

水循環解析モデルを用いたウォーターバンキング効果の分析：福岡県瑞梅寺川流域を対象として

武藤，圭誠
九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻

広城，吉成
Department of Water and Material Cycles System, Faculty of Engineering, Kyushu University :
Associate Professor

<https://hdl.handle.net/2324/4705311>

出版情報：Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research). 77
(5), pp.I_9-I_15, 2021-09-01. Japan Society of Civil Engineers
バージョン：
権利関係：



水循環解析モデルを用いた ウォーターバンキング効果の分析 —福岡県瑞梅寺川流域を対象として—

武藤 圭誠¹・広城 吉成^{2*}

¹ 非会員 九州大学大学院工学府 都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: muto.keisei.732@s.kyushu-u.ac.jp

² 正会員 工博 九州大学大学院准教授 工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: hirosiro@civil.kyushu-u.ac.jp

瑞梅寺川流域では豊かな自然環境と貴重な生態系を有している。一方で、都市開発や水田の減少に伴い地下水涵養量の減少が懸念されている。このような水循環系に対する問題の解決策としてウォーターバンキング(以下WB)が注目されている。

本研究では同流域を対象とした水収支解析を行い、WBの効果を検証した。その結果、荒地と水田にWBを行った場合の差が明らかになった他、WBにより地下水涵養量が約7%増加、表面流出量が約15.5%減少、全余剰表流水を7%地下に貯留できることが確認された。また、地下水淡水位はWB直後に上昇し、地下水塩水位に関してはWBを長期間実施するほど地下水の塩水化が低減した。さらに、1差分格子あたりでは周辺の表面流出率が一律に低く、流出係数が大きい土地利用ほどWBによる地下水位改善が効果的であることが判明した。

Key Words: Zuibaiji River, water banking, water balance analysis, groundwater recharge, water cycle system

1. はじめに

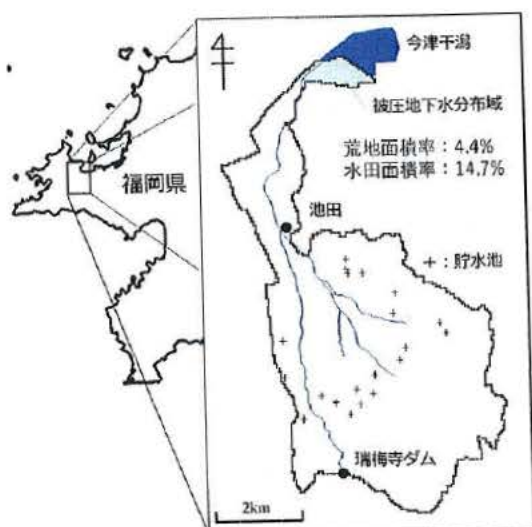
近年社会経済情勢や気候変動を背景として、水循環や地下水環境を取り巻く状況が変化しており、特に都市化が進行している地域では舗装面積の拡大や水田面積の減少に伴い、地下水涵養量の減少が懸念されている。持続可能な地下水利用や地下水環境保全のためには、地下水を適切に利用しつつ、本来の地下水涵養を補うように人工的な地下水涵養を行うことで、地下水利用と涵養のバランスを取り、健全な水環境の確保に向けた取り組みが必要とされている。平成28年度水循環施策¹⁾では、地域における流域マネジメント推進の支援をするとともに特徴的な取組を抽出するため、内閣官房水循環政策本部事務局は平成28年度に福島県、愛知県岡崎市、熊本地域の3地域を調査対象とした。なかでも熊本では冬期の水田に水を張る「冬水田んぼ」や転作田における湛水事業がなされており、官と民が連携して地下水保全の取組を行っていること等が挙げられる。ウォーターバンキング(以下WB)は洪水時や豊水年、雨季に発生する余剰水資源を休耕田や水田などから人工的に地下の帯水層に備蓄

し、渇水時の水利用や地下水環境保全に役立てるシステムであり、水循環系健全化の手法として近年注目されている。これまで国内では富山県や宮古島、海外ではアメリカやオーストラリアなど世界各地でWBの実証実験²⁾が行われているが、本論文のような解析モデルを用いた定量的なWBの解析研究はほとんど行われていない。そこで、本研究では堤ら³⁾によって開発された地下水涵養モデルと準3次元淡塩2相地下水流動モデルを組み合わせた従来の堤・神野モデルに対して、地表水の解析精度を上げるために貯水池解析モデルを加えた新たなモデルを用いて福岡県糸島市と福岡市西区にかけて流下する瑞梅寺川流域(図-1)を対象とした水収支解析を行い、複数のパターンでWBの特性や効果を検証することを目的とした。

