

熊本地域の白川中流域における減反田による 湛水事業の地下水位上昇への効果について

花尻 新也*、市川 勉**

On Efficiency in Groundwater Level Rise of the Tamarimizu Business Under the
Ground by Reduction of the Acreage Under Cultivation Field in the Farmland located
in the KUMAMOTO Middle SHIRA-River Area for Groundwater Recharge

By

Shinya HANAJIRI Tsutomu ICHIKAWA

(Received: 19 OCTOBER 2009, Accepted: 22 FEBRUARY 2010)

Abstract

The middle SHIRA River area is recharging area of KUMAMOTO groundwater basin which area keeps much water in the layers constructed by eruption of the ASO volcano. In usual, recharge is caused by rainfall through ground surface and keeping water in paddy field. The percentages of groundwater recharge in KUMAMOTO area which have 1000km² of area is over 40% through permeation paddy field. But, recently, paddy field in the middle SHIRA River area change to urban area and farmers don't make rise in paddy field because of the politics and economics. Then groundwater decrease continuously year by year because of lack of recharge through the paddy field. KUMAMOTO-city has planned a measure for recovery of groundwater in this area by recharge water by keeping water in no-use paddy field from 2004. The authors reported about the estimation of recharge rate through paddy field and no-paddy field in previous paper on 2008.

In this paper, the authors analyze groundwater level and rainfall data by statistical method for estimation of groundwater recharge through no-paddy field by setting up water, paddy field and rain in the farmland respectively. We report the groundwater recharge conditions by rain and setting up water in paddy field and no paddy field. As the results, we get the results that groundwater level is mainly rise up by rainfall water, but recharge through paddy field and no paddy field by setting up water rise up the groundwater level about 4m and 3m in 2008.

Key Word; Groundwater Recharge, Rainfall, Groundwater Level Change

1. はじめに

熊本県は1985年(昭和60年)環境省選定の昭和の

名水百選に「白川水源」、「轟水源」、「池山水源」、「菊池水源」の4箇所、更に2008年(平成20年)には環境省選定の平成の名水百選に「水前寺・江津湖湧水群」、「金峰山湧水群」、「南阿蘇村湧水群」、「六

* 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.1-1 白川中流域周辺地図

嘉湧水群・浮島」と昭和と同様で4箇所も選定された『水の都』である。この名水百選の選定にあたっては、各市町村から提出された名水を各都道府県が最大4件推薦するもので、その中で熊本県は昭和、平成と最大のそれぞれ4箇所選定されている。昭和の名水百選と平成の名水百選との重複はない。その熊本県には、菊池川、白川、緑川、球磨川の4本の1級河川が流れており、そのうち、熊本県のほぼ中央部を流れているのが白川である。白川は流域面積480km²、幹川流路延長74kmの1級河川である。古くから白川は豊かな水と自然を恵み、人々の生活・文化を育んできたことから、白川水系の治水・利水・環境保全の意義はきわめて大きいといわれている。また、大津町から菊陽町に位置する白川の中流域には、不透水性地層が欠落した非常に浸透性が高い地域があり、水道用水・工業用水の全量を地下水に依存している熊本地域に地下水涵養源として重要な位置を占めている (Fig.1-1)。この地域は、高遊原台地部の畑地や林地、草地からの降雨浸透、また、白川から7つの堰によって取水された河川水が灌漑用水として水田に供給された後、「ざる田」と呼ばれる高い減水深を持つ水田から大量に地下に浸透しているものと考えられている¹⁾。熊本地域は年間降雨量が2000mmを越える降雨の多い地域で、水資源賦存量が豊富であるが、都市化による農地面積の減少や継続的地下水利用、更に、Fig.1-2に示したように、白川中流域の水田の減反率上昇によって水稲作付面積が減少し、それに伴い地下水涵養量が減少している。そのため、地下水位低下および下流部の湧水量の減少が

