

水田を涵養域に持つ地域の地下水保全について

PRESERVATION OF GROUNDWATER BASIN RECHARGING BY PADDY FIELD

桐山貴文¹、市川勉²
Takafumi KIRIYAMA¹, Tsutomu ICHIKAWA²

¹正会員 北斗理研(株) (〒181-0026 東京都東村山市多摩湖町 1-25-2)

²正会員 工博 九州東海大学工学部都市工学科 (〒862-8652 熊本市渡鹿 9-1-1)

Whole of people living in KUMAMOTO area are using groundwater for drinking water. The amount of groundwater for drinking use is over 200 million cubic meter per year. Main recharging area of this groundwater basin is farm area which exists in middle SHIRA-River. But recently, groundwater level shows a yearly decrease. In this paper, the authors shows the change of groundwater level in KUMAMOTO groundwater basin and discuss the cause of this decrease of groundwater level. As the results, we show that decrease of groundwater level is mainly caused by decreasing of paddy field area. Moreover, we show the plan for recovering the groundwater and estimate the effect of this plan by field experiment.

Key Words: Groundwater, Water budget, Recharge

1. はじめに

熊本地域は熊本市を中心とする 16 市町村から構成されており、面積 1041km²、人口約 97 万人の地域である。この地域は古くから地下水を水源として用いており、年間の地下水取水量は 2 億 1 千万 m³ にのぼり、その規模ではわが国で第一を誇っている。この地域の地下水の調査は過去 30 年間にわたって行われ、その流動現象、涵養域、湧出点などの地下水循環を取り巻く環境については、比較的解明が進んでいる地域である^{1), 2)}。地下水位観測も 20 年以上継続して行われており、長期的な傾向もわかっている。

一方、地下水循環の出口である湧出部の湧水量については、1992 年から 10 年間で日量 10 万 m³ 以上の減少、地下水位の継続的低下が示されている³⁾。著者らは、これらの地下水循環量減少の原因は涵養量の低下にあるとし、その量的な評価、将来予測を行っている^{4), 5)}。しかし、涵養源とされた白川中流域の農地(大津町、菊陽町一帯に広がる水田地帯)についてはその涵養量の評価は単一の時期の評価がなされたのみで、涵養量の変化については行われていない。その後、これらの結果を踏まえ、涵養量増強の方策が提案され、2003 年にその一部の方策を試験的に実施した。本研究では、熊本地域地下水の将来予測の結果を踏まえ、涵養源である白川中流域の農地における涵養量の地下水涵養量全体に対する割合を評価すると共に、熊本地域地下水の継続的利用に関する方策と必要な規模を検討したものである。

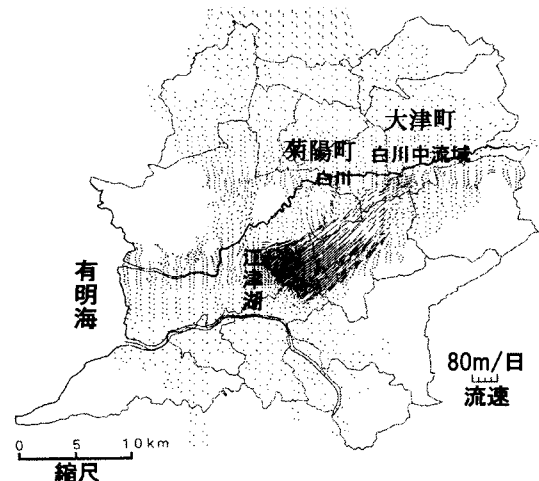


図-1 熊本地域、第二帯水層の地下水の流れ
(熊本県・市地下水総合調査報告書²⁾)

