

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：平成 18 年～平成 20 年
課題番号：18560537
研究課題名（和文）
水循環型営農活動による地下水涵養の効果評価
研究課題名（英文）
Effective Evaluation of Groundwater Recharge by Water Cycle Type Agriculture Activity
研究代表者
市川 勉（ICHIKAWA TSUTOMU）
東海大学・産業工学部・環境保全学科・教授
研究者番号：00119645

## 研究成果の概要：

わが国で初めての試みである、減反田を利用した湛水事業による地下水涵養の効果評価を行うために、気象観測データ、地下水位を中心とした水文観測データの他に、水田・湛水田における減水深調査結果を元に、水田と湛水田における地下水涵養量を推定し、さらに、降雨涵養を推定することによって、湛水事業による地下水涵養の効果評価を行った。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,200,000	0	1,200,000
平成 19 年度	500,000	150,000	650,000
平成 20 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	360,000	2,760,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：水資源、水循環、環境調和型農林水産、水工水理学

## 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 13 の市町村、面積約 1000km<sup>2</sup>、人口約 97 万人の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 m<sup>3</sup> を上回り、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、全国の注目を浴びている。この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。しかし、湛水事業が地下水増強の効果があるかどうかは不透明である。

## 2. 研究の目的

湛水による地下水の増強の効果評価は水田の位置によって減水深が異なり、地下水への涵養量の評価、地下水上昇効果などの調

査・研究が必要である。本研究では、湛水による地下水涵養効果を評価し、地下水循環の健全化を図ることによって、永続的に地下水利用ができるシステムを構築することである。

### 3. 研究の方法

白川中流域における湛水事業による地下水涵養の効果を評価するために、以下の各調査を行った。

- 1) 白川中流域水田の減水深調査
  - 2) 白川中流域湛水田の減水深調査
  - 3) 熊本県・熊本市による地下水観測データの収集
  - 4) 白川中流域付近の地下水位の観測
  - 5) 白川中流域における雨量観測
  - 6) 下流部の江津湖における湧水量の観測
- これらの調査結果から、
- 7) 白川中流域の水田からの地下水涵養量の把握
  - 8) 湛水田による地下水涵養量の把握
  - 9) 地下水位変動との比較
  - 10) 湧水量変動との比較
  - 11) 降雨と地下水位上昇高の関係から湛水事業による地下水位上昇高への湛水事業の効果

について評価した。

### 4. 研究の結果

#### 4.1 水田・湛水田の日浸透速度分布

湛水事業による地下水の涵養量を定量的に評価するために、湛水田における地下へ浸透する速度、日浸透速度の分布を求めるために、77地点における日減水深の調査を行った。また、水田からの涵養を評価するために、24地点における水田の減水深を調査した(図4-1)。これらの観測結果からに水田と湛水田の日浸透速度の分布を求めた。図4-2に湛水田の日浸透速度分布を示した。



図4-1 湛水田・水田の減水深調査地点

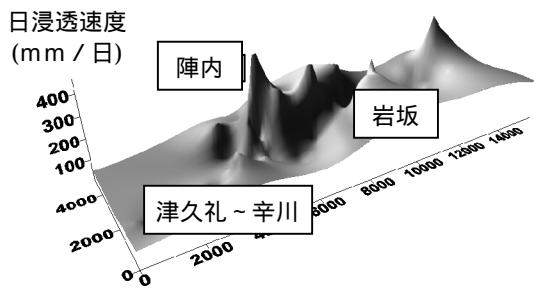


図4-2 湛水田の日浸透速度分布

#### 4.2 水田・湛水田からの地下水涵養量

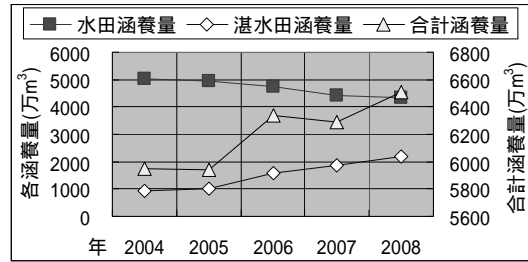


図4-3 湛水田と水田による地下水涵養量の推移

図4-3は、2004年から2008年の5年間にわたる湛水事業中に推定された地下水涵養量の推移である。図4-3から湛水田の地下水涵養量は年々増加しており、目標としている4000万m³の約半分の2170万m³まで到達していると評価できるが、水田による涵養量が年々低下し、5年間で約600万m³低下しているので、実質的には1500万m³程度の増加にとどまっている。