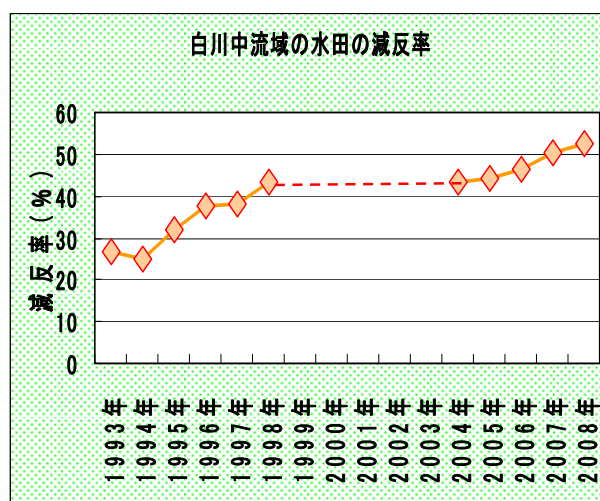


Fig.1-2 白川中流域の経年減反率

問題となってきている²⁾。このことから、持続的地下水利用への不安が懸念され、2004年から中流域の減反田で湛水事業が開始されている。この湛水事業による地下水涵養への評価は量的には評価できるが、地下水位の変化にどのように寄与しているかの判定が困難である。なぜならば、地下水位の変化は、複数の要因による涵養の成分によって変化するのであり、その成分毎に評価する必要があるからである。その成分とは、地表面からの降雨浸透、水田、湛水田からの浸透である。著者らは、これまで各年の地下水位低下期における実測地下水位に対する地下水位日低下高の推定を行い、低下曲線を求め、その低下曲線から地下水位上昇期における実測の地下水位上昇高を降雨による地下水位上昇高、水田・湛水田による地下水位上昇高に成分分離

し、湛水田の効果により地下水位が回復傾向にあることを示した。しかし、減反田における湛水からの地下水涵養による地下水位上昇に関しては、水田と切り離して地下水涵養効果を評価するに至らなかった³⁾。

本研究では、2004年から減反田で湛水事業が行われている湛水田と水田による地下水位上昇高を成分分離し、湛水事業の効果を評価することを目的としたものである。そのため、地下水位の低下時期のデータから地下水流動による地下水位が低下曲線の推定、無降雨時や地下水位にほとんど影響の及ばない小降雨時の地下水位上昇データから水田と湛水田および降雨による地下水涵養による地下水位上昇高を推定、湛水事業開始後5年間の水田と湛水田の地下水涵養量の推定を行い、その比率によって、湛水事業による地下水位上昇高を推定し、湛水事業が地下水位上昇に及ぼす効果の評価を行った。

2. 降雨量と地下水位データ

熊本地域の白川中流域から湧出地点である水前寺・江津湖までの地質はFig 2-1、2-2のようになっている。この地質断面図より、熊本地域の地下水は熊本市の東側の境界である小山山付近まで基盤岩層がせり上がっており、この付近まで地下水プールが存在していることが分かっている。そこで、Fig.2-3に示しているように、熊本県並びに熊本市によって観測されている中の11地点の地下水位観測点の内、今回はその中でも涵養地であり白川中流域直下で地下水プールの境界部分に位置する「菊陽観測点」の地下水位データと、その菊陽の近辺に位置し、気象庁で観測されている益城地点の日降雨量データを用いた。Fig.2-3には、地下水の流動方向も矢印で示している。