2. 解析概要

(1) 解析対象領域の概要

福岡県の糸島市と福岡市西区にかけて流下する瑞梅寺



川は流域面積 52.6km²、幹線延長 13.2km の 2 級河川である。流域の上流域や中流域では緑豊かな自然環境や田園風景が広がる。また、河口には今津湾があり、今津干潟の内部はカブトガニをはじめとする絶滅危惧種の生息地であり、生態的に貴重な環境となっている。その一方で、下流域では九州大学伊都キャンパス移転に伴う都市開発が行われ、都市化が進んでいる。さらに近年、流域内では 6 月から 9 月にかけて平年値を上回る渇水が頻繁に発生している⁴⁾。また、本研究においては 2019 年に現地踏査による土地利用調査を行った。その結果、過去行われた同領域の研究データ⁵⁾と比較すると、農業従業者の高齢化を背景に農地の割合が徐々に減少しており、水田面積の減少に伴う地下水涵養量の減少が懸念された。本地域のように、水循環系に対して起こり得る問題の解決策として WB は有効であると考えられた。地下水涵養の方法は、井戸を用いて地下に水を注入する注入法と、地表面に池などの浸透施設を設けることや、土地に水を張ることで地下に浸透させる拡水法の 2 種類⁵⁾がある。本研究の解析対象領域の特徴として、水田稲作などの農業が盛んであり、休耕田や耕作放棄地を含めて湛水可能な土地が広く存在することから、WB においては拡水法による地下水涵養を前提とした。この拡水法による涵養は地下水量を増加させ、地下水位の低下の抑制や周辺の湧水量を増やすだけでなく、湛水された土地が渡り鳥のエサ取り場や水生生物の繁殖場になるほか、水質浄化による水辺生物の活性化、防災効果、微気候緩和などの多面的な効果が期待できる⁶⁾。

(2) 解析手法

前述のように本研究では従来の堤・神野モデルに対して、地表水の解析精度を上げるために、貯水池解析モデルを加えた新たなモデルを用いて瑞梅寺川流域(図-1)を

対象とした水収支解析を行った。モデルによる解析では解析対象領域を 50m×50m の差分格子により 13005 点に分割し、各差分格子に土地利用⁷⁾、地質⁸⁾、降水量・日平均気温⁹⁾等を割り当てる。解析期間は 2017 年から 2019 年の 3 年間でを行った。

(3) 堤・神野モデル

堤・神野モデルは地下水涵養モデルと準3次元淡塩2相地下水流動モデルの2つのモデルを組み合わせたモデルである。地下水涵養モデルは1段タンク構造で、各差分格子において、降水量を地下水涵養量、蒸発散量、表面流質量の3成分に分離する。なお、灌漑期(6月20日～10月10日)の地下水涵養量について、水田では地下水へ8.5(mm/day)の割合で一定量の涵養が行われる。また、WB実施期間中は後述するWB取水量が一定の割合で涵養される。

準3次元淡塩2相地下水流動モデルでは、地下水涵養モデルで算出された地下水涵養量と連動して、丘陵地及び低地部の一部において降雨浸透により引き起こされる地下水流と低地部での淡塩2相流の2つの地下水流動を解析する。また、地下水位が地表面より高い点においては、地下水が河川へ流出する量を地表面からの湧き出し量として算出し、流域内の各差分格子において表面流出量、河川流量として計算された合計をもって流量を算出している。

(4) 貯水池解析モデル

図-2 に貯水池解析モデルの概要を示す。算定には新井田の式¹⁰⁾を参考に、式(1)～(3)に示す貯水池内の連続式、流出公式(涵養モデル)及びオリフィスからの流量公式を用いた。まず、貯水池の流域ごとに式(2)により貯水池流入量を求め、式(3)の放流条件のもとに式(1)により時刻ごとの貯留量(水位)の計算を行う。

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

$$Q_{in} = F_r \times r(t) \times A \quad (2)$$

$$Q_{out} = C \times B_L \times D_L \times \sqrt{2gH} + q_{out} - a_{out} \quad (3)$$

