

# 人工氾濫を有する広島県霧ヶ谷湿原における 河川水・栄養塩動態

RIVER WATER AND NUTRIENT DYNAMICS IN KIRIGATANI WETLAND  
WITH ARTIFICIAL FLOOD, HIROSHIMA PREFECTURE

赤松良久<sup>1</sup>・高村紀彰<sup>2</sup>・山本浩一<sup>1</sup>・佐久間智子<sup>3</sup>・白川勝信<sup>4</sup>・藤井猛<sup>5</sup>  
Yoshihisa AKAMATSU, Yoshiaki TAKAMURA, Koichi YAMAMOTO, Tomoko SAKUMA,  
Katsunobu SHIRAKAWA, Takeshi FUJII

<sup>1</sup>正会員 博(工) 山口大学大学院准教授 理工学研究科社会建設工学専攻  
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

<sup>2</sup>学生会員 学(工) 山口大学大学院生 理工学研究科社会建設工学専攻  
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

<sup>3</sup>非会員 中外テクノス株式会社  
(〒733-0013 広島県広島市西区横川新町9-12)

<sup>4</sup>非会員 博(学術) 高原の自然館  
(〒731-2551 広島県山県郡北広島町東八幡原119-1)

<sup>5</sup>非会員 広島県 環境県民局 自然環境課 野生生物グループ  
(〒730-8511 広島県広島市中区基町10-52)

Nature Restoration Project in Yawata Wetland was performed from 2006 to 2008. It aimed for the restoration of the mire vegetation by the works of Neo-Natural River Reconstruction and the construction of sub-channels in the wetland. In this study, river water and nutrient dynamics in the Kirigatani Wetland are observed, and the validity of the artificial flooding to the wetland is discussed.

The field observations in Kirigatani Wetland were conducted to know river water and nutrient dynamics. As a result, water accumulate in the wetland during the high-water term, on the other hand, water are supplied from the wetland to the main channel during the term of ordinary discharge. These results indicate that the artificial flood, induced by sub-channels, enable the wetland to keep the water and nutrients.

**Key Words :** *River water and nutrient dynamics, artificial flood, Nature Restoration Project, Kirigatani Wetland*

## 1. はじめに

雨水のみによって植生が維持される高層湿原と、地下水の涵養によって植生が維持される低層湿原の中間的な性質を持つ中間湿原は、日本では屋久島を南限とした冷温帯に広く分布している。日本で最も広い釧路湿原はその8割が低層湿原に当たり、ここでは湿原の乾燥化によりその面積は50年間で5分の1以上も減少し、陸性のハンノキ群落が急激に拡大している<sup>1)</sup>。そこで、釧路湿原ではラムサール条約登録当時1980年の湿原環境を目標として、自然再生事業が複数の地域で進められている。ここでは、湿原内での生物学的な植生調査に加えて、湿原の

乾燥化の原因究明のための表層水(土砂)・地下水の動態に関する研究が行われている<sup>2-5)</sup>。釧路湿原同様に、広島県北広島町に位置する中間湿原の八幡湿原においても、湿原の復元に向けた自然再生事業が2007~2009年にかけて実施された。八幡湿原は臥竜山(1229m)、掛頭山(1126m)と言った1000m級の山々に囲まれた八幡高原に存在する(図-1)。年平均気温は10℃前後であり、年間降水量は2400~2600mmと中国地方でも最も降水量の多い地域となっている。八幡湿原の一部である霧ヶ谷湿原は学術的にも価値の高い中間湿原であったが、1965年から行われた牧場造成により、土地の乾燥化が進行し、湿原の大半が陸生の植生により覆われることとなった<sup>6,7)</sup>。1986年に、牧場は閉鎖されることとなったが、土地の乾