#### 4.3 江津湖の湧水量変動

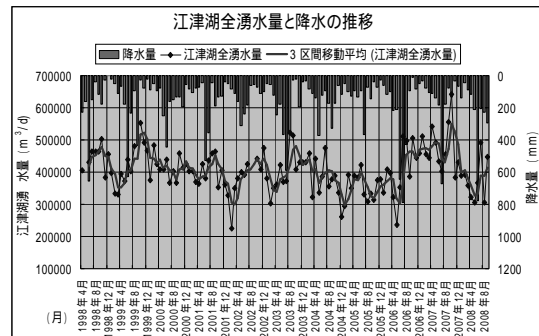


図4-4 江津湖における湧水量変動

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直近10年間の湧水量の変化を図4-4に示した。図4-4を見るとわかるように、2004年まで継続的に低下傾向を示していた湧水量は、2005年以降上昇傾向に転じていることがわかった。この上昇は、2006年の多雨と共に湛水事業の効果が現れていると考えられる。

#### 4.4 地下水位変動と湛水田による涵養効果の評価

熊本県・熊本市の地下水位観測データ(毎日の9時値)を収集した。また、空港の西側地点の深度100mの井戸の地下水位を独自に観測した。さらに、空港北側の白川中流域農地の中央部分で降水量を観測した。地下水位の観測位置は、図4-5に示した印の地点、白川中流域農地に位置する大津中島(大津と呼ぶ)、菊陽、日向東、日向西、長嶺、健軍、水前寺、江津と白川中流域から江津湖に至る地下水流動路に沿った観測位置とその流路のやや北側に位置する上南部、武蔵丘の10

地点である。これらの観測データを元に湛水事業の効果が地下水位変動にどのように影響を与えたかを検討した。

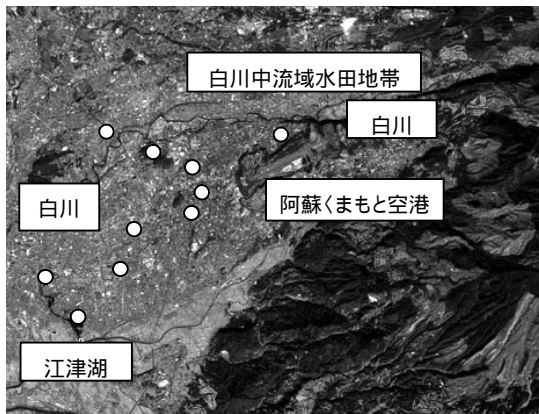


図 4-5 地下水位観測地点

図 4-5 に示した地下水位観測点のうち、大津 菊陽 日向西 長嶺 水前寺の地下水流向に沿った 5 地点を選んで示したものが、図 4-6 である。

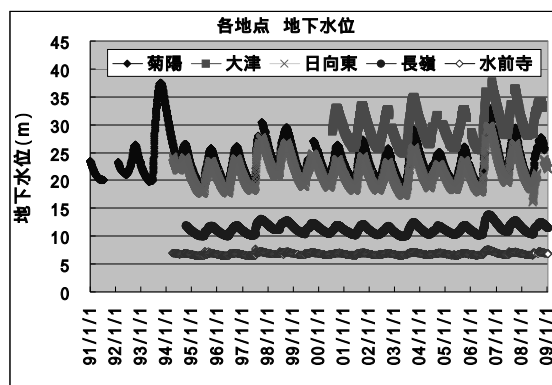


図 4-5 白川中流域 江津湖間の地下水位変化

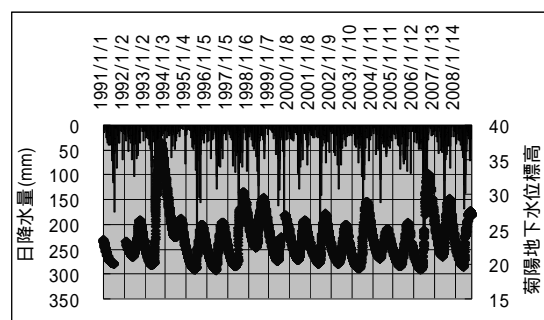


図 4-6 菊陽地下水位観測地点の地下水位変化と益城日降水量

図 4-5 を見ると、2005 年付近を境に地下水位が上昇しているように見える。そこで、これらの地下水位のうち、菊陽地点の地下水位変化を図 4-6 に示した。この菊陽地点の地下水位の各年における地下水位最低日と最高日との地下水位上昇期間の推移を見ると、