Fig.2-1 地質断面図のためのボーリング地点

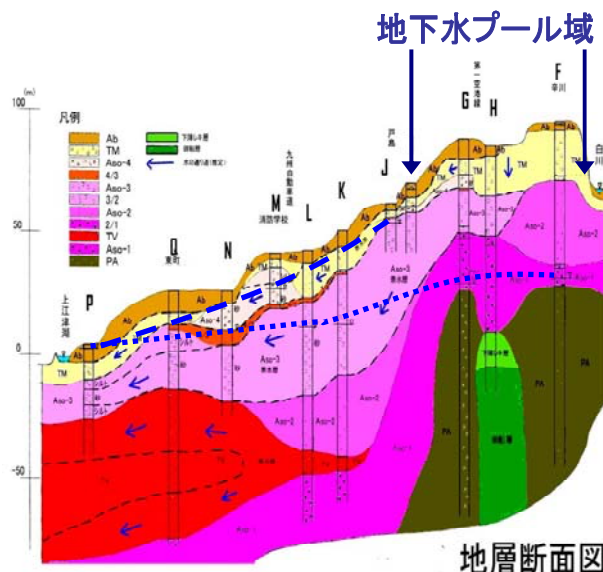


Fig.2-2 白川中流域から湧出口までの地質断面図（東海大荒牧原図）

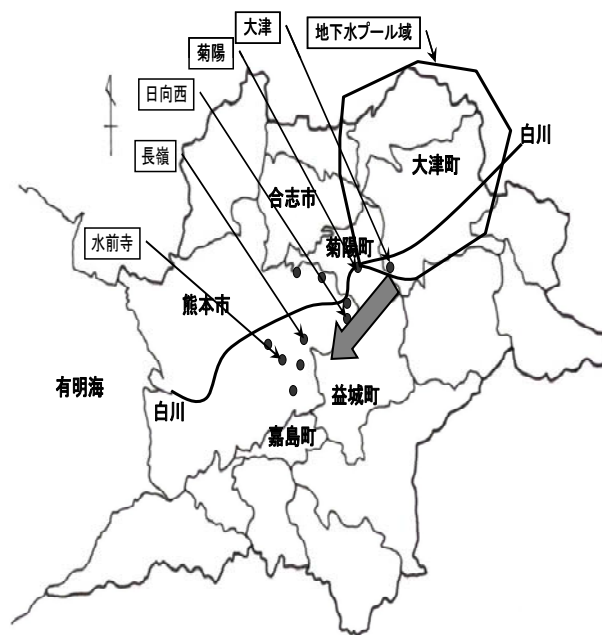


Fig.2-3 地下水位観測地点

熊本県は九州山地の西側に位置しているため、東シナ海から入ってくる暖かく湿った空気が入りやすく、大雨や集中豪雨が発生しやすい地域である。特に梅雨時期の雨は多く、6・7月の2ヶ月間に年間降雨量の約4割もの雨が降る。Fig.2.4には1991年から2007年の熊本市と空港付近の益城の年間降雨量を示した。1994年は渇水年であり、1993年、1997年、2003年、2006年、2008年は比較的降雨の量が多い年であったことがわかる。年間降雨量の平均（1991年から2008年）は熊本市で約1971mm、益城では約2134mmである。

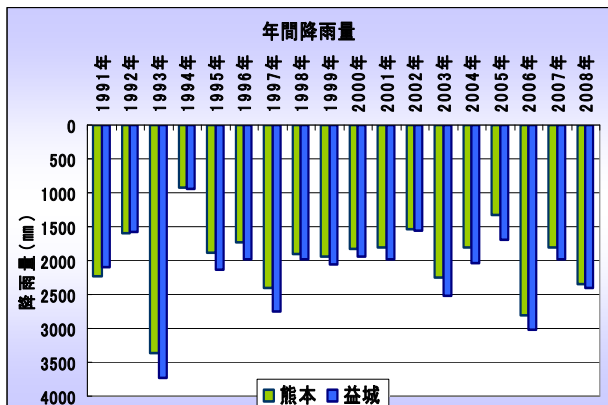


Fig.2-4 熊本、益城地点の年間降雨量

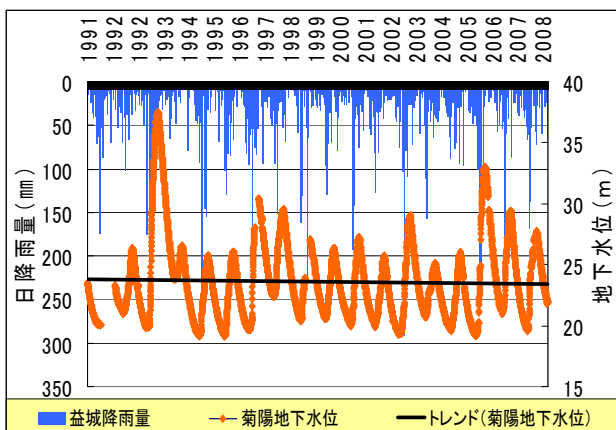


Fig.2-5 菊陽地下水位と益城降雨量の経年変化

菊陽観測点の地下水位と益城観測地点の日降雨量の経年変化を表したものが Fig.2-5 である。この地下水位変動の構成要素は、地下水流動による地下水位低下と地表面からの浸透による地下水位上昇である。ここで言う地表面からの浸透とは、2004 年までは降雨と水田、2004 年以降は降雨と水田の他に湛水田に湛水された水の浸透である。