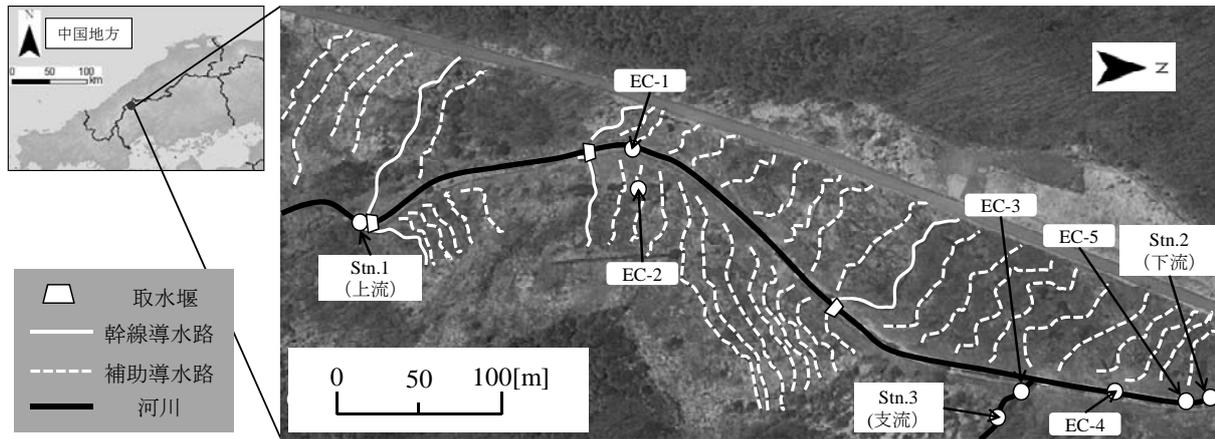


図-1 研究対象地域と観測地点

乾燥は進行し続けていた。この自然再生事業は、コンクリート三面張り水路の改修、落差工の設置、取水堰・導水路の整備により水を事業地内に止め、地下水位を上昇させることにより、事業地全体を湿潤化させることを目的として行われた。また、本事業地を自然環境学習等の場とするため観察路の設置や解説板の設置、サンショウウオなどの小動物の移動に配慮した側溝や集水桝等の改良も行われた。再生工事後、湿原再生状況の点検・把握のために、地下水位や河川内水位の観測や湿原性の動植物の調査については継続的に行われているが、水路の改修や導水路の整備が湿原内の水・物質循環に与える影響に関しては十分な検討がなされていない。

そこで本研究は、霧ヶ谷湿原を対象として、自然再生事業後の湿原内における河川水・栄養塩動態の把握を行い、導水路による湿原への人工氾濫の有用性について検討する。

## 2. 自然再生事業の概要

八幡湿原自然再生事業は、西中国山地自然史研究会による事前導水実験とモニタリング<sup>8)</sup>、<sup>9)</sup>および実施計画に基づいて広島県が行った樹木の伐採・排水路の埋設・導水路の設置などの工事がその主な内容である。ここでは広島県が実施した工事のうち、特に湿原内の水・物質循環に関連する導水路の設置について概略を述べるとともに、2005年および2011年に実施されたモニタリングの結果をもとに、植生の回復状況について記す。

霧ヶ谷湿原を再生するためには、事業地内にできるだけ長い時間、水を留めることが必要である。そのため、広島県はコンクリート水路の改変と排水路の埋め戻し、導水路の設置、および侵入した樹木の伐採を2007年に実施した。2007年の工事では全体の半分の区域において工事が完了し、残り半分の区域については2008年度に実施された。



写真-1 主流路と幹線導水路

### (1) 三面張りコンクリート水路の改変

霧ヶ谷湿原の中央を流れる河川（コンクリート水路）は深さが1.2mあった。これを単純に埋め戻しては、埋め戻した土砂が下流に流出する恐れがあった。そこで、水路をおよそ20mごとのユニットに分け、帯工や落差工を設置し、各ユニット内では河床勾配が改変前の約半分、1.8%になるような構造とした。また、側壁は上部のみを取り壊し、下部はそのまま残した。埋め戻す資材には直径10cm以上の礫を用い、出水時にも流されないように配慮した。礫の下には取り壊されたコンクリートも埋め戻し用の資材として使われており、工事による廃材の持ち出しは無かった。埋め戻した礫間には大きな間隙があるため、事業地から流れ出る土砂を貯める機能も期待された。間隙が土砂で埋ることで、将来的には、自然の営力により完全に水路が埋まることを見越している。

### (2) 湿原内の導水路の設置

コンクリート水路の改変のみでは湿原への水の供給が行われないため、中央の主流路に取水堰を設置し、河川から事業地内へと導水した（写真-1）。取水堰から続く導水路は素堀とし、勾配を付けずに水平方向に延長した。導水路を水平に設置することで、水は等高線上に均等に行き渡り、適当な場所で溢れると期待された。本事業では、河川と直接接続している導水路を「幹線導水路」と