図 4-6 のようになり、湛水事業が開始された 2004 年以降、地下水位上昇期間が 20 日ほど増えていることがわかった。これは、湛水田による湛水が 5 月から実施されるため、それまで、水田の代掻きから始まった地下水位上昇期間が早まったことに起因するものと考えられる。また、地下水位上昇期間中の降水量と地下水位上昇高の関係を減反率をパラメータとして見ると、図 4-8 のようになった。

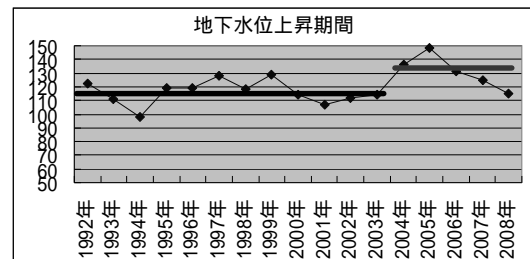


図 4-7 地下水位上昇期間の変化

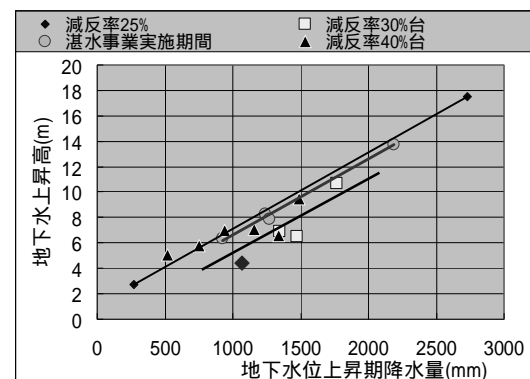


図 4-8 降水量と地下水位上昇高の関係

図 4-8 で、基準を減反率 25% の 1993、1994 年の両年にとって考えると、減反率 30% 台の 1995 年～1997 年は地下水の涵養高が約 2m 減少している。その後の減反率 40% の 1998 年～2003 年は約 1m の涵養高減、湛水事業が実施された 2005 年～2008 年は 1993、1994 年とほとんど変わらない涵養高を示した。2005 年～2008 年の減反率が 50% であることを考慮すると、この涵養高は減反率に換算して 20% 以上に相当することを示している。

次に、湛水事業による地下水位上昇への効果を評価するために、地下水位の変化を用いて統計的に処理して、降雨と水田・湛水田による地下水位上昇高を分離する試みを行った。

まず、地下水位が低下する期間(11月から翌年4月)は、渇水期であり、月降水量が 100mm に満たないことに着目し、地下水位標高ごとの日地下水低下量を計算することとした。各年の地下水位低下期間の地下水位変化から、地下水位標高ごとの地下水位低下量が二次放物線で表すことができることに注目し、地下水位標高と日地下水低下量の関係を図

4-9のように評価した。

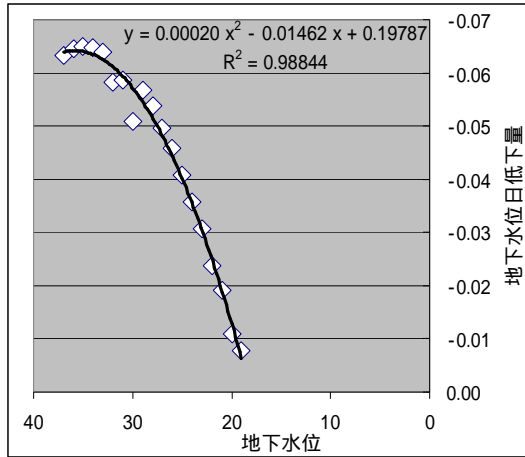


図 4-9 地下水水位日低下量と地下水水位の関係

この関係から、もし、地下水水位上昇期に全ての涵養が無ければ、地下水水位はそのまま低下するので、実際の地下水水位上昇高は、この地下水水位低下曲線と実測の地下水水位変化の差になるとした。2003年(湛水事業がない年)と2006年(湛水事業実施年)の状況を表したのが、図4-10である。

