

# 近年の小集水域における湿地環境の 形成と河川流域におけるその役割

FORMATION OF A SWAMP SYSTEM IN A MICRO BASIN  
IN RECENT YEARS AND ITS ROLE IN THE RIVER BASIN

木呂子 豊彦<sup>1</sup>・藤田 裕一郎<sup>2</sup>・水上 精栄<sup>3</sup>  
Toyohiko KIROKO, Yuichiro FUJITA and Seiei MIZUKAMI

<sup>1</sup>正会員 岐阜大学大学院工学研究科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1番1)

<sup>2</sup>フェロー 工博 岐阜大学教授 流域圏科学研究センター (〒501-1193 岐阜市柳戸1番1)

<sup>3</sup>正会員 工修 岐阜大学工学部 ものづくり技術教育支援センター (〒501-1193 岐阜市柳戸1番1)

Abandoned paddy fields are increasing in Japan nowadays, especially in micro drainage basins in suburbs and mountainous regions, where some specific kinds of stream-swamp systems have formed to produce interesting features of ecosystem. We have continued observations of environmental changes in abandoned paddy fields in order to clarify their roles in river basin environment and rainfall runoff, measuring flow velocities and water qualities in a stream-swamp system there, monitoring discharge at the downstream end and collecting rainfall data near there. It was found out that the stream flows interact with topography, vegetation, soil properties and organic matters as same as ordinary rivers, that three species of freshwater fish, two of loach and one of carp, live there and that their inhabitation is strongly influenced to by changes in flow conditions caused by strong rainfalls, and that correlations between rainfall and discharge show quick runoff responses and changes due to cultivation abandonment.

**Key Words :** *micro basin, abandoned paddy fields, rainfall runoff, river basin*

## 1. はじめに

背後に小集水域を有する谷地では、古くから水田耕作が行われてきたが、水田が谷地の湿地としての機能を高めたこともあって、動植物に豊かな生息・生育環境を与える場となってきた。近年、全国的に様々な形で耕作放棄地が増加しているが、その代表は谷間の水田であり、そこに放棄後に形成される湿地では、人工的に整備され、維持されてきた水路が本来の流路に回帰していく状況が現れ、それらと耕作放棄地に生じる水域等とが結合して独特の流れ場が形成される。ここでは、水温や水質、流速等も特徴的な変化や分布を示すことが多いが、この根底には放棄後の水田における降雨流出特性の変化があり、一般の河川と同様に、地形や植生、移動する土砂や有機物と流れとの間には相互作用が認められる。その結果、流路の水温分布や底質等だけでなく、それらに依存するホトケドジョウなどの生物にも影響が及ぶが、同時に生息環境の代替性も認められ、谷地にホトケドジョウを生息させる理由となっている。こうした谷地は、河川集水域の一部を

構成し、流域に多数存在するだけに、河川の流況や土砂流入状況を安定させ、また、周辺都市気候を緩和するなど、優れた環境保全機能を有する。これらの機能とその変遷を解明することは、谷地の自然再生や河川流況の安定など流域管理にも貢献する。

## 2. 調査地の概要

調査地は岐阜県関市下有知地内に位置し、図-1に示すように北東-南西方向の軸を持つ細い谷地である。古くから湧水を水源として営まれてきた水田の跡地であり、耕作放棄後30年以上を経て、現在は棚田地形と水路跡を一部残す以外はハンノキが茂る湿地と化している。湿地の南側の丘陵地にはゴルフ場が、北側の丘陵地には工業団地が造成されている。調査地の西縁に沿って排水路が設置されており、調査地を流域的に分離している。水源を涵養しているのは湿地上流部に広がる丘陵地であり、約3.4haの集水域が恒常的に湿地に水を供給している。本地域の基盤を成す地質は中・古生代の美濃帯堆積岩であり、主に砂岩とチャートから構成されている。植生に関しては、池の周辺にはヨシ、