3. 湛水事業開始以降の各成分の分離

著者らは、これまでに、地下水位低下期の降雨が月平均で 100mm に満たないことから、実測の地下水位ごとの日地下水位低下高の推定式を求め、これを地下水位上昇開始日から適用して地下水上昇高を計算した。さらに、無効時の地下水位上昇データから、期間を田植え前の湛水事業のみの期間、田植え後の中干し前の期間、中干し後の期間と 3 つの期間に別けて日地下水位上昇高さを Table3-1 のように推定した。これらの値を基に、降雨の無い水田と湛水田の涵養のみの場合の地下水位変動を推定した。その結果は、Fig.3-1 のよう

になった³⁾。

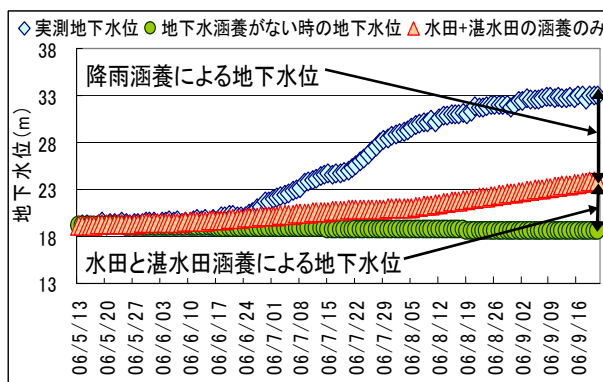


Fig.3-1 湛水事業前後の涵養の各成分による地下水位上昇高の推定結果

Table.3-1 1992 年～2008 年水田及び湛水田による地下水位上昇高の推定

年	期間1	期間2	期間3
	田植え前 (湛水) (m)	中干し前(m)	中干し後 (m)
1992		0.036	0.073
1993		0.036	0.073
1994		0.036	0.073
1995		0.035	0.070
1996		0.035	0.070
1997		0.035	0.070
1998		0.035	0.070
1998		0.035	0.070
1999		0.030	0.055
2000		0.030	0.055
2001		0.030	0.055
2002		0.030	0.055
2003		0.028	0.048
2004	0.020	0.035	0.050
2005	0.020	0.035	0.055
2006	0.020	0.038	0.065
2007	0.020	0.038	0.065
2008	0.020	0.038	0.065

しかし、地下水位上昇高を降雨涵養によるものと水田・湛水田涵養によるものの 2 つに分離することができたが、水田と湛水田を一まとめにして考慮していたために湛水田での涵養量が地下水位上昇にどれだけ影響しているか、地下水位上昇のどれだけの割合を示しているかが判断できなかった (Fig.3-1)。そのため、今回は減反率 (作付率)、白川中流域における水田・湛水田の涵養量の推移を考慮した上で成分を分離し、水田と湛水田の地下水位上昇高の推定を試みた。

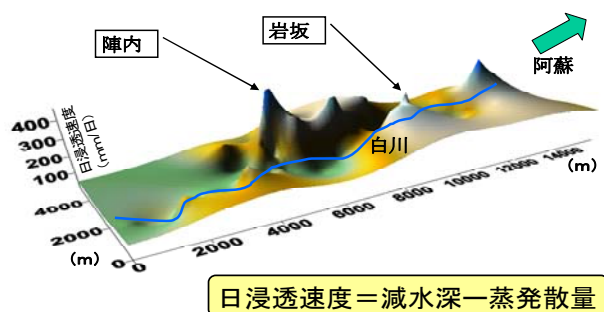
3.1 水田及び湛水田の涵養量の評価⁴⁾

武森らは、涵養量を評価する方法として、水田法を用いた。2004年～2008年で湛水田81ヶ所、水田24ヶ所で現地減水深調査を実施し、日浸透速度の分布を求めた。試験方法は、水田及び湛水田の時間的変化を測定し、その勾配を求めることによって単位時間当たりの水位低下が求まり、これを日換算して表したものである。式(3.1)は水位低下量と時間の式である。この水位低下量 h は実測から求まるもので、時間 t の関数となる。