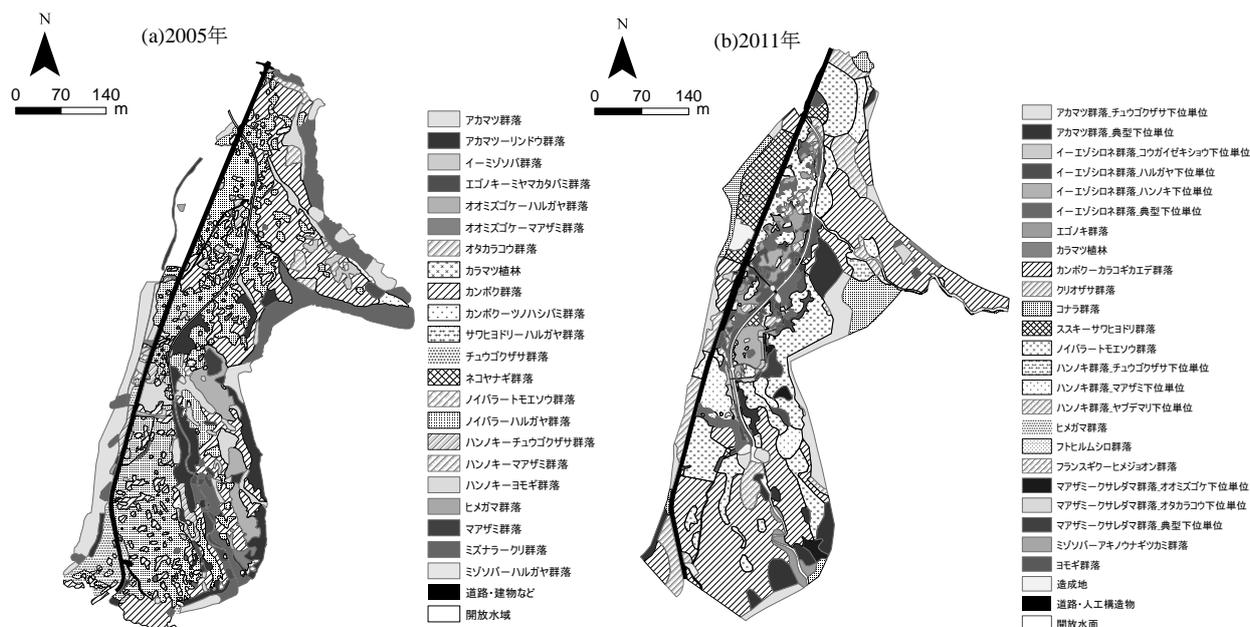


図-2 2005年および2011年の細密植生図<sup>10)</sup>

呼んでいる。2007年度の工事では3基の取水堰と3本の幹線導水路が設置され、2008年度の工事ではさらに2本の幹線導水路が追加され、最終的には3基の取水堰から5本の幹線導水路が設置された。

幹線導水路の設置だけでは、溢れた水は低いところに集まり、斜面方向の水路を作るため、幹線導水路と幹線導水路の間には、水平方向に素堀の補助導水路が設置された。補助導水路には流入も流出もないが、幹線導水路から溢れた水は補助導水路に受け止められ、もう一度水平方向に広がり、また溢れる、という流れ方をする。補助導水路を複数設けることで、勾配がある場所でも斜面全体に湿った環境が形成されている。

幹線導水路と補助導水路は素堀のため、水が溢れている箇所が掘削され、特定の場所からのみ水が溢れるようになっていく。そのため、短期的には事業地内に湿潤な場所と乾燥ぎみの場所が混在することになるが、春の出水などにより流路が変化することで、湿潤環境と乾燥環境が入り組んだ氾濫原の環境が作られていくことが期待されている。

### (3) 湿原内の植生の回復状況

霧ヶ谷湿原を流下する河川は、事業地中央部で西側の道路に近づいた後、東にカーブして支流と合流した後、再び西にカーブして事業地外へと流出する。取水堰は、事業地南端、西から東にカーブする部分のやや手前、支流と合流する手前の3箇所を設置され、上流部から順に第一・第二・第三取水堰と呼ぶ。最下流の取水堰のみ、左岸側へのみ幹線導水路が設置された(図-1)。氾濫原植生の形成が期待されたのは、これら取水堰の下流側である。