2. 熊本地域の地下水位と湧水の現況

熊本地域には、大きく分けて二つの帯水層があり、このうち下の第二帯水層が主たる帯水層である。その流れは白川の中流域から発し、熊本市南部でほぼ止まっている。これは、白川中流域直下に地下水貯留部(地下水プールと称されている)があり、そこから地下水の流れが南西方向に向かい図-1に示したように非常に速い流れが江津湖まで続いている。この流れは、熊本地域内のほかの流れより卓越しており、地下に流れの帯のようなものを形成している。これは、熊本県・市地下水総合調査で行われた準三次元地下水シミュレーションの結果であり、あくま

表-2 各年における地下水循環の数値と減反率

年	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
涵養量	719.7	640.2	993.2	526.1	685.4	675.7	774.6	661.1
流出量	731.7	656.6	934.2	597.4	669.1	686.5	760.3	686.5
収支	-12.0	-16.4	59.0	-71.3	16.3	-10.8	14.3	-25.4
年降水量	2222.5	1592.5	3369.1	920.5	1875.5	1736.5	2395	1905
減反率%	37.8	34.3	26.6	24.9	32.1	37.7	38.0	43.2

(涵養量、流出量、収支の単位は、百万 m^3 /年、年降水量は mm、減反率は%)

表-3 各年における水田涵養量とその寄与度

(涵養量；単位 m^3 /年)

年	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
年降水量 mm	2222.5	1592.5	3369.1	920.5	1875.5	1736.5	2395	1905
水田涵養量	110.43	105.2	117.44	120.16	108.72	99.76	99.28	90.96
水田以外	609.26	535	875.76	405.94	576.68	575.94	675.32	570.14
寄与度%	15.3	16.4	11.8	22.8	15.9	14.8	12.8	13.8

(農地面積は 1995 年～1998 年の菊陽・大津町の作付け率から推定し、減反率を考慮して平均減水深を 100mm/日として、湛水日 100 日で推定した。)

用いた。これらのデータを表-2 に示す。

表-3 は白川中流域の作付面積に平均減水深を 100mm/日として、100 日間湛水したときの地下水涵養量を計算し、そのときの全涵養量から水田涵養量を差し引き、白川中流域水田以外の涵養量を計算し、白川中流域の水田における涵養量の全涵養量への寄与度を示したものである。白川中流域の水田の寄与度は全体の 10～20%を占めるものであることがわかる。したがって、白川中流域水田による涵養は降水による涵養に付加されるものと考えられる。

図-5 は流出量と水田以外の涵養量を示したもので、この差を水田涵養量が上回れば水収支がプラスとなり、地下水位が上昇することになる。地下水位が上昇すれば流出が大きくなり水田涵養量が多く必要になりバランスする。図-5 では流出量、水田以外の涵養量共に減少傾向にある。これは、地下水循環量が減少していることを示している。両者の差が広がっていることは、水田以外の涵養量が減少し、水田からの必要な涵養量が増加していることを示している。また、熊本の降水量 1996mm をもとに、白川中流域の水田以外の涵養量を推定し、地下水を維持するために必要な水田からの涵養量を推定したものを表-4 に示す。これらの計算の結果、平年並み降雨の場合の白川中流域の必要水田かん養量は約 1 億 m^3 /年となり、この量が確保されれば、水収支は均衡して地下水は安定するはずである。これは、各水田の平均減水深を 100mm、平均湛水日数を 100 日とすると、水田の作付面積約 1000ha (減反率 41.2%) 分の涵養量になる。現況の作付面積は 1000ha を下回っており、地下水涵養には相当量の水田が必要になることがわかる。

図-6 は白川中流域の水田涵養量の推定値である。現状では水田の涵養量は約 8,500 万 m^3 /年弱(2002 年)であり、前述の計算値との差は約 1,500 万 m^3 /年の不足となる。しかし、現実的には、減反は白川中流