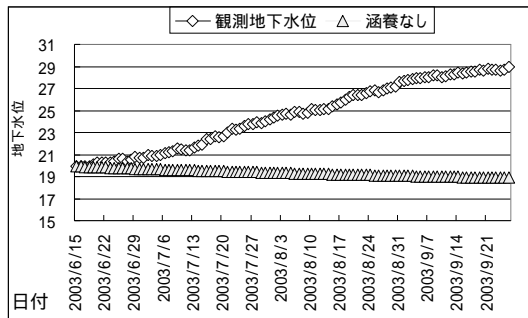


図 4-10 A) 地下水水位上昇期における実測地下水水位と涵養がない場合の計算地下水水位の比較、2003

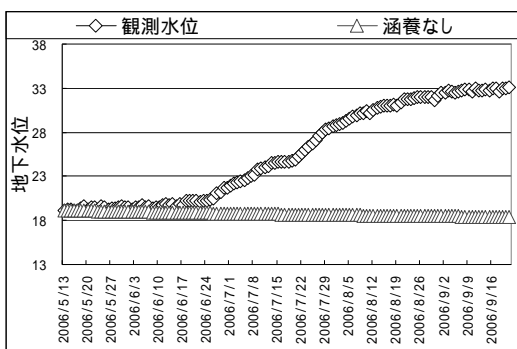


図 4-10 B) 地下水水位上昇期における実測地下水水位と涵養がない場合の計算地下水水位の比較、2006

降雨、水田、湛水田のおおのこの涵養による地下水水位の上昇量を個別に求めるのは、収集データの不足により、不可能である。しかし、図4-10の地下水水位低下曲線の推定により、全涵養による全地下水水位上昇高は、図

4-10のように推定できた。全地下水水位上昇高のうち、降雨の地下水涵養による日地下水水位上昇高は、連続降雨のような場合、日降雨が異なるため、一日の降雨が一日の地下水水位上昇にならず複雑な地下水水位上昇を示す。一方、水田の涵養による地下水水位上昇は、湛水面積が一定しており、降雨が無ければ、地下水水位上昇は一定していると考えられる。地下水水位の最低日からの累加地下水水位上昇高と累加降雨量の関係を見てみると、累加降雨量に変化がない無降雨期間に地下水水位が上昇していることから、無降雨時の地下水水位上昇が水田と湛水事業によるものであると仮定し、水田及び湛水田による地下水涵養による地下水水位の上昇高を推定した。湛水田の面積は水田よりかなり少なく、また、その面積変化は主に6月～7月の中干し前に集中しているため、水稻を作付けする代掻き前の湛水田の涵養による地下水水位上昇高は、2004年～2008年までの地下水水位上昇データのうちの無降雨の日の日平均地下水水位上昇高とし、それ以降は、各年の地下水水位上昇データで、連続無降雨期間の平均日地下水水位上昇高とした。これらのデータを利用して、地下水水位の上昇過程を図に示したのが、図4-11である。これによって、降雨の涵養による地下水水位上昇高、水田や湛水田の涵養による地下水水位上昇高を区別できる。

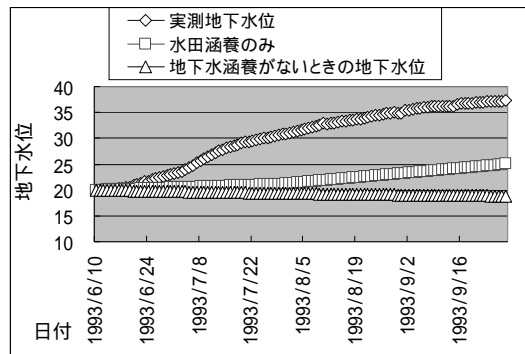


図 4-11 A) 地下水水位上昇期における実測地下水水位と涵養がない場合の計算地下水水位の比較、2003

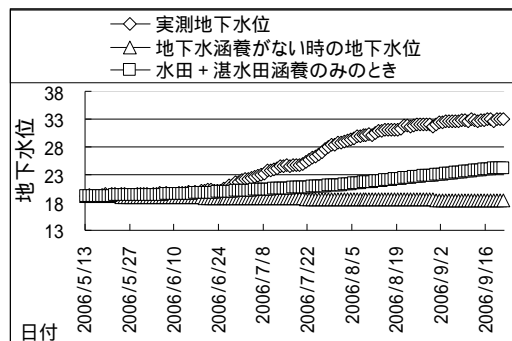


図 4-11 B) 地下水水位上昇期における実測地下水水位と涵養がない場合の計算地下水水位の比較、2006

実測地下水位、涵養のない場合の地下水位、水田及び湛水田の涵養による地下水位上昇の計算から、各年の地下水位上昇高のうち、水田及び湛水田、降雨の涵養による地下水位上昇高が推定できる。各要因の涵養による地下水位上昇高の結果をグラフ化すると図4-12、4-13のようになる。