図-2に2005年および2011年の湿原内の植生分布を示す。

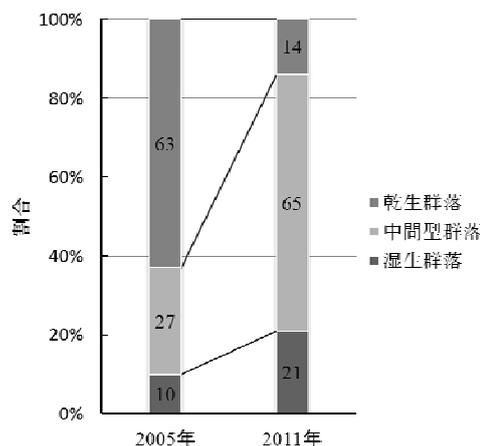


図-3 群落割合の変化<sup>10)</sup>

再生工事開始前の2005年には、事業地全域においてノイバラ ハルガヤ群落とカンボク群落がモザイク状に見られ、河川に沿ってアカマツが生育するなど、全体を低木群が優占していた。湿生植物群落は、事業地中央部にハンノキが優占する低木群がまとまって見られる他には、山裾の湧水地や排水路の脇に小規模なマアザミ群落やオタカラコウ群落が断片的に見られるのみであった。再生工事に伴う伐採により、2011年には全体的に草本が優占する群落が出現した。特に、Stn.1より下流の、ハンノキ群落が保全された場所以外において、マアザミ、イ、ミゾソバなどの湿生植物が優占する群落がモザイク状に出現しており、導水路設置の効果が確認された。このうち、イが優占する群落は工事による土壌のかく乱の影響が大きいと考えられ、場所によっては早期に陸生の群落へと遷移すると考えられる。また、伐採されたノイバラの回復によるノイバラ トモエソウ群落や、ヨモギ群落など、乾性の遷移をたどると予測される箇所も見られる。図-3

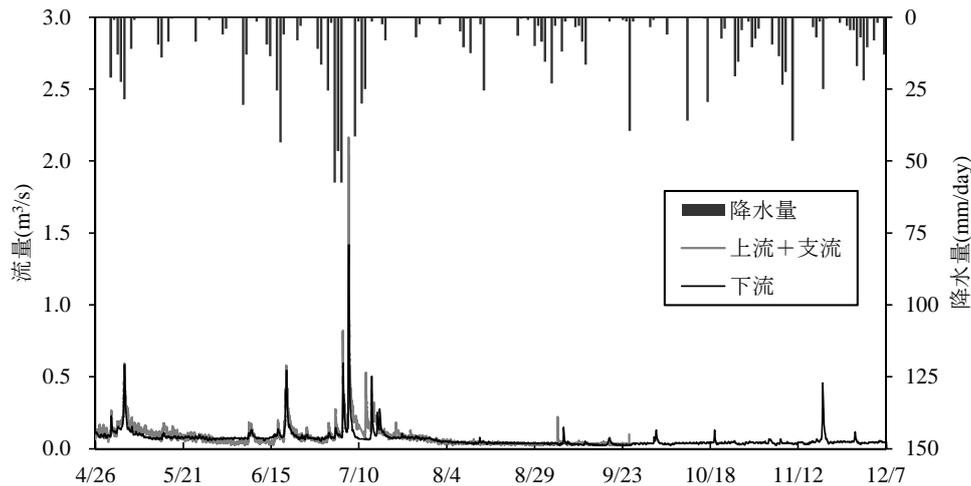


図-4 降雨量と流量の時系列変化

に2005から2011年にかけての乾生群落、中間型群落、湿生群落の割合の変化を示す。中間型群落および湿生群落が増加していることがわかる。現段階において、湿原が回復したと判断するには尚早であるが、取水堰と導水路の設置は、湿生植物群落の拡大に一定の効果があることが確認された。

### 3. 現地調査概要

霧ヶ谷湿原内において、上流、下流、支流の計3地点を設定し、それぞれStn.1~3として観測を行った(図-1)。調査は、2012年の4月25日、6月19日、7月11日、8月6日、10月5日、10月17日、11月5日、12月7日に実施した。各地点で水サンプルの採取を行い、水位計を設置すると同時に河川断面の横断測量と流速を計測することで、調査時における流量を算出した。水サンプルについては、採取後、栄養塩濃度(T-N, T-P, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P)の計測を行った。また、各地点の水位と流量の観測値を元にHQ曲線を作成し、5分毎の流量の時系列データを算出した。さらに、2012年8月6日13:30~18:30にStn.1にポンプで塩水30L(電気伝導度11640mS/m)を投入し、主流路内2点(図-1中のEC1, EC5)及び湿原内3点(図-1中のEC2, EC3, EC4)において電気伝導度(以下EC)の計測を10分間隔で行った。なお、EC5では設置型の電気伝導度計を用いて2012年8月6日12:00~8月7日14:00にかけて1分間隔の連続モニタリングを行った。また、湿原内の地点は河川(主流路)に流入する自然にできた小水路内で計測を行った。