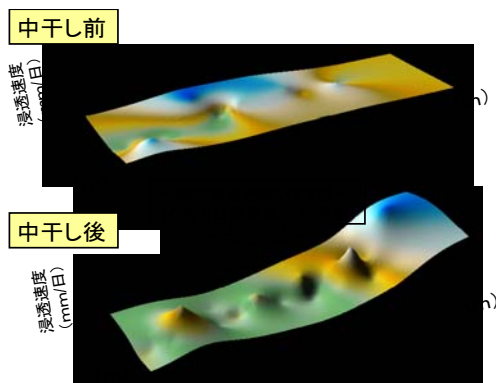
$$h = a \times t \quad (3.1)$$

ここで、 h ：水位低下量、 a ：直線の勾配、 t ：経過時間である。この日水位低下量から Thornthwaite 法による日可能蒸発散量を差し引いたものを日浸透速度とし、この日浸透速度によって地下水涵養量を推定した。

Fig. 3-2は、湛水田と水田の日浸透速度の分布図である。図から、湛水田の日浸透速度は、白川中流域上流部(阿蘇側)に高い部分が存在し、高いところでは、300mm/日に達する部分がある。一方、水田は、代掻き後から中干しの前までは、全体的に30～60mm/日と低い日浸透速度であるが、中干し後は、高い日浸透速度に変わる。これは、中干しによって、水田に深い亀裂が発生し、これを通して水が浸透するためである。



(a) 湛水田



(b) 水田

Fig.3-2 水田及び湛水田の日浸透速度

Table.3-2 2004年～2008年白川中流域における涵養量の推移

年	水田(万m ³)	湛水田(万m ³)	合計(万m ³)
2004	5,030	920	5,950
2005	4,939	1,000	5,939
2006	4,739	1,598	6,337
2007	4,413	1,879	6,292
2008	4,335	2,155	6,491

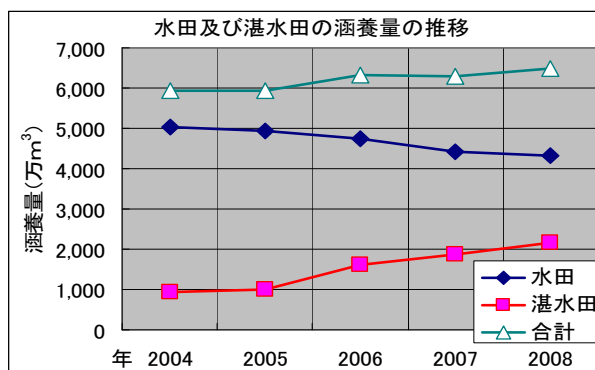


Fig.3-3 2004年～2008年水田及び湛水田の涵養量の推移

これらの日浸透速度と水田と湛水田の湛水日数をもとに地下水涵養量を推定したものが Table3-2 と Fig.3-3 である。

これらの結果から、湛水事業が開始された2004年の水田の涵養量は5000万m³に達しており、湛水事業が進行していくうちに、年々減少し、2008年には4300万m³まで減少している。

4. 地下水涵養成分ごとの地下水位上昇高

熊本地域で地下水を涵養している水田は、この白川中流域が最大であり、その他の水田は小規模なので、水田の涵養による地下水位の上昇もこの地域が高いものとする。そのため、地下水位の上昇は、降雨と Table3-2 に示した水田と湛水田による涵養によって行われたと考えた。これらの関係を基に、Table4-1を作成した。

Table4-1は、涵養の各成分による地下水位上昇高と減反率及び水田・湛水田の占有率を示したものである。これは、実測の地下水位上昇高、地下水位低下高より算出した全地下水位上昇高と、減反率の比率によって算出した水田上昇高の値から各成分の上昇高及び水田・湛水田の占有率を示したものである。