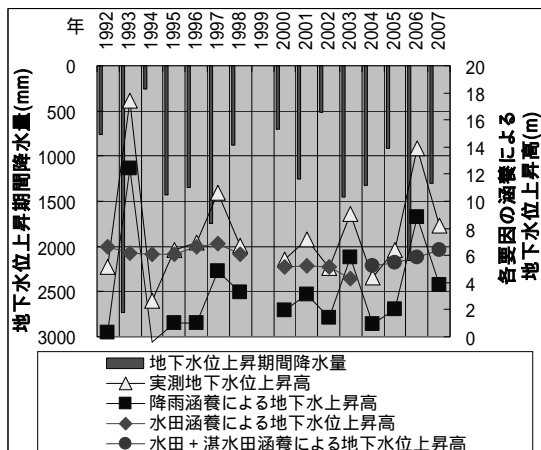


図 4-12 各要因の涵養による地下水位上昇高

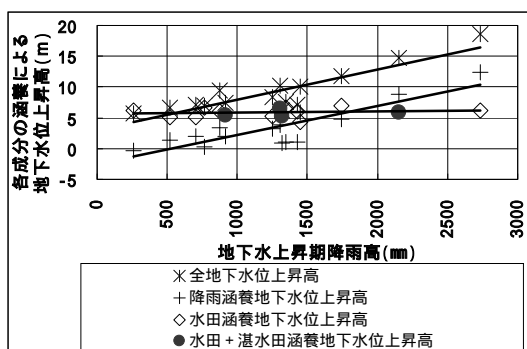


図 4-13 期間降雨量に対する各涵養成分ごとの地下水位上昇高

図4-12を見るとわかるように、地下水位上昇期間の降水量が多い年は、降雨の涵養による地下水位上昇が多く、特に、1500mmを超えると、10mを超える地下水位上昇高になる。しかし、地下水位上昇期間の降水量が少なくなると、地下水位上昇高は少なくなり、500mmに満たない場合、極端に少なくなる。水田の涵養による地下水位上昇高は、1990年代は、安定して6m以上を維持していたが、水田の減少、減反率の上昇に伴って減少の一途をたどり、2000年代になると5mを下回るほどになり、2003年には4.27mと大幅に低下してきた。その後、湛水事業が始まり、2007年には合計で6.43mと2mほど上昇し、1990年代前半の地下水位上昇高に回復してきた。このため、湛水事業の効果は、水田減少、(減反率上昇)を補っていると考えられる。しかし、湛水田の面積は、限界近くに達しており、更なる地下水位

回復のためには、新たな湛水田の設置が必要である。

一方、図4-13は、地下水位上昇期間の降水量に対する全地下水位上昇高、降雨の涵養による地下水位上昇高、水田の涵養による地下水位上昇高、2004年以降の水田と湛水田の涵養による地下水位上昇高を示したものである。この図から、地下水位上昇期間の降水量が1800mmにならないと水田や湛水田の涵養による地下水位上昇高を降雨涵養による地下水位上昇高を上回ることができないことがわかる。5月～9月の平均積算降水量は、1552.4mmとほぼ、水田や湛水田の涵養による地下水位上昇高に匹敵する量があるが、降水は年によって大きく変動しているため、渇水年には地下水涵養量が不足し、地下水位が大きく低下する場合もある。

また、降水量と地下水位上昇高の関係を地下水の流動による地下水位低下を考慮した実質地下水位上昇高で関係をとってみると、図4-14のようになる。

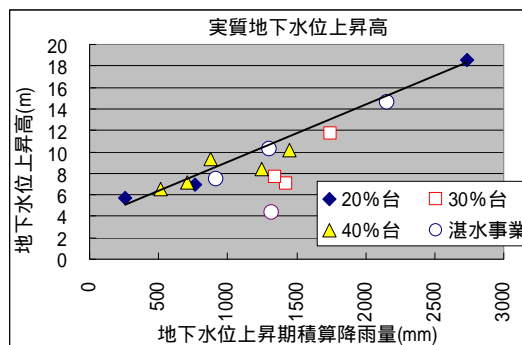


図 4-14 地下水位上昇期積算降雨量に対する積算実質地下水位上昇高

図4-14から1993年と1994年の減反率20%台の2年間と1992年の3地点の回帰直線を基準として考えると、減反率30%台、40%台に比べ、かなり高く、1992～1994年のラインに近いレベルの積算実質地下水位上昇高になっている。降水量が1000mm以下の場合には降雨による地下水上昇はほとんどないので、減反率による差は多くない。降水量1000mm以上では、明らかに湛水事業を実施した年は高い地下水位上昇高を示している。このことから、湛水事業による地下水位上昇への効果は認められる。