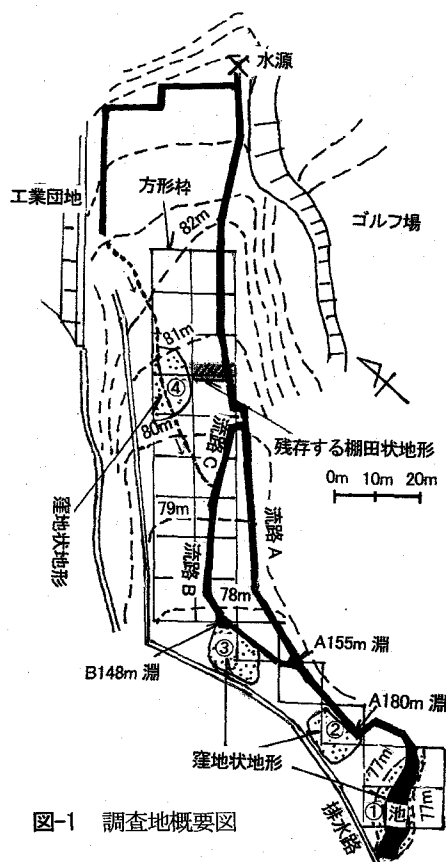


図-1 調査地概要図

ガマ、ミゾソバ、キショウブ群落が分布し、池の周辺以外にはハンノキ群落が、調査地周辺の斜面にはコナラ群落が分布する<sup>1)</sup>。水源は丘陵の山裾にあり、そこから2つの流れに分岐する。一つは水源からゴルフ場の斜面沿いに直接流末の池に連なる流路である。もう一つの流路は水源から北西方向に分流し、山裾からのしみ出し水を合流させながら北側の湿地状地形に入り、暫く明瞭な流路を持たずに流れた後、湿地中央部で再び流路となり、上記流路と合流する流れである。上記の水系の状況を把握するために、3つの区間、流路A～Cに区分して流下方向に距離を付し、2005年から2007年にかけて流速・水温測定、生物調査、粒度試験等を実施した。以下の検討では、たとえば流路Aの水源から155mの地点はA155m、そこにある淵はA155m淵と表記する。流路BとCについても、同様に、流路沿いに水源からそこに至るまでの距離で表記する。なお、湿地内には10mメッシュの調査用方形枠も設けている。

### 3. 湿地の環境

#### (1) 流速分布

流速測定は、表面浮子などのトレーサーとビデオ撮影を組み合わせた方法で行った。小規模な水路ではトレーサーが捕捉されやすく、試行錯誤の結果ラッカースプレーを採用した。ラッカースプレーを水面に噴きつけ攪拌すると微粒子状になり、その微粒子をトレーサーとした。図-2に流速の流下方向分布を示す。流路A、B、Cにおける区間流速を水源からの距離で示し、

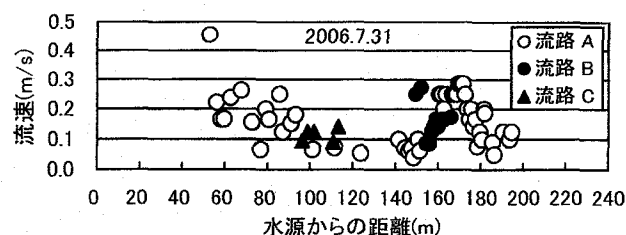


図-2 流路の流速分布

相互に比較できるようにしている。測定値は流路中心の表面流速である。測定結果は、流路Aの最上流区間で0.4m/sを超えているが、概ね0.05～0.25m/sの範囲にあり、流路AのA155m淵を過ぎてから170m付近まで0.25～0.3 m/sと比較的速い流速を示す。A159mの路床には転石が多く、その前後の区間も礫・砂に富む。A170mの粒度試験結果には細粒分が10%以下という特徴が見られる。これらは、この区間のほとんどが細粒分の通過域となっていることを示している。流速は、屈曲部に位置するA180m淵付近から再度低下し、それとともに路床には細粒分が多くなり、そこから池にかけて細粒分の堆積域となっている。なお、A94m～A155m淵の区間は後述する堰き止めの影響を受けていると思われる、流速と底質の関係はあまり対応していない。