### 4. 現地調査結果及び考察

#### (1) 流量の時系列変化

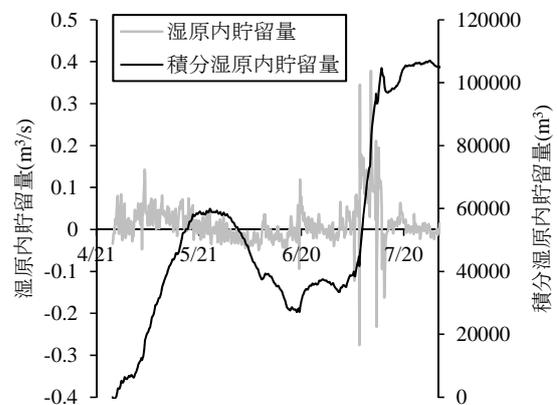


図-5 湿原内の貯留量の時系列変化

観測期間中の降水量および流量の時系列データを図-4に示す。9/25以降の上流+支流については、水位が計測できていなかったため除外している。下流については、広島県から提供された水位データを使用した。水位計を設置した4月25日から流量の増加している7月30日の期間において、上流+支流の流量が下流の流量より多い期間と、上流+支流の流量が下流の流量より少ない期間が存在することが分かる。さらに詳しく湿原内の河川水の動態を把握するため、先程の期間における湿原への水の貯留量を図-5に示す。ここで、湿原内貯留量は上流+支流と下流における流量の差を表したものであり、湿原内貯留量がプラス域であれば湿原へ河川水が供給されており、マイナス域であれば湿原から水の流出が起きていることを示している。また、積分湿原内貯留量は調査開始日の4月25日を基準とし、期間内の湿原内の水の貯留の積分値を表したものである。湿原内貯留量はプラス域とマイナス域の移動を繰り返していることから、水が湿原内において貯留と流出を繰り返していることが分かる。同様に、積分湿原内貯留量も増加と減少を示しており、このことから導水路を通し、湿原内の水の循環が活発に行わ

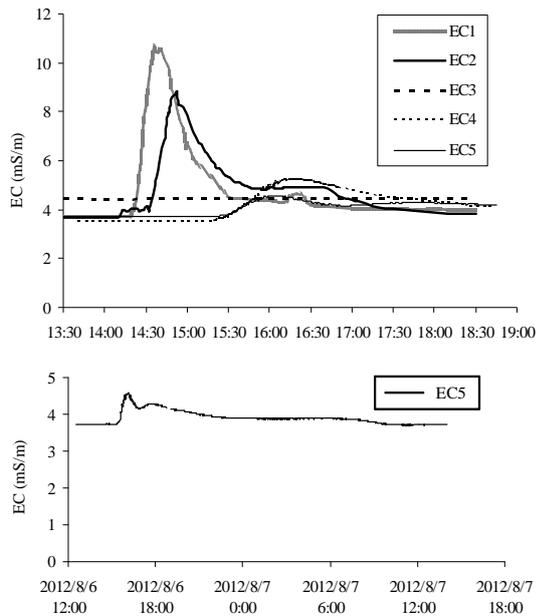


図-6 電気伝導度 (EC) の時系列変化

れていると言える。

## (2) 塩分によるトレーサー実験

EC1~5 (図-1) において計測されたEC値を図-6に示す。なお、EC5については設置型測定機によって8月7日13:30まで計測を続けており、その結果も図-6に示している。塩水は8月6日の13:35~36の一分間にポンプを使って供給されており、河川内の地点であるEC1およびEC5においてはそれぞれ14:41、16:07にピークが見られた。下流のEC5の地点では塩分の河川内での分散によってピークがなだらかになっていることがわかる。しかし、EC5でのEC値が塩水投入前の状態に戻るのには8月7日10:30以降であり、これの河川内での分散に加えて、導水路を通して湿原内に氾濫した塩水が浸透水として河川内に流入していることを示している。次に湿原内の自然に形成された流路内の地点であるEC2~4について見ていく。EC2では河川内に近い立ち上がりのピークが見られるが、これは右岸側には湿原内に主流路に沿う形で水路が形成されており、その水路を通じた水の輸送が活発に行われているためと考えられる。しかし、EC3では上流で湿原内に供給された水が表流水あるいは地下浸透水として主流路と支流に流れ込むため、EC値の上昇は見られない。EC4では近くの河川内のEC5とほぼ同時刻の16:11にピークが表れており、EC4においても左岸の湿原内を通る水路を通じて水がすみやかに流下したことがうかがえる。

以上のことから、人工氾濫を促す導水路を有する霧ヶ谷湿原においては、平水時においても湿原内の広い範囲に河川水が行きわたり、湿原内を湿润状態に保持していることが分かった。

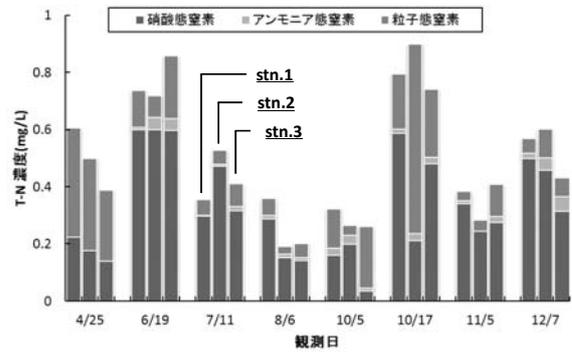


図-7 Stn.1~3のT-N濃度

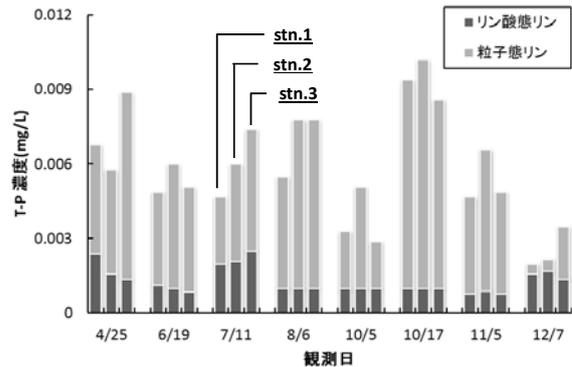


図-8 Stn.1~3のT-P濃度

## (3) 栄養塩濃度の時系列変化

Stn.1~3における窒素、リン濃度の時系列変化を図-7、図-8に示す。窒素に関しては溶存態有機窒素および亜硝酸態窒素が微量であったため、図中の硝酸態窒素、アンモニア態窒素、粒子態窒素を合計したものを全窒素 (T-N) とみなしている。リンについても溶存態有機リンが微量であったため、リン酸態リンと粒子態リンを合計したものを全リン (T-P) とする。まず、窒素に着目すると、T-Nに占める硝酸態窒素の割合が大きく、アンモニア態窒素の割合が極めて小さい。また、T-Nは6月19日および10月17日に高くなっているがこれは降雨の影響によるものと考えられる。次に、T-Pについては粒子態リンが大部分を占めていることがわかる。また、T-Pに関してはほぼすべての観測日において上流 (Stn.1) より下流 (Stn.2) の濃度が高い。これは、河川水が湿原内を通過する際に導水路を通して氾濫し、湿原内の粒子態リンを含んだ表層水として再流入するためと考えられる。

## (4) 湿原内の水収支

ここでは、湿原内の水収支の検討を行う。図-2に示した流量の時系列データより、上流+支流の流量が下流の流量を上回る4月29日から5月12日 (14日間) を豊水時、それが下回る5月24日から6月6日 (14日間) を平水時として、その期間の水収支を図-9に示す。上流+支流の値と下流の値の差を計算し、正の値を示すと貯留、負の値を示すと流出を表している。なお、流量は期間中の日平均値として表示している。カッコ内の数値は上流+下流

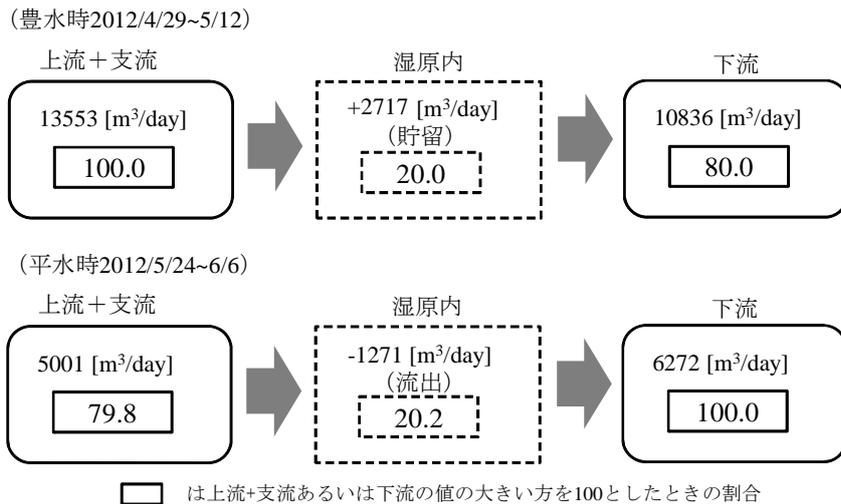


図-9 豊水時および平水時の湿原内の水収支

あるいは下流の値の大きい方を100としたときの割合を示している。図-9より、上流+支流の流量は豊水時には平水時の2倍以上あることが分かる。また、増水時には上流+支流の流量の20.0%が湿原へ供給され貯留しており、平水時には下流の流量の20.2%にあたる水が湿原から流出していることが分かった。実際には湿原内の植物による蒸発散を考慮する必要があるものの、霧ヶ谷湿原では増水時には氾濫した河川水を貯留し、平水時には浸透流として河川内に流出するという水循環システムが再生されていることが明らかとなった。

## 5. 結論

人工氾濫を起こすための導水路を設置している広島県霧ヶ谷湿原を対象として、自然再生事業後の湿原内の水・物質動態を現地調査により検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 湿原内への導水路の設置と樹木の伐採により、自然再生事業前後で湿生植物群落は2倍以上に増加した。
- 2) 湿原の上流端から塩分トレーサーを投入し、その動態を調査したところ、平水時においても湿原内の広い範囲に河川水が行きわたり、湿原内を湿潤状態に保持していることが分かった。
- 3) 湿原内の水収支から、豊水時には湿原内に氾濫した河川水を貯留し、平水時には浸透流として河川内に流出するという水循環システムが再生されていることが明らかとなった。

**謝辞：**現地での採水に関してはNPO法人西中国山地自然史研究会の河野弥生様に多大なる御助力を頂いた。また、

山口大学社会建設工学科赤松研・山本研学生諸子には現地観測の補助をして頂いた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1)新庄久志：釧路湿原のハンノキ林，(財)前田一步園財団創立20周年記念論文集，北海道の湿原，pp.17-33，2002.
- 2)Nakayama, T. and Watanabe, M.: Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder (*Alnus japonica*) in Kushiro Mire, *Water Resour. Res.*, 40(8), W08402, doi:10.1029/2004WR003174, 2004.
- 3)羽石嵩，中津川誠，工藤俊：釧路湿原におけるハンノキ林の拡大に及ぼす地下水の影響についての研究，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.67, No.4, I\_135-I\_1362, 2011.
- 4)名久井孝史，清水康行，藤田隆保：釧路湿原における河川氾濫に伴う土砂堆積と乾燥化現象の関連性に関する研究，水工学論文集，第47巻，pp.907-912，2003.
- 5)林誠二，村上正吾，亀山哲，渡辺正孝：釧路湿原における水・土砂動態に対する二次元洪水氾濫解析の適用，水工学論文集，第47巻，pp.913-918，2003.
- 6)吉野由紀夫：広島県臥竜山麓の植生変遷，高原の自然史 10・11，pp.23-37，2005.
- 7)吉野由紀夫，白川勝信：広島県臥竜山麓の放牧跡地に発達した植生，高原の自然史 10・11，pp.1-21，2005.
- 8)上野吉雄，森 春彦，小柴正記，藤原俊二，吉野由紀夫，白川勝信：広島県臥竜山麓におけるホオジロ科鳥類 3 種の生息環境選択，高原の自然史 13，pp.53-63，2008.
- 9)白川勝信，上野吉雄：広島県臥竜山麓の放棄牧草地における鳥類の環境選択，高原の自然史 13：pp.65-81，2008.
- 10)広島県：八幡湿原自然再生事業植物群落調査・解析業務報告書，2011.

(2013. 4. 4 受付)