#### 4.5 まとめ

湛水事業による地下水位上昇への効果評価を白川中流域地下水プールの下流側の観測点である菊陽地下水位観測所の1992年～2008年の18年間の地下水位日データと益城観測所の降雨データを用いて統計的解析をもとに実施した。その結果、以下の結論を得た。

1. 1993年から2007年の各年の地下水位デ



一夕から、地下水位日低下高の推定を行い、地下水位低下高は地下水位を変数とした2次方程式で表わすことができることを示し、地下水涵養がない場合の地下水位低下曲線を示した。

2. 降雨により地下水位上昇高は大きく左右されるため、降雨減少が地下水位低下を引き起こす要因となる。すなわち、地下水位の上昇の変化は降雨による涵養が大きく影響を与え得ると言える。
3. 減反率が増える現状の中で、その穴を埋める湛水田は必要かつ重要な役割を果たしており、水田と湛水田による地下水涵養による地下水位上昇高は湛水田の増加とともに増えつつあり、2007年には約2m地下水位を上昇させた。
4. 地下水上昇は降雨による涵養に依存しているため、渇水年においては、湛水事業や水田の作付けによる涵養のみとなる。その量は、平年並みの降雨涵養より高い2m高い6mに達する。

この湛水事業による地下水涵養の評価によって、湛水事業による地下水位上昇高がおよそ2mであることが推定された。農家の経済的理由、すなわち、米の価格の暴落、補助金の不足など、農業を取り巻く状況の厳しさが一段と増す中で、水田が減少していきにしたがって、湛水事業による地下水涵養を増やす必要がある。しかし、水張りによる湛水事業の地下水涵養高は、水田の地下水涵養高に比べ低い値になっており、湛水事業を継続すればするほど、減反田の水張りによる湛水事業の地下水涵養効果は、増加するが、全体の涵養量は湛水事業による地下水涵養量の増加ほど伸びない。これは、水田による地下水涵養量が減少するからである。単位面積当たりの地下水涵養量は水田のほうが大きいからである。したがって、現在の地域の湛水事業だけでは、熊本県・市の目標である地下水涵養量4,000万 $m^3$ の達成は非常に難しいと言える。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6件)

1. 今辻 銀二、市川 勉、荒牧 昭二郎；熊本水前寺・江津湖における湧水の変動とそのメカニズムについて、東海大学産業工学部紀要、第1号、p.46-52、2008.

2. 武森 雄二、市川 勉；白川中流域農地における湛水による地下水涵養の効果評価について、東海大学産業工学部紀要、第1号、pp.53-59、2008.
3. 花尻 信也、市川 勉；熊本地域地下水の涵養機構と白川中流域の湛水事業の効果について、東海大学産業工学部紀要、第1号、pp.60-66、2008.
4. 吉井 貴紀、市川 勉；熊本地下水涵養域の林地、畑地における浸透能力について、東海大学産業工学部紀要、第1号、pp.67-73、2008.
5. 武森雄志・市川勉；白川中流域農地における湛水による地下水涵養について、九州東海大学紀要工学部、第43巻、pp.1-8、2007.
6. 今辻銀二・市川勉；熊本江津湖における湧水量、地下水位の変化について、九州東海大学紀要工学部、第43巻、pp.9-18、2007.

[学会発表](計 2件)

1. 今辻 銀二、市川 勉；荒牧 昭二郎；水前寺・江津湖における湧水メカニズムとその変動、土木学会第63回年次学術講演会、平成20年9月、仙台市東北大学、2008.
2. 武森 雄二、市川 勉；白川中流域農地における湛水による地下水涵養について、土木学会第63回年次学術講演会、平成20年9月、仙台市東北大学、2008.

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

特になし。

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

市川 勉(ICHIKAWA TSUTOMU)  
東海大学・産業工学部・教授  
研究者番号:00119645

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし