nitrate nitrogen concentration was low compared with the amount of recharge to underground, then it is understood that nitrate nitrogen contamination of groundwater by ponding is little influence.

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：地下水涵養 湧水 湛水 硝酸性窒素汚染 営農

1. 研究開始当初の背景

本研究の対象地域である熊本地域は熊本市を中心とした11の市町村、面積約1000km²、人口約100万人のほぼすべての上水道水源を地下水に依存するわが国で最大の地域である。この地域の地下水使用量は年間2億m³近くに上り、健全な地下水循環を維持することはこの地域の持続的な発展を期す上で必要条件である。しかし、研究代表者を中心とする地下水循環の研究によって、地下水の涵養源が阿蘇西麓台地部(白川中流域)に存在する日量100mmに達する高い減水深を有する農地であり、開発による農地の減少と水稲作付け調整政策による水田の減少によって、水収支が悪化し、長期的な低落傾向を示すことが明らかになった。そこで、熊本県、熊本市を中心とした行政では、2004年度から当面10年間、補助金を支出し、営農の一環として転作田に湛水事業を開始した。これはわが国で初めての試みであり、全国の注目を浴び、この取り組みを含む地下水循環の管理を実施した熊本市は日本水大賞、国連命の水「水管理部門」の最高賞も受賞している。

2. 研究の目的

湛水事業には地下水を使用する企業も参加しており、地域的な広がりを見せている。そこで、湛水事業による地下水涵養の効果を行った結果、水田減少を補っており、2008年までは地下水位の上昇、下流の湧水の上昇が見られ、その効果が見られた。一方で、農家は経済的事情から水稲の作付けを取りやめ、減反に移行し、湛水事業に参加する傾向が助長され、減反率が湛水事業開始以後50%を超えている。そのため、この湛水事業と畑作による栄養塩類の地下への流出が懸念されている。本研究はこの減反田を利用した地下水涵養事業による硝酸性窒素汚染の現状を的確に把握し、湛水事業による汚染の状況の評価することにある。

3. 研究の方法

研究代表者のこれまでの研究で、熊本地域地下水が長期低落傾向にあったが、減反田における水張りによる湛水事業によって、年々、地下水位が上昇し、下流の水前寺・江津湖の湧水量も回復しつつあり、熊本地域地下水循環が改善されつつあることがわかってきた。また、湛水事業によって、2008年度で地下水位を2m程度押し上げる効果があったことがわかった。しかし、湛水事業の導入期間中の2004年から2008年で、白川中流域の水田面積は5%減少していることや、農業経営の問題から、水稲を作付けするより、減反に応じて、湛水事業に参加するほうが経営上有利になることから、白川中流域の減反率は2008年度では52.5%と突出していることがわかった。さらに、水稲を作ることによって、裏作である小麦や冬野菜の栽培時に撒いた肥

料によって農地の窒素が稲による大量吸収で減少していたものが、減反で水田の代わりに畑を作るために、栄養塩類が地下水へ溶出、農業を介在とする汚染の最大の問題である硝酸性窒素汚染が進行し、下流側の上水用取水井戸における濃度が年々上昇していることがわかってきた。湛水事業がこの硝酸態窒素汚染に寄与しているかどうか不安視されている面がある。そのために、本研究では、

- (1) 下流側の江津湖の湧水量と湧出水に含まれる栄養塩類の年間を通じた調査を行い、
- (2) 上流の白川中流域農地の湛水事業による地下水涵養量を把握すると共に、各湛水田における湛水前後の深度1mまでの栄養塩類(窒素、リン)の溶出試験による定量的な観測によって、地下水への浸出量を把握する。
- (3) 熊本県・熊本市の地下水流動シミュレーション結果からの地下水流動速度を利用して、栄養塩類の下流への流下状況を推定し、
- (4) 湛水事業による栄養塩類の汚染状況への影響を評価する。
- (5) これらのデータを用いて、畑への施肥の状況データを併せ、硝酸性窒素汚染の低減の対策を確立する。

4. 研究成果

(1) 江津湖の湧水量と硝酸性窒素濃度の変化

下流部の熊本市神水、砂取地区にある湧水湖の江津湖において、14地点の流量観測結果から水収支法によって求めた1992年から2013年までの毎月の江津湖の湧水量の変動を図-1に示した。図中には各区間のトレンド

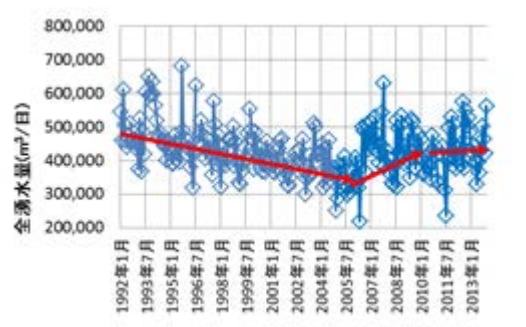


図-1 江津湖の湧水量の変動

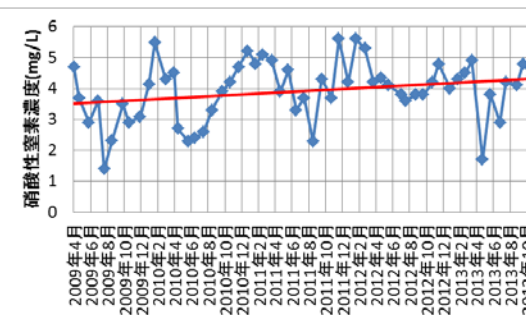


図-2 江津湖湧水中の硝酸性窒素濃度の変化

線を記入している。2004年に白川中流域で湛水事業が開始され、2005年～2008年ごろまで上昇傾向にあったが、その後横ばい状態になっていることがわかる。

一方、湧水中に含まれる硝酸性窒素濃度の変化を図-2に示す。この図を見ると分かるように、硝酸性窒素濃度は2009年から2010年末にかけて上昇傾向にあったものが、2011年以降は4mg/L周辺で推移している。硝酸性窒素は高い濃度を維持している。

(2) 白川中流域の湛水事業の推移と推定涵養量およびその効果

図-3は湛水事業が開始された2004年から2013年まで10年間の白川中流域の水稲作付面積と湛水面積、飼料用稲及び米、水稲作付可能な全面積の変化である。この図を見ると、湛水事業開始時の2004年には水稲作付面積は水稲作付可能な全面積1,283haの52.9%にあたる679.2haで水稲を作付した。しかし、年々減少し2013年には、全面積1,214haのうちの35.5%にしかならない430.7haの農地でしか水稲が作付されなかった。一方で転作された圃場で湛水する面積は、2008年までは順調に増加したがそれ以降はほぼ横ばいの380～395haにとどまっている。2010年から導入された飼料用稲・米の面積は約200haまで伸びてきている。したがって、稲の作付による地下水涵養量の割合が減少してきていることを示している。水稲の作付による全作付期間の平均全浸透高さは約7,500mmと見積もられるので、すべての圃場で水稲を作付すると約9,000万m³もの地下水涵養量が見込めるが、実際には図-3に示したように転作が進み、その結果、推定地下水涵養量は図-4に示したような結果になった。2004年当初、水田が約

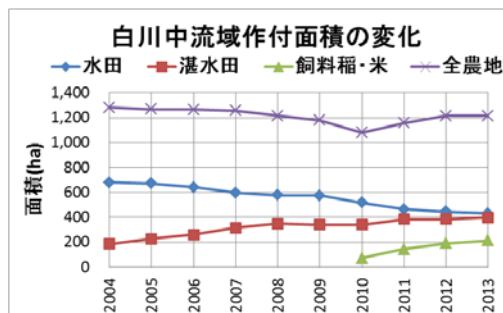


図-3 白川中流域の作付と湛水面積の推移

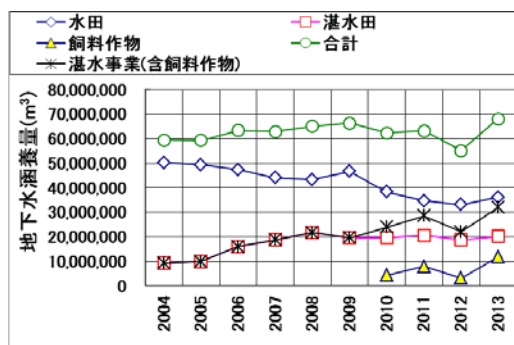


図-4 白川中流域農地における水稲作付期間の推定涵養量の変化

5,000万m³、湛水田が約1,000万m³、合計約6,000万m³の涵養量が、6,500万から7,000万m³の間を推移している。もし、飼料用稲・米が作付されなかったら6,000万m³程度を推移していることになる。

湛水事業開始後の地下水位の変化を見ると、低下していた地下水位は、図-5、図-6のように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。

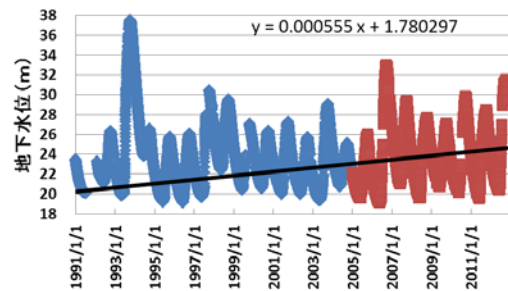


図-5 菊陽地点地下水位変化 (2012年まで)

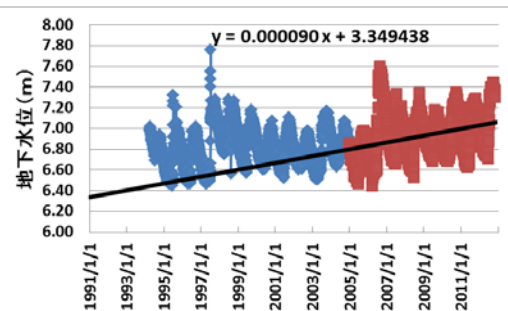


図-6 水前寺地下水位変化 (2012年まで)

一方、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。その結果、図-7、図-8の結果を得た。図-7は、1992年から2011年における各年の各要因別地下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位上昇高さは3.5～4m、湛水事業による地下水位上昇高さは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-8は横軸に地下水位上昇期間の降雨量、縦軸に各要因の地下水位上昇高さで示したグラフである。この図から、地下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位上昇が一定程度補充されており、地下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7,500 mm（平均湛水期間110日）、湛水田が約5,500 mm（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。

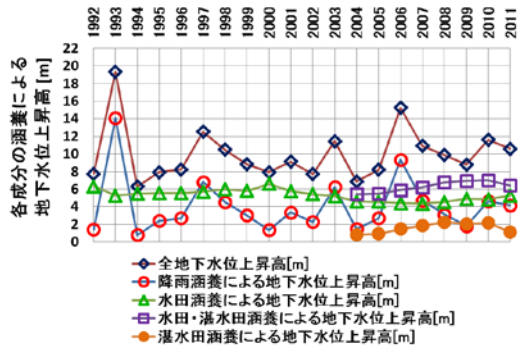


図-7 統計解析による1992年以降の水田、湛水田、降雨の各要素による地下水位上昇量

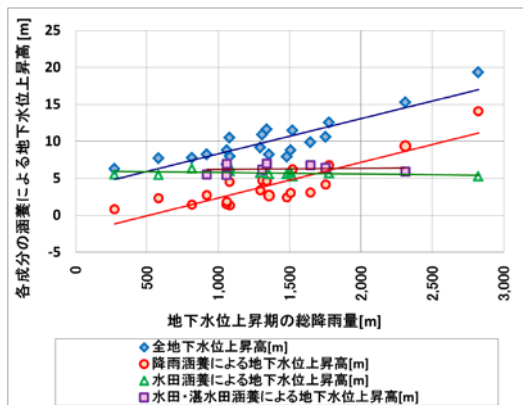


図-8 地下水位上昇期間における降雨と各要素の地下水位上昇量

(3) 湛水事業前後の圃場の窒素溶脱量の推定

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



写真-1 50 cm採水井

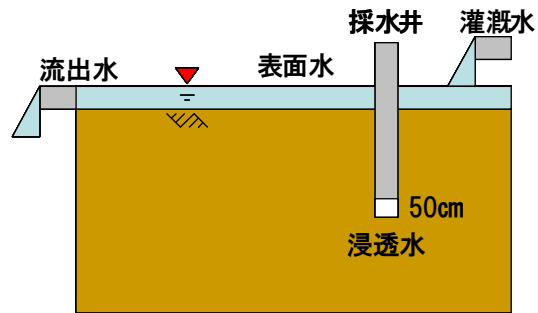


図-9 湛水田の採水の状況

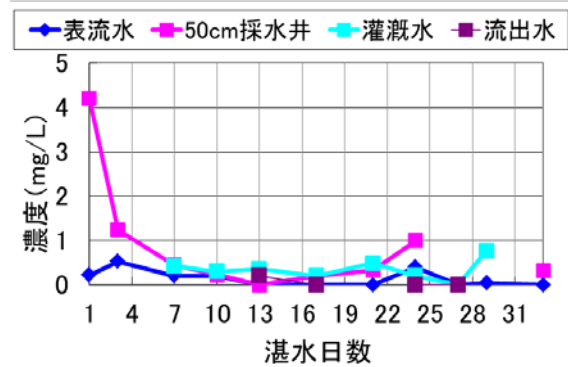


図-10 湛水開始後の各水の窒素濃度の変化

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50 cm（写真-1参照）と100 cm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、100 cm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-9に、採水した水の窒素濃度の変化を図-10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



写真-2 採土器による採土とカラム

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

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-2）、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によって土壌中の窒素量を測定し、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 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。

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。ただし、この計算では、地表面付近では湛水事業後の乾燥によって地表面に塩類集積が発生したため、深度 30 cm 以深、100 cm までの土壌を対象とした。

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

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 ²)
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

表-3 全窒素溶脱量、浸透水の窒素濃度の計算結果

分類	浸透窒素濃度 (kg/m ³)	窒素濃度 (mg/L)
根菜類	0.00020	0.20
果物類	0.00123	1.23
雑穀類	0.00003	0.03
飼料作物	0.00348	3.48
野菜類	0.00004	0.04
合計	0.00068	0.68

を求めることができる。全窒素の溶脱量は湛水面積に湛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-10 で 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 13,000 kg に対する涵養量が約 2,000 万 m³ 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 132.2 kg/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。また、湛水事業後 10 年経過し、白川中流域で湛水し、浸透した水が下流に湧出する時期

になるが、湧水の硝酸性窒素には大きな変化は見られない。今後の変化も見る必要がある。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。

(4) 研究のまとめ

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、その対策は適切な肥料管理にあると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

- ① Tsutomu ICHIKAWA ; NITRATE NITROGEN POLLUTION BY RECHARGE IN AGRICULTURAL AREA IN KUMAMOTO AREA, JAPAN、Internet Journal of Society for Social Management Systems、査読有、SMS13-5572、http://management.kochi-tech.ac.jp/ssms_papers/sms13-5572_6d1fb303b2f0c3d68eaf44af44bb2857.pdf, pp. 1-11, 2014.
- ② 市川勉 ; 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、東海大学紀要 基盤工学部・産業工学部、第1号、査読有、pp.7-16、2014.
- ③ 小島智佳、市川勉 ; 熊本市江津湖における地下水の湧水特性と硝酸性窒素汚染の進行状況について、東海大学産業工学部紀要、第4号、査読有、pp.51-58、2011.
- ④ 野口翔平、市川勉 ; 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、東海大学産業工学部紀要、査読有、第4号、pp.55-60、2011.
- ⑤ 熊谷幸恵、市川勉 ; 熊本市・江津湖における湧水中の窒素の年間変動と流下及び代表河川の窒素の変化について、東海大学産

業工学部紀要、査読有、第4号、pp.74-79、2011.

〔学会発表〕(計 件)

- ① Tsutomu ICHIKAWA ; Estimation of Groundwater Recovery by Recharge in the Agricultural Area, ICEBESE 2012 : International Conference on Environmental, Biological, Ecological Sciences, and Engineering, World Academy of Science, Engineering and Technology, Bali Indonesia, Nov., 24, 2012.
- ② 伊藤ゆい、市川勉 ; 熊本・白川中流域における減反田における湛水事業による地下水涵養の効果、日本地下水学会平成24年度秋季講演会、鹿児島大学農学部、平成24年9月28日.
- ③ 熊谷幸恵、市川勉 ; 熊本県・江津湖における窒素・リンの消費量、土木学会第66回年次学術講演会、平成23年9月8日、愛媛大学.
- ④ 野口翔平、市川勉 ; 熊本・白川中流域における湛水事業による土壌中の残留硝酸性窒素の地下への浸透について、土木学会第66回年次学術講演会、平成23年9月8日、愛媛大学.
- ⑤ 小島智佳、市川勉 ; 熊本・江津湖における硝酸性窒素濃度の挙動と湧水量の関係について、土木学会第66回年次学術講演会、平成23年9月8日、愛媛大学.

6. 研究組織

研究代表者

市川 勉 (ICHIKAWA, Tsutomu)

東海大学・熊本教養教育センター・教授

研究者番号：00119645