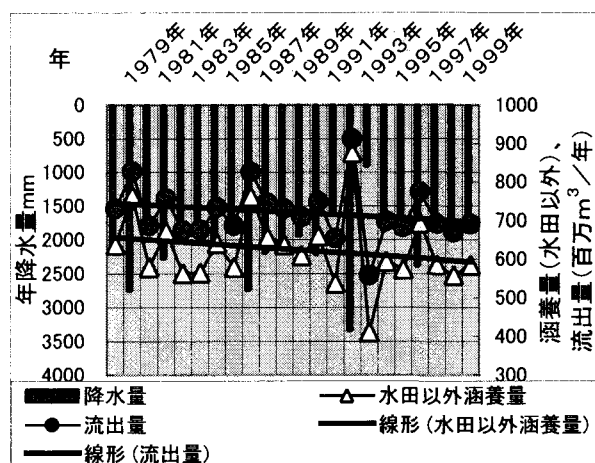


図-5 流出量と水田以外涵養量の年変化

表-4 降水量を平年並みとしたときの中流域水田以外の涵養量と流出量

(単位；百万 m^3 /年)

年降水量 (mm/年)	水田以外 涵養量	流出量	差し引き必要 水田涵養量
1996	615.61	714.40	98.79

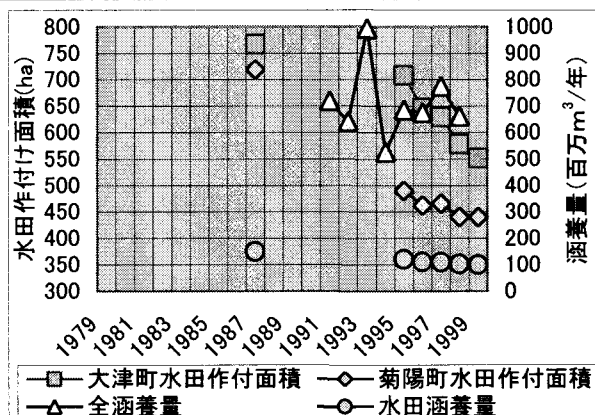


図-6 白川中流域水田涵養量の推定値

域だけではなく他の地区でも同様に進んでいる。また、都市開発によって農地減少が起きており、涵養量はさらに減少していると推定される。したがって、単純に 1,500 万 m^3 /年の涵養量を増やすというだけでは地下水は回復できない。さらに、気象変動によって、洪水年や渇水年が顕著になってきており、全体傾向として降水量減少も見えつつある。実際に 2002 年の年間降水量は 1,500 mm 台であり平年に 400mm 余り不足している。このため、水田以外の涵養量が 5 億 2,000 万 m^3 と大幅に不足し、流出量も 6 億 4,000 万 m^3 、水田からの涵養量は 1 億 2,000 万 m^3 が必要であった。しかし、2002 年の水田涵養量は 8,500 万 m^3 と 3,500 万 m^3 不足したと推定される。涵養量が増加するにしがって地下水位が上昇し、流出量も増えるので、その分の損失も考慮し、実際の必要涵養量はさらに増えると考えられる。

1930～1938 年と 1997 年の非農地（市街地や農地に利用されていない部分）の分布状況を写真地図から求めたものを図-7、図-8 に示す。また、1935 年から

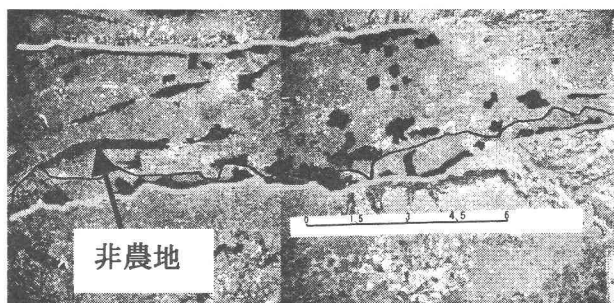


図-7 1935～1938年の白川中流域非農地の分布

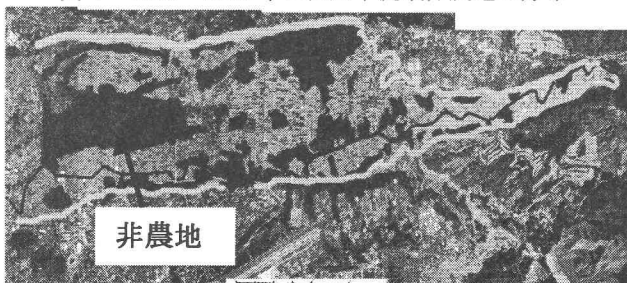


図-8 1997年の白川中流域非農地の分布

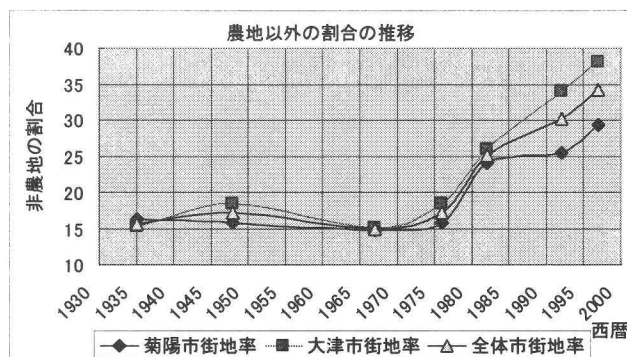


図-9 1935～1997年の白川中流域非農地の割合の変化

表-5 白川中流域農地からの現況の地下水涵養量

(単位面積: ha 涵養量単位: 万 m^3 /年)

	水田	畑地など	水田涵養	畑地涵養	合計涵養量
大津町	465	520	4805	690	
菊陽町	385	730	3978	968	
合計	850	1250	8783	1658	10442

表-6 1977年当時の白川中流域農地からの推定地下水涵養量

(単位面積: ha 涵養量単位: 万 m^3)

水田	畑地など	水田涵養	畑地涵養	合計涵養量
1700	800	19255	1061	20317

1997年までの写真地図から求めた非農地の割合の変化を図-9に示している。図-9から、1970年代後半から高度成長期に多くの農地が開発され、農地が減少してきたことがわかる。

白川中流域水田地帯の畑地のみを含めた耕作地を約2100haとして水田850ha、畑地ほか1250haの地下水涵養量の概算を計算してみると、表-5のようになる。この計算では、水田作付け期(6月から10月のうち100日分)には減水深－蒸発散量(約100mm/日)、その他の日は畑地で降水の1/3は蒸発し、残りの雨水が浸透するものとして計算した。

その結果、現況(2002年)で白川中流域の農地の涵養量は約1億 m^3 /年程度と推定される。

一方、最近では水田作付面積が最も多い時期は1977年頃である。今回計算の対象になっている白川中流域全体の農地で、1977年当時に耕作可能な農地約2500haのうち水田作付面積は1700ha、畑地などの水田以外の農地は約800haであることより、表-5と同様に計算すると、表-6のように水田涵養が約1億9000万 m^3 /年、さらに、水田以外の農地からの降雨涵養量1000万 m^3 /年を加えると、約2億 m^3 /年もの涵養量となる。現在の涵養量は25年前の涵養量の約半分ということになる。

4. 地下水涵養増強の方策

白川中流域の水田涵養の現在量は約8500万 m^3 程度と推定され、地下水を維持するためには約3500万 m^3 の更なる涵養が必要と判断された。この量は熊本市上水道の供給量の4ヶ月分以上に相当する膨大な量である。しかし、都市化による涵養地の減少などの影響があり、その分や降水不足を考慮すれば更なる上積みが必要である。熊本市では必要涵養量を5000万 m^3 と設定している。この5000万 m^3 という数字はある程度評価できると考えられる。そこで現在考えられている方策について検討した。