ここに、 V : 貯水池の貯留量 (m^3)、 Q_{in} : 貯水池への流入量 (m^3/s)、 F_r : 表面流出率(涵養モデルで計算)、 $r(t)$: 地表面到達降雨 (mm/h)、 A : 貯水池の流域面積 (m^2)、 Q_{out} : 貯水池からの放流量 (m^3/s)、 C : 流量係数 (0.6)、 B_L : オリフィス幅 (m)、 D_L : オリフィス高さ (m)、 H : 貯水池の貯留水深 (m)、 q_{out} : 洪水吐からの放流量 (m^3/s)、 a_{ax} 灌漑取水量 (m^3/s) である。洪水吐からの放流量 q_{out} は式(1)によって計算される貯留水深 H が各貯水池において設定された設計洪水位¹⁰⁾を超え

表-1 解析対象領域内の貯水池設計データ¹²⁾

No	名前	堤高 (m)	設計洪水位 (m)	総貯水量 (m ³)	湛養受益面積 (ha)	常時湛水位 (m)
22	有坂溜池	6.7	6.1	43000	30	5.5
23	磐城溜池	6.6	6	26000	16	4.9
24	新溜池(山北)	5.8	5.2	24000	11	4.1
25	牟田溜池	8.5	7.9	120000	48	6.85
26	岡田溜池	10.7	10.1	200000	52	9.0
27	池溜池	7	6.4	16000	6	5.3
28	赤崎溜池	7.5	6.9	6000	40	5.8
29	七郎溜池	6.5	5.9	10000	7	4.8
30	新溜池(末永)	7.3	6.7	20000	15	5.6
31	宇土溜池	10.8	10.2	66000	72	9.1
32	山犬尾溜池	6.3	5.7	5000	2	4.6
33	松本溜池	7.6	7	100000	38	5.9
34	芋ノ浦溜池	7.5	6.9	5000	17	5.8
35	大石ヶ坂溜池	8.1	7.5	4000	15	6.48
36	尾花屋敷溜池	8.0	7.4	3000	6	6.3
37	金剛溜池	7.7	7.1	7000	12	6.0
38	新溜池(高根)	6.5	5.9	2000	12	4.8
39	辻溜池	3.7	3.1	2000	6	2.0
40	小園溜池	6.7	6.1	6000	2	5.0
41	カリマタ溜池	7.2	6.6	4000	20	5.5

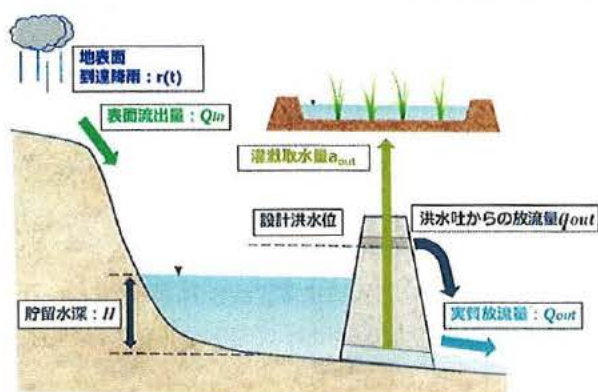


図-2 貯水池解析モデルの概要

た場合のみ算定する。なお、貯水池に関する設計データを表-1 示す。

(5) ウォーターバンキング(WB)解析条件

WB に用いる河川からの使用可能取水量を、流域単位から算定された河川流量をもとに、農林水産省の環境用水水利権取得の基準¹³⁾を参考に次のようにして推定した(図-3)。まず、計画基準年を10年に1回程度の渇水年と仮定して、この計画基準年を解析期間のうち、福岡県主要ダム貯水率¹⁴⁾が平年値を大きく下回った2019年とした。また、この年の渇水流量を基準渇水流量とした。次に、実際の河川流量から基準渇水流量を控除した残余をWBのための取水可能量とする。そして、WBを行うエリアを各条件において設定し、そのエリア全域で取水可能量から湛水に必要な8.5mm/day以上が得られる場合のみWBを実行し、余剰分の取水可能量は取水せず、河川流量として計算を行った。すなわち、基準渇水流量を下回らないように取水することで、既得水利権量と河川維持流量を足した正常流量、安定水利権の両方を満たせるように取水量を設定した。

本研究では Case1: WB を実行しない場合、Case2: 休耕田や耕作放棄地などの荒地に WB を実行する場合(水田の非耕作期(1月1日～5月31日および11月1日～12月31日))、Case3-1: 非耕作期(1月1日～5月31日および11月1日～12月31日)の水田において下流域から WB を実行する場合、Case3-2: 非耕作期の水田において中流域から WB を実行する場合で比較を行う。なお、上流域に関しては地下水の塩水侵入範囲外であることと農地が少ないため、本研究では WB の対象外とした。

まず、Case2 では湛水可能な荒地全域の面積712,500m²を1段階目エリアとして求めた。さらに1段階目エリアの湛水条件(8.5mm/day 以上)に満たない WB 取水可能量が、取水可能量と湛養面積との関係が最適(繰り返し計算により取水可能量が最大限利用できる最大湛養面積)となる解析を行い、計算期間の中で最も取水可能となる最大湛養面積222,500m²を算定し、2段階目エリアとした。この2つの面積を基準面積とした。次に、基準面積において下流域及び中流域の非水田耕作期の水田に湛水させた場合の結果を比較するために、Case3-1、Case3-2では荒地と同面積の1段階目エリア、2段階目エリアをそれぞれ設定した(図-4)。そして非水田耕作期において、

- ① WB 取水可能量が1段階目のエリア全域に湛水可能な水量の場合(8.5mm/day 以上)WB を実行。
- ② WB 取水可能量が1段階目の条件に満たない水量の場合かつ2段階目エリアに湛水可能な場合 WB を実行。

という2段階で条件を設定した。

(6) その他の解析条件

a) 境界条件

瑞梅寺川下流域における今津干潟周辺の埋立地の上層には粘土層が堆積しており、本研究ではこれを加圧層としてとらえ、図-1に示したように、この領域を被圧地下水分布域とした。それ以外の領域は不圧地下水分布域である。本解析では、海水面との境界は全て被圧地下水分

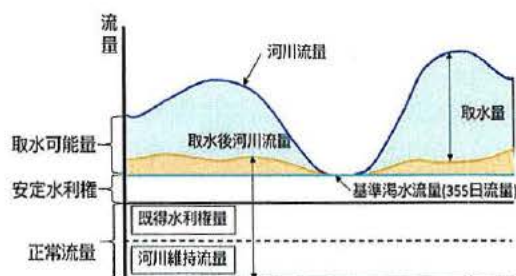


図-3 取水可能量の概念

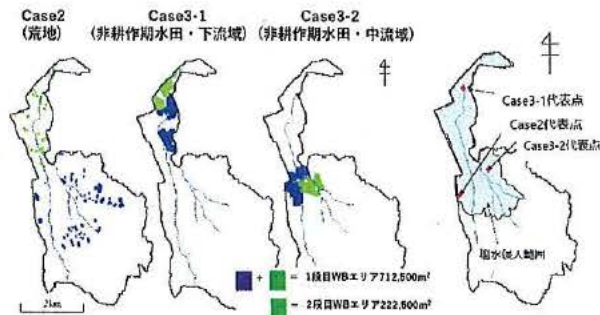


図4 各条件のエリア設定とCase2, Case3-1, Case3-2における代表点

布域である（図-1の今津干潟接地部分）。加圧部においては、塩水位は加圧層の下面に、淡水位は平均潮位+D/40の位置に等しいとした。この場合のDとは平均潮位から加圧層下面までの深さを示す。その他の境界については分水嶺のため、解析対象領域外からの影響はないと考え、不透水性境界として解析を行った。

b) 初期条件

準3次元淡塩2相地下水流動モデルによる地下水流動計算では、計算開始時点の初期地下水位を設定する必要がある。しかしながら、本研究では解析対象領域である瑞梅寺川流域の地下水位のデータを入手することができなかった。そこで、次のようにして初期地下水位を算出した。まず、全ての差分格子において地下水位を0mと設定して準3次元淡塩2相地下水流動モデルによる地下水位計算を行う。その解析で得られた計算終了時点での地下水位を初期地下水位として再度解析を行う。この作業を繰り返し行うことで、初期地下水位は徐々に一定の水位に漸近する。この漸近した地下水位を解析対象領域の初期地下水位として用いた。また、地下水涵養モデルにおいて設定するタンク内の初期水位に関しても同様の手法で設定した。

c) 揚水量（生活用水・農業用水・水道用水）

地下水の一般家庭の利用について、一部の地域では、地下水が生活用水として民間の家庭から直接揚水され、利用されている。実際に生活用水として揚水されている解析期間の地下水量を家庭毎に把握することは難しいため、森田ら⁹⁾が算出した同地域の世帯別揚水量を設定した。住民基本台帳に基づく人口と世帯数から、1世帯当たりの人員を計算し、それを世帯構成人員別の1人1日当たりの水使用量と乗じることで、揚水量を推定した。なお、揚水による地下水使用率は100%とした。