Fig.4-1は、各年の降雨高、涵養の各成分の地下水位上昇高を示したものである。Fig.4-1を見ると、降雨涵養による地下水位上昇高によって実測の地下水位上昇高が左右されることが読み取れる。一方で、水田と湛

水田による涵養による地下水位上昇高は降雨量によらず安定しているため、地下水を安定的に補給していると言えるが、1992年から2003年にかけて水田の涵養による地下水位上昇高が減反率増加のため年々減少している。2004年以降からは湛水事業が開始された年であるため、湛水型事業による地下水位上昇高となっており、その湛水事業の効果もあり上昇傾向にある。しかし、湛水事業のみの地下水位上昇高を見ることができないため、水田による地下水位上昇高と減反率（作付率）との関係から成分の分離を行い、Table4-1に示した。Table.4-1及びFig.4-1を併せて見ると、水田の涵養による地下水位上昇高は1997年から減反率の増加に伴い

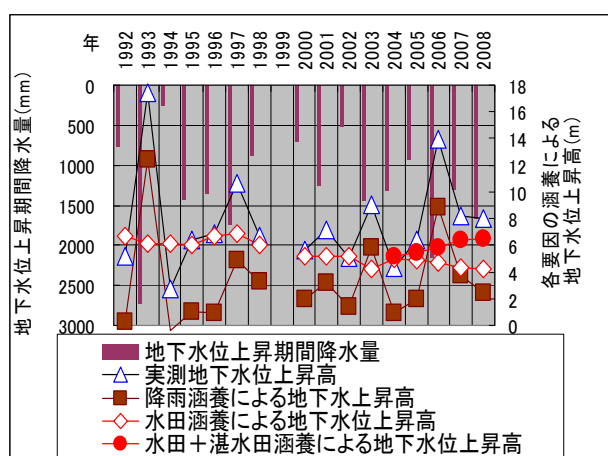


Fig.4-1 各年の降雨高、涵養の各成分による地下水位上昇高

による合計の地下水位上昇高を見ると、湛水事業が開始された2004年以降から上昇傾向に転じている。水田のみの地下水位上昇高と水田と湛水田による地下水位上昇高との差が湛水事業による効果である。この量は2008年で約2.2mと推定される。

Fig.4-2は、各年の地下水位上昇期における降雨量と地下水位上昇高を全上昇高、降雨涵養による地下水位上昇高、水田及び湛水田涵養による地下水位上昇高を示したものである。図から、水田と湛水田の涵養による地下水位上昇高は、降雨に影響を受けることなくほぼ一定の値を示している。そのため、Fig.4-1と同様に降雨涵養による地下水位上昇高によって全地下水位上昇高が左右されることがわかる。降雨による涵養が地下水位上昇に大きく関与していることが言える。また、1992年から2007年の月別平均降雨量の6月から9月の降雨量が約1280mmであることから、この値を平年値とすると、Fig.4-2から、降雨涵養による地下水位上昇高は平年で約4m、水田と湛水田の涵養による地下水位上昇高は降雨にかかわらず約6mと推定することができる。したがって、平年並みの降雨で水田と湛水田涵養が降雨の涵養より2m程度高いことになる。そして、降雨量が少なくなると降雨涵養による地下水位上昇高は大幅に低下する。特に、地下水位上昇期の降水量が500mmを下回る渇水の状態になると、降雨涵養による地下水位上昇はほとんどなくなることがわかる。これは、地下水位上昇にとって、水田は基本的な涵養要因であり、降雨が毎年の上昇高の変化を支配することを示している。

年々減少している。しかし、水田と湛水田両方の涵養

Table.4-1 各成分の涵養による地下水位上昇高 (m) と減反率及び水田・湛水田の占有率 (%)

年	期間		期間 日数	上昇期間 降水量	最高地 下水位	最低地 下水位	実測地下 水位上昇 高	全地下水 位上昇高	地下水位 低下高	降雨涵 養高	水田上 昇高	水田+湛水 田上昇高	水田+湛水 田の占有率	減反率	湛水田に よる上昇 高
	地下水位上 昇開始日	最高地下 水位日													
1992	6月10日	10月5日	118	766.1	26.30	21.12	5.18	6.98	1.80	0.32	6.65		95.4		
1993	6月10日	9月28日	111	2732.0	37.41	19.97	17.44	18.56	1.12	12.42	6.14		33.1	26.6	
1994	6月11日	9月28日	110	257.5	26.52	23.83	2.69	5.74	3.05	-0.37	6.11		106.4	24.9	
1995	6月10日	9月30日	113	1427.0	25.59	19.22	6.37	7.09	0.72	1.04	6.06		85.4	32.1	
1996	6月7日	10月7日	123	1344.5	26.05	19.13	6.92	7.63	0.71	0.98	6.65		87.2	37.7	
1997	6月6日	10月10日	126	1744.5	30.41	19.75	10.66	11.75	1.09	4.86	6.90		58.7	38.0	
1998	6月10日	9月30日	113	877.5	29.54	22.82	6.72	9.37	2.65	3.31	6.06		64.7	43.2	
1999	地下水位データ不足														43.3
2000	6月10日	9月30日	113	706.0	26.28	20.61	5.67	7.15	1.48	1.99	5.16		72.2	43.3	
2001	6月10日	10月1日	114	1250.5	27.28	20.13	7.15	8.38	1.23	3.16	5.22		62.3	43.3	
2002	6月14日	10月2日	111	518.5	25.74	20.63	5.11	6.58	1.47	1.43	5.15		78.3	43.3	
2003	6月15日	9月26日	104	1450.0	29.00	19.91	9.09	10.13	1.04	5.86	4.27		42.1	43.3	
2004	5月13日	10月5日	145	1319.0	25.08	20.73	4.35	6.16	1.81	0.96	4.95	5.20	84.5	43.4	0.25
2005	5月18日	10月2日	137	919.0	26.03	19.61	6.42	7.48	1.06	2.00	4.89	5.48	73.3	44.1	0.59
2006	5月13日	9月21日	131	2153.0	33.06	19.15	13.91	14.66	0.75	8.82	4.69	5.84	39.8	46.4	1.15
2007	5月16日	10月1日	138	1303.0	29.42	21.23	8.19	10.25	2.06	3.82	4.36	6.43	62.8	50.3	2.07
2008	5月19日	10月11日	145	1661.0	27.72	19.70	8.02	8.91	0.89	2.42	4.29	6.50	72.9	52.5	2.21

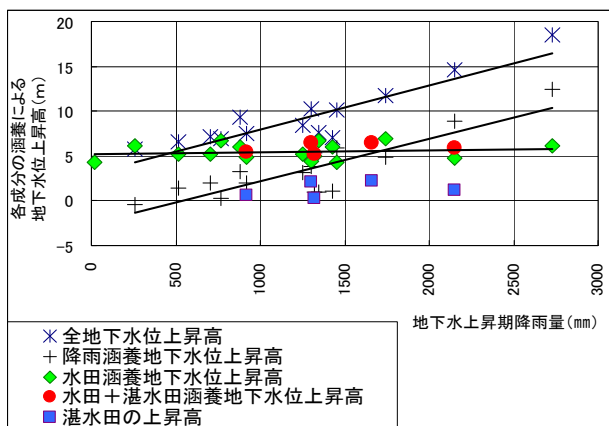


Fig.4-2 涵養の各成分による地下水位上昇高

5. 水田及び湛水田の涵養が地下水位上昇高に占める割合

Fig.5-1 は、全地下水位上昇高に占める降雨と水田および湛水田の割合を示したものである。1999 年は地下水位データの不足のため示すことができなかったが、1993 年は降雨涵養による地下水位上昇高の占める割合は 70%を超えている。この年の減反率は 26.6%と水田による涵養が少ないわけではなく、年間降雨量 3739mm、地下水上昇期の降雨量 2732mm と非常に雨の多い年であったためである。その影響により 1993 年の菊陽観測点の地下水位は 37m を超える値を観測した。