現在、白川中流域農地利用による地下水涵養対策として考えられている主要対策の中では以下の手法が有力と思われる。ただし、ここでは1□当たりの涵養高は100mmとして試算した。

a)水田の冬期湛水;稲の収穫後、冬期の作付けを行わない場合の湛水による手法、10%の水田(2002年実績840ha)で3ヶ月湛水する場合、756万 m^3 の涵養が期待できる。

b)大豆作付け前の湛水;大豆作付け前1ヶ月から2ヶ月の間湛水を行う。この場合、大豆作付けが団地化していることから、広域の湛水が見込まれ、涵養効果が上がると思われる。また、湛水により病害虫の駆除効果も期待できる。50haの面積で1ヶ月あたり150万 m^3 の涵養が期待できる。

c)人参作付け前の湛水;これは一部農家がすでに実施し、その効果が実証されている。しかし、冬人参の作付けは菊陽町で、水田の場合120haで作付け規模もまちまち(20～30a大規模な場合5ha前後)であり、団地化していないなどの問題もある。しかし、もともと水田の場合にはかんがい施設があるので、半分でも1ヶ月湛水すれば相当量の涵養が見込まれる。50haの面積で1ヶ月あたり150万 m^3 の涵養が期待できる。

d)飼料イネの二期作;飼料イネは刈り取り後、さらに二ヶ月湛水すれば、再生し、採集が可能である。この場合、飼料が多くできるだけでなく、湛水期間が増えるので涵養量も増加することが期待できる。一般に、2ヶ月ぐらいで刈り入れができるまで育つ、したがって、10haの面積で2ヶ月あたり60万 m^3 の涵養が期待できる。

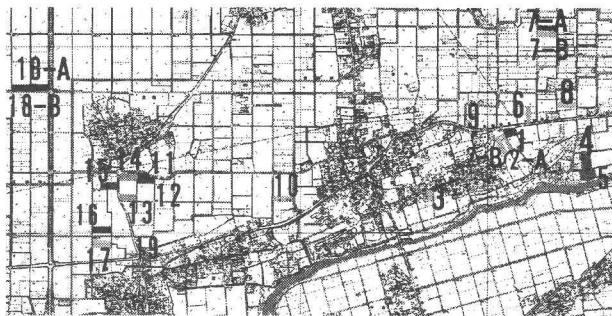


図-10 減水深調査地点

e) 涵養地(ビオトープ)の設置: 菊陽・大津地区は熊本都市圏から阿蘇へ向かうルート上に位置し、現在は通過点である。この通過点を見直し、地下水涵養地として熊本地区の重要な拠点とした涵養地、ビオトープといった視点のみでなく、環境問題、農業問題などを含んだテーマパーク的視点から考えることも必要なのではないか。この場合、例えば、50haの敷地に40haの涵養池をビオトープとして設置し、年間10ヶ月の湛水を行うとすれば、1200万 m^3 の涵養量を期待できる。

現在、上記のような対策が考えられているが、農地での湛水では、営農活動の一環でなければ灌漑用水の利用が出来ないと言う水利権の問題がある。

5. 大豆作付け前湛水試験

4章で考えられた農地での涵養増強策のうち大豆や人参への転作地での作付け前の水張りについて検討した。この水張りは、すでに、地域の農家によって試みられており、線虫駆除に役立つとも言われている。白川中流域、大菊土地改良区では、かんがい地域の転作農地に大豆作付け前に水張りを行い、線虫駆除効果、涵養効果に関するデータを得るために、地域の農家に協力を依頼し、2003年6月の1ヶ月間湛水試験を行った。線虫駆除効果は、湛水前後に土壌を採集し、線虫の量を調査することによって効果を把握し、涵養効果については、期間中、数回湛水深の変化を測定することによって減水深を求めて評価した。今回の湛水試験では最も簡単な水位変化を観測して減水深を求める方法をとった。調査地域は図-10に示したような大津町下町地区、上陣内地区の22箇所であり、農地の湛水前作付け状況と耕起や代掻きなどの湛水直前の圃場の管理状況によって減水深が変化することが考えられるので、異なった作付け状況と耕起の状況の農地を選択し、観測を行った。調査地点の写真の一例を写真-1に示す。

これらの地点において、6月13日から30日にかけて7回にわたり減水深調査を行った。調査方法は各地点のセッティングを行って、観測を開始し、各経過時間における水深を観測した(図-11、写真-2)。

減水深は試験田の水位の変化を読み取り、1日あたりの水位低下を求め、水田に6cmの水を張ったときの1日あたりの減水深に換算して求める。減水深

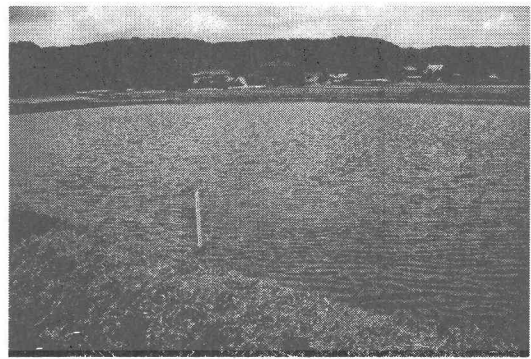


写真-1 各地点の状況

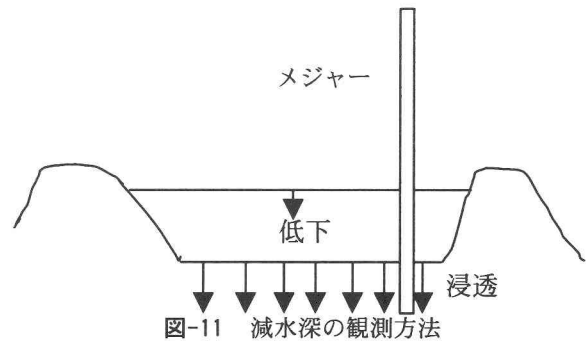


図-11 減水深の観測方法

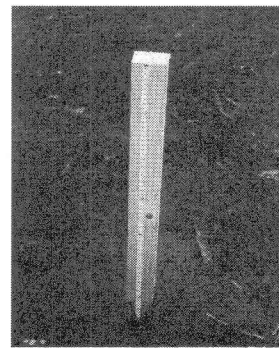


写真-2 湛水試験地に設置したメジャー

を求めるにあたって、減水深が高いと思われる水田にはパイプを設置し、その水位変化で減水深を求めるパイプ法と水田全体に水を張り、水深の変化を求めた水田法を実施した。パイプ法での観測結果は水田法の結果に比べ、ばらつきが多く、今回の結果は水田法の方がより現実に即した値と考えられるので全体のかん養量の計算には水田法の値を用いた。この結果を各圃場の種類別に計算し、全体の1日あたりのかん養量を計算すると表-7のような結果になった。なお、減水深の結果には蒸発量が含まれているが、減水深に比べ小さいため、ここでは無視している。

今回の圃場での湛水試験の結果、全体で211,469 m^2 のほ場に湛水した結果、1日あたり約72,000 m^3 の涵養量があったと推定され、1ヶ月の湛水により、約220万 m^3 近くにのぼる地下水涵養が見込まれる。しかし、この期間は水田の作付期間でもあり、圃場への給水が出来ない日もあり、実質的には1ヶ月全ての日に湛水出来ていない状況を考えると、上記の涵養量の60~70%程度、即ち、130万~150万 m^3 程度と考えられる。

表-7 各圃場ごとの日涵養量

圃場の状態	観測地点	湛水深 6cm あたり の平均減水深	全体圃場面積 m ²	日涵養量 m ³ /日
無処理	No. 12、No. 19	535mm/日	5,417	2,897
麦後耕起	No. 2-A, No. 2-B, No. 3, No. 6, No. 7-B, No. 8, No. 9, No. 10, No. 17, No. 18-A	444mm/日	109,896	48,845
野菜後耕起	No. 4, No. 5, No. 15	260mm/日	22,960	5,972
耕起 (ローラーで転圧)	No. 13, No. 14	280mm/日	6,395	1,973
耕起→代掻き	No. 1, No. 7-A, No. 16, No. 18-B	192mm/日	6,6801	12,815
合計			211,469	72,322
平均減水深		342mm/日		

個々の圃場別の減水深では、無処理の場合が 535mm/日と最も高い値を示し、代掻きを行った後の場合は 192mm/日と最も低い値を示した。面積を考慮した加重平均によると全体では 342mm/日とこれまで調査してきた水田における減水深約 100mm/日比べ、高い値を示している。これは、湛水期間が短いことによって、目詰まりによる減水深の低下が少なかったことがあげられる。したがって、大豆作付け前の湛水で線虫防止効果が認められたり、湛水による作柄の向上が認められれば、もっと広範囲での湛水が期待でき、短期間ながらも地下水涵養に大きな寄与が期待できるものと考えられる。

今回の観測では、湛水開始後 2 週間して観測を始めたために、目詰まりによる減水深の低下を考慮せずに、平均値を用いて全体の涵養量を計算した。湛水試験の時は湛水状況の履歴が重要な要素になる。しかし、短期間の湛水であれば、目詰まりの影響も少ないと考えられる。圃場の状態を高い減水深の状態で維持し湛水を行えば、100ha、一ヶ月の湛水で、約 1200 万 m³ 程度の涵養が期待できる。目標の 5000 万 m³ の涵養を確保しようとする場合、400ha 程度の湛水が必要になるが、この面積は中流域全体の畑地面積の 1/3 程度であり、実行可能な範囲と考えられる。

6. 結論

白川中流域に位置する大津町、菊陽町のかんがい地域は高い減水深を持つことがわかっている。近年、白川中流域の農地の減少や稲の作付け調整などによって、地下水涵養が減少し、地下水位の低下、下流の水前寺・江津湖、嘉島の湧水群などの湧水量の減少を引き起こしている。稲の作付けを増加させることによって地下水涵養量は増加するが、農業を取り巻く環境は厳しく、稲の作付面積の増加は見込めない。そこで、考えられているのが転作地における水張りである。本研究では、このような背景を実際の観測データを基に示し、転作地の作付け前に一ヶ月間の湛水試験を実施してその効果を明らかにした。この研究で得られた結論は以下のようである。

1. 熊本地域全体の地下水涵養に占める白川中流域農地の割合は 10～20% を占める。
2. 白川中流域水田地帯の涵養量は都市化、水田転作などにより 25 年前の半分まで減少している。
3. 地下水保全のために中流域農地での人工的湛水が必要であり、大豆転作地で作付け前、1 ヶ月間、湛水試験を行ったところ、300mm/日を超える高い減水深を示した。その結果、400ha 程度の畑地の作付け前に湛水を行うことによって、目標とする 5000 万 m³ の地下水涵養量を確保できる。

しかし、地下水保全は涵養側だけの問題ではなく、一人当たり日量 257 リットルもの生活用水を利用している下流域の住民の水に対する意識も改革していく必要がある。

この涵養策において、畑地表面に残留していると考えられる肥料による汚染については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 熊本県・熊本市:昭和 60 年度熊本地域地下水総合調査報告書, 1986.
- 2) 熊本県・熊本市:平成 6 年度熊本地域地下水総合調査報告書, 1996.
- 3) 桐山貴文・市川勉・星田義治:熊本地域における地下水位、湧水量の推定と地下水保全について、第 6 回水資源に関するシンポジウム論文集, p. 99-104, 2002.
- 4) 市川勉:熊本白川中流域における水田による地下水涵養の評価、第 6 回水資源に関するシンポジウム論文集, p. 87-92, 2002.
- 5) Tsutomu ICHIKAWA: "Water Circulation and Use in Kumamoto Groundwater Basin", *PROCEEDINGS of The 3rd World Water Forum(WWF3) "Agriculture, Food and Water"*, p. S1-5-1, 2003.
- 6) 熊本県:熊本県水資源総合計画「くまもと水プラン 21」, 2003.

(2003. 9. 30 受付)