また、一部の農地やハウス栽培では農業用水として地下水が利用されている。農家からのヒアリングによると、各農業用井戸の管理は揚水量ではなく消費電力量によって管理しており、実際の揚水量を把握することが難しい。季節や作物によって多少異なるが、畑作ではおよそ5～7 (mm/day) の水消費が行われており¹⁰⁾、解析対象領域

内でも同程度の地下水が汲み上げられていると考えられる。そこで、この基準と1差分格子に対する農業用地の面積比に基づいて農業用水として利用される地下水の揚水量も計算した。

さらに、解析対象領域内では水道用水資源としても地下水が揚水されており、各井戸によって一日平均取水量が判明している⁹⁾。解析においてはこの水道用井戸による揚水量も設定した。

3. 結果と考察

まず、流域全体に基づいた地下水涵養量、表面流出量の2成分について、Case2ではWBを行うことで地下水涵養量が7.1%の増加、表面流出量が15.5%の減少となった。またCase3-1とCase3-2ではどちらも地下水涵養量が7.0%の増加、表面流出量が15.4%の減少を示し、Case2と同程度の値となった。WBによる表面流出量の減少について、表面流出量と地下水湧出量の和が河川流量として計算しており、河川流量の一部を地下に涵養させたこと、また地下水涵養モデルでは湛水された水は一定割合涵養するよう設定したため計算上表面流出量が減少したと考えられる。これらの結果により、WBによってCase2, Case3-1, Case3-2の条件においても全余剰表流水の7%を地下に浸透させる地下水貯留効果が確認された。

次に、Case2, Case3-1, Case3-2における年間の淡水位と塩水位の変化幅を代表点別に、WBを行わないCase1の水位と比較した（図-5）。淡水位は年間を通して変化幅が大きく、WB実施（非水田耕作期（1月1日～5月31日および11月1日～12月31日））に対する水位の応答が早い傾向にある。その分、WBを行わない期間はWBを実施しない本来の水位に戻る速度も早い。また、Case3-1とCase3-2はCase2よりも非WB期間の淡水位が低下していない。これは地下水涵養モデルに入力するタンクの流出係数が影響していると考えられる。このタンクの流出係数は土地利用別に設定した値であり、過去同領域で解析を行った森田⁹⁾を参考に決定した。水田の流出係数は0.39と荒地の0.43と比較して小さく、涵養速度が遅いため上記の結果になったと予測される。一方で、塩水位はWB実施後の変化幅が非常に小さい傾向にあるものの、WBを行わない期間においても水位が低下することなく、毎年連続的にWBを実施することで徐々に水位が低下していることが判明した。したがって、WBには長期間実施することで地下水塩水化防止の効果が徐々に得られる。

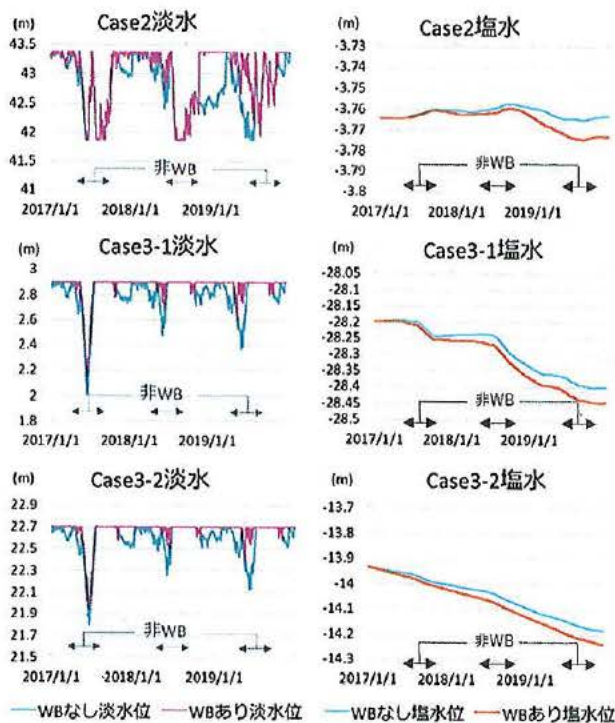


図-5 各条件における淡水位と塩水位の変化幅（縦軸は標高）

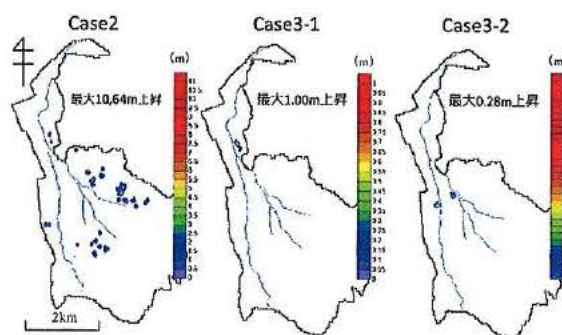


図-6 解析対象領域の淡水位変化幅

特性があると考えられる。これらの傾向は、その他の代表点でも同様の変化が確認された。

WBの有無による水位の変化幅に関しては、解析対象領域全体においても確認を行った。図-6はCase1と比較したCase2、Case3-1、Case3-2の淡水位変化幅を示したものである。淡水位変化幅はWB取水量が解析期間の中で最も大きかった2017年4月17日のものを示した。Case2に関しては中流域を中心にWB実施箇所周辺で大きく上昇している。Case2では解析対象領域内の幅広い範囲にWB実施可能な土地（耕作放棄地や休耕田などの荒地）が点在しているが、淡水位が上昇しているのは主に中流域である。中流域においては、表面流出率が低い農地と表面流出率の高い建物用地が分散するように分布している。この場合、各格子に代表土地利用の1タイプのみを割り当てた。その中でも荒地の周辺では農地が分布している場合が多いため、水位が上昇しやすい傾向にあると

考えられる。また、これらの場所ではWB実施地点が密集しているほど水位が大きく上昇する傾向にあった。Case3-1、Case3-2についてはCase2程の水位上昇は2017年4月17日時点では起きなかった。この原因としてはCase2の荒地に比べて、Case3-1、Case3-2の水田の土地利用の流出係数が小さいため水位上昇に遅れがあると予測された。

そこで水位上昇の時間差を考慮して2日後の変化幅を確認したところ（図-7）、淡水位が上昇し、水位の上昇範囲も拡大することが判明した。この傾向はCase2よりもCase3-1、Case3-2が特に顕著に表れており、2日後のCase2は最大上昇幅を示した箇所以外の水位変化が非常に少なく、上昇範囲が拡大していない一方で、Case3-1、Case3-2では時間経過とともにWB後の水位が上昇しつつ、上昇範囲も拡大していく。Case3-1、Case3-2のように流出係数が小さい土地利用ほど涵養速度が遅いため、WB後の水位応答も遅い傾向にあると考えられる。

また、Case3-1とCase3-2ではCase3-1の方が同時刻においても上昇幅が大きい結果となった。WB実施地点の密集度、面積はCase3-1、Case3-2どちらも同程度のため、周辺の土地利用による影響であると考えられる。中流域では表面流出率の低い農地と表面流出率の高い建物用地がどちらも分散しており、農地の周辺に降雨が地下に浸透しにくい建物用地が隣接している場合が多い。そのため、WB実施地点において涵養された淡水が分散しやすい。一方、下流域では農地と建物用地がそれぞれ集中的に分布している。農地が広く分布しているエリアでは地下水涵養量が多く、WB実施地点周辺でも水位が上昇するため、涵養された淡水が分散せず、水位が上昇すると推測される。

次に、Case3-1、Case3-2のWB実施地点に関しては、密度が大きい部分においてもCase2ほど淡水位が上昇することにはなかった。流出係数が高い荒地のCase2によるWBでは、涵養される速度が速いため、涵養された淡水が分散する前に上昇すると考えられる。したがって、荒地ではWB実施地点の密度が高い地点ほど水位が上昇しやすく、反対に流出係数が低い水田のCase3-1&Case3-2によるWBでは、涵養される速度が遅いため、WB実施地点の密度が高い地点でも水位が上昇する前に涵養された水量が分散し、結果的に水位が大きく上昇しなかったと考えられる。

図-8はCase1と比較したCase2、Case3-1、Case3-2の塩水位変化幅を示したものである。塩水位変化幅は計算終了時点である2019年12月31日時点のものを示した。条件別の水位変化幅の大小については淡水位と概ね一致している。また、Case3-1、Case3-2ではWBを行ったエリア内の広範囲で塩水位が低下している。解析対象領域内では荒地よりも水田の分布面積が大きい。そのため、荒地

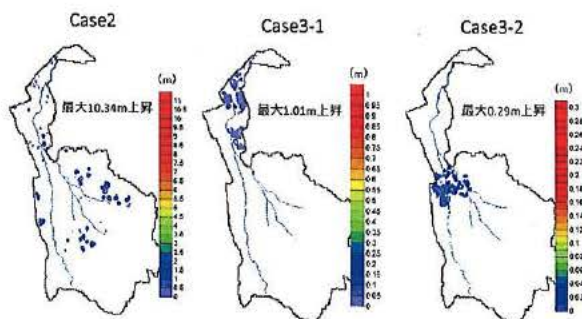


図-7 図-6から2日後の淡水位変化幅

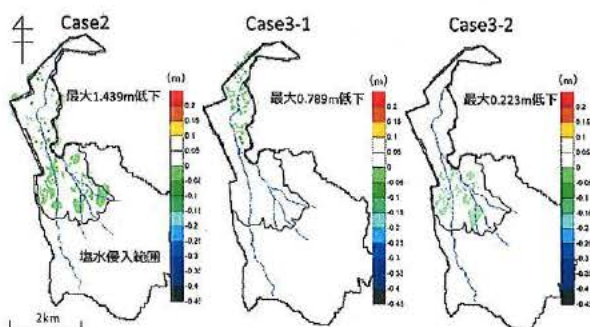


図-8 解析対象領域の塩水位変化幅

はWBを行う場所が限られているのに対して水田でWBを行う場合は選択的に任意の場所で行うことができる。地理的制約が少ない水田によるWB実施地点を密集させることによって、場所に限らず長期的かつ集中的な塩水低下を図ることができると考えられる。

4. 結論

本研究では、地下水涵養モデルと準3次元淡塩2相地下水流動モデルを組み合わせた従来の堤・神野モデルに対して、地表水の解析精度を上げるために、貯水池解析モデルを加えた新たな開発モデルを用いて福岡市西区瑞梅寺川流域を対象とした水収支解析を行い、複数パターンでWBの特性や効果を検証した。

その結果、条件別に次のような効果が確認された。
Case2(荒地): WB後の淡水位の水位応答が早く、非WB期間に本来の淡水位に戻る。水位の変化幅はWB実施地点の密集度と比例する。
Case3-1 & Case3-2(非耕作期水田): WB後の淡水位の水位応答が遅く、非WB期間であっても淡水位上昇が保たれる。水位の変化幅はWB実施地点の密集度と比例せず、同じ面積にWBを行う場合、中流域よりも下流域で行う方が、水位変化幅が大きい。

また、各条件で共通して得られた効果として次のようなものが挙げられる。地下水涵養量を約7%増加、表面流出量を約15.5%減少させ、全余剰表流水の7%を地下に貯留することができる地下水貯留効果。WB実施地点

周辺の地下水位上昇効果。特に塩水位に関しては長期間実施するほど地下水塩水化を低減させることが示された。

さらに、1差分格子あたりでは周辺の表面流出率が一律に低く、流出係数が大きい荒地のような土地利用ほどWBによる地下水位上昇が効果的であることが判明した。ただし実際にWBを実行する場合は目的や地点によって条件を変化させる必要がある。例えば解析対象領域における下流域の地下水塩水化を解消したい場合、Case3-1(非耕作期水田下流域)が適切であると考えられる。解析対象領域における分布面積は、荒地よりも水田の方が広く、下流域で集中的にWBが行えるためである。また、従来の堤・神野モデルによる解析では、表面流出量として計算された表流水は全て時間遅れなしに流域内の河川に流出するものとして計算されていた。本研究では堤・神野モデルに貯水池解析モデルを組み合わせたことで、表流水の一部が一時的に貯水池に貯留される状態や、灌漑用水として利用される表流水の移動を再現することができた。

このように、水資源環境改善を対象とする地域の土地利用状況や目的に応じて、適切にWBを行う条件を見極める必要がある。本研究における、WBの解析によって得られた結果は、今後の地球温暖化が招く海面上昇による沿岸部の地下水塩水化の抑制や、集中豪雨による洪水抑制、年間降水量の減少に伴う地下水位の低下対策の一助になるものと考えられる。

本研究では既往研究としてのWB解析事例が見当たらないため明確な基準でWB効果の評価ができなかった。しかしながら、全余剰表流水の7%を地下水として貯留できるとした結果は、渇水時の水利用および沿岸部の地下水塩水化抑制の一助になることを示すことができた。今後は実際にWBが実施されている熊本地域¹⁾や富山県の実装事例²⁾と本解析モデルとの妥当性の検証や、WBを行う前後の水利用(例えば地下水揚水可能量がどれだけ増えるのか)などをシミュレーションしていく必要があるだろう。

参考文献

- 1) 内閣官房水循環政策本部事務局(2017): 平成28年度水循環施策第193回国会(常会)提出資料, p.65-69, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/pdf/h28_mizujunkan_shisaku.pdf
- 2) 佐藤寛(2007): ウォーターバンキングの意義と可能性: 環境社会学の視点から, 中央学院大学社会システム研究所紀要, 8(1), p175-186
- 3) 堤敦, 神野健二, 森牧人, 広城吉成(2003): 表流水-地下水系水循環機構の解析-九州大学新キャンパス建設地を対象として-, 土木学会論文集, No. 747,

- 4) 福岡県 福岡県主要ダム貯水率
<https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/damuchosui.html>
 (2021/1/15)
- 5) 森田祐輝, 寺嶋健人, 広城吉成(2015): 今津干潟への河川および地下水による栄養塩流入負荷量の定量的評価, 水文・水資源学会 2015 年度研究発表会要旨集 p42-43.
- 6) 富山県 地下水涵養マニュアル
<https://www.pref.toyama.jp/1706/ku-rashi/kankyoushizen/kankyou/kj00022995.html>
<https://www.pref.toyama.jp/documents/14905/01495138.pdf>,
<https://www.pref.toyama.jp/documents/7739/00745883.pdf>
 (2021/6/18)
- 7) 国土交通省 国土調査(土地分類調査・水調査)
https://nlfp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/chikei_bunrui.html (2020/12/29)
- 8) 唐木田芳文・富田幸臣・下山正一・千々和一豊 (1994): 福岡地域の地質, p.10.
- 9) 気象庁 過去の気象データ検索,
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
 (2020/12/29)
- 10) 新井田浩(2005): 健全な水循環系の構築に向けた将来像と対策手法に関する研究, 九州大学大学院工学府博士論文
- 11) 農林水産省 土地改良事業設計指針 「ため池整備」(案), https://www.maff.go.jp/council/sci-saku/nousin/gizyutu/h26_4/pdf/siryou4_2.pdf
- 12) 糸島市農林水産課, 貯水池設計
- 13) 環境用水の水利権取得に関する手引き 農林水産省 東北農政局
https://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kankyo_yousui/tebiki.html (2020/09/10)
- 14) 椎名乾治(1967): 農業における水利用と管路組織, 鋳鉄管協会誌, 第3号, p6-9
- 15) 糸島市 糸島市水道事業ビジョン
<https://www.city.itoshima.lg.jp/s028/020/010/100/010/050/suidojigyo2.pdf> (2021/1/11)

((Received April 12, 2021)

(Accepted July 16, 2021)

ANALYSIS OF EFFECTS OF WATER BANKING USING A WATER CYCLE ANALYSIS MODEL —AN EXAMPLE OF THE ZUIBAIJI RIVER BASIN, IN FUKUOKA, JAPAN—

Yoshinari HIROSHIRO, Keisei MUTO

The Zuibaiji River basin in Fukuoka Prefecture has a rich natural environment and is ecologically valuable. On the other hand, there is a concern about decreasing in groundwater recharge due to urban development and reduction of paddy fields. Water banking has been experimented as a solution to these possible problems. In this study, the characteristics and effects of water banking under several conditions were verified by conducting a water balance analysis in the Zuibaiji River basin, assuming that water banking is applied to wastelands such as fallow and abandoned fields and non-cultivated paddy fields. As a result, the difference between water banking on wasteland and paddy field, and the difference in the location of water banking were revealed. It was also confirmed that water banking can increase groundwater recharge by 7%, decrease surface runoff by 15.5%, and store 7% of total surplus surface water underground in the entire Zuibaiji River basin regardless of land use conditions. Also, in common with all conditions, the freshwater level increases significantly immediately after water banking. However, the speed of return to the original water level is also fast during the period when water banking is not conducted. On the other hand, as for the saltwater level, the range of change in the water level immediately after water banking was small, but it decreased from the original saltwater level the longer it was implemented. Furthermore, it was found that the surface runoff rate of the surrounding area was uniformly low per grid, and the water level improvement by water banking was more effective for the land with higher runoff coefficient. The results obtained from the analysis of water banking in this study will contribute to the countermeasures against environmental problems such as sea level rise and precipitation decrease.