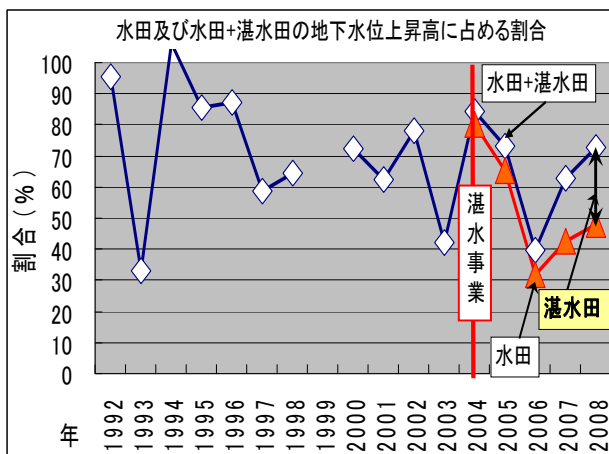


Fig.5-1 涵養に占める降雨と水田+湛水田の割合

Fig.5-1 のグラフ全体をしてみると、全地下水位上昇高の中の水田・湛水田による地下水位上昇高がほとんどの年で 60%以上を占めている。このことから、水田・湛水田が地下水位上昇へ大きく寄与していることが言える。

1994 年は、1993 年とは違って年間降雨量が 945.5mm、地下水上昇期の降雨量 257.5 mm と、ほとんど降雨のない年であった。そのため各涵養要因による地下水位上昇高の割合が逆転している。この年の減反率は 24.9%と

1993 年よりも少ない割合である。つまり、これは降雨涵養による地下水位の上昇がなく、地下水涵養が水田のみに依存していることを意味している。

2003 年と 2006 年を見ると、2003 年の地下水位上昇期における降雨量は 1619 mm で、水田における割合は 42.1%、2006 年の地下水位上昇期における降雨量は 2072 mm で、水田における割合地下水位上昇高の割合は 32.0%となっている。しかし、2006 年の水田と湛水田による地下水位上昇での割合は 39.8%であることから、湛水事業による効果が伺える。この時の地下水位は少しではあるが上昇傾向を示している。

2008 年は年間降雨量が 2397 mm、地下水位上昇期間における降雨量が 1661 mm と平年に比べて多い年である。しかし、地下水位上昇高に占める水田及び湛水田の割合が 70%を超える値となっている。この要因としては、湛水事業に参加する農家が増加し、涵養量が増加したことによるものと推定される。

6. 結論

熊本地域では近年、年々と都市化などの人間活動の活発化や減反田の増加などにより水前寺や江津湖などの湧水量の減少や地下水位の低下が深刻化してきている。このままではいずれ、全て地下水で生活している熊本地域の市民に水が供給されない事態に陥る。それだけではなく、地下水枯渇や沿岸域の地盤沈下などの地下水障害を引き起こしかねない。そのため、地下水を保全するために 2004 年から中流域の減反田で水を張り、地下に涵養することによる湛水事業が行われてきている。地下水で生活している熊本地域では地下水の量の把握、地下水の挙動の把握などが非常に重要であることから、本研究では、2004 年から減反田で湛水事業が行われている湛水田と水田による地下水位上昇高に分離し、湛水事業のみの効果について評価を行い、得られた結論を以下に述べる。

1. 白川中流域の水田における水田による減水深調査から、日浸透速度は中干しの前後で大幅に変化する地域といえる。
2. 減反率が増える現状において、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、湛水事業によって 2007 年には約 2m、2008 年には約 2.2m と少しずつではあるが増加傾向にあり、それが地下水位を上昇させている。
3. 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による地下水位涵養高約 4m より 2m 高い、6m に達する。

4. 地下水位上昇期において降雨量が 500mm を下回る渇水の状態になると、降雨涵養による地下水位上昇はほとんどなくなる。

本研究は、独立行政法人日本学術振興会、「科学研究費補助金、一般研究（C）、課題番号 18560537；水循環型営農活動による地下水涵養の効果評価」の補助を受けて行なった。

参考文献

- 1) 熊本県報告書
- 2) 市川勉：2008 年度（平成 20 年度）白川中流域湛水効果評価報告書
- 3) 花尻新也、市川勉；「熊本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」（2008）pp. 60-66
- 4) 武森雄志、市川勉：東海大学紀要産業工学部 第 1 号「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」（2008）pp. 53-59