#### (2) 水温分布

図-3に、2006年春～秋の流路の水温分布を示す。図中には気温と、水源、池の水温も併せて示した。測定は各回14:30～16:30の間で、1時間以内に終了するように行った。2006.6.5の水温分布を例に取り上げると、流れの合流に伴う水温変化がよく現れている。流路Bの1点目のデータは、流路Cと合流する前の水温であり、明瞭な流路を持たず、広がって流れる間に温められている。この高めの水温が水源の影響で低めの水温を保つ流路Cと合流すると平均的な水温に下がるが、斜面沿いの樹陰を流れ、水源の影響を保ちやすい流路Aよりは高い水温を保ちつつ、A155m淵の直下で流路Aと合流する。合流後の流路Aは流路Bと同程度の水温となり、最下流の池に達し、そこでまた温められる。水温分布の傾向を見ていくと、2006年6月5日と2006年8月2日の間で、流路Aと流路Bの水温分布が逆転しているのが目に付く。6月5日以前は流路Bの水温の方が高いが、8月2日は流路Aの水温の方が高くなる。流路Aの上流を観察したところ、図-4に示すように、流路Cへの分流箇所の下流に落枝などの有機物が溜まり、透過型の堰と同じような状態が形成されていた。そのため、水温の低い水源からの流量の多くは流路Cを通じて流路B側に流入し、流路Aの下流への流入量は激減していた。堰き止め以前の流量配分はこの逆であった。6月5日と8月2日の間には梅雨期が挟まれていることから、梅雨に伴って流量の増加した流れが流路周辺の落枝を運び、堰き止めたと考えられた。これが自然に形成さ

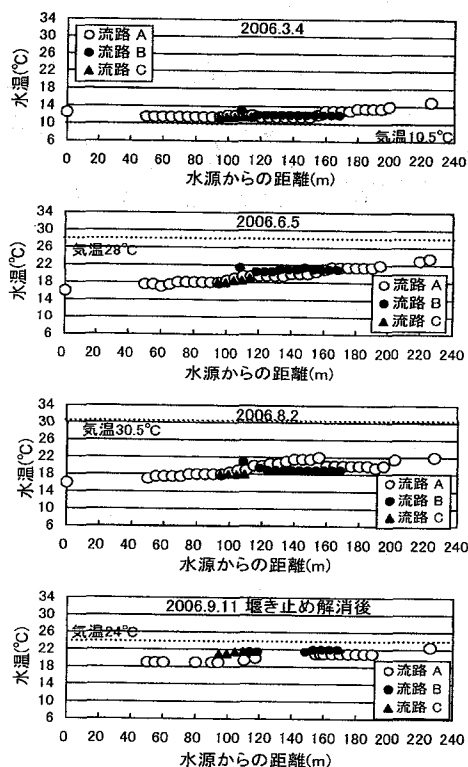


図-3 流路の水温分布

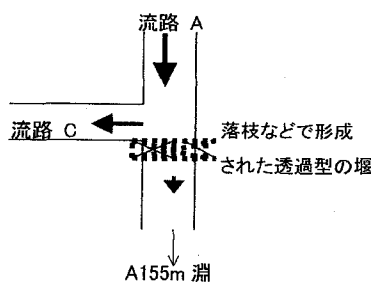


図-4 堰き止め箇所の状況

れた状態であることから、逆にこの状態で魚類の生息調査等を継続し、その影響を確認した後に復旧して、復旧後の調査結果と比較するものとした。9月4日の測定終了後、前述のように、流路Cへの分流箇所の堰き止めを解消した。その結果、流路Aと流路Bの水温分布は再び逆転し、6月5日以前の状態に戻ったことが9月11日の測定結果で確認された。

### (3) 魚類の生息環境

湿地の水域には、ホトケドジョウ、ヌマムツ、ドジョウの3種類の魚類が陸封された状態で生息している。湧水に起因する低温域を好むホトケドジョウは、生息域が激減していることから、現在ではレッドリストの絶滅危惧ⅠB類(EN)に分類されている。これらの魚類は、落差が他に比して大きい2つの淵、流路AにおけるA155m淵と、流路BにおけるB148m淵を上流側の移動限界として、最下流の池に至るまでを主要な生息域としている。2006年8月15日～9月11日の間に計11回の魚類の生息調査を行った。本調査では個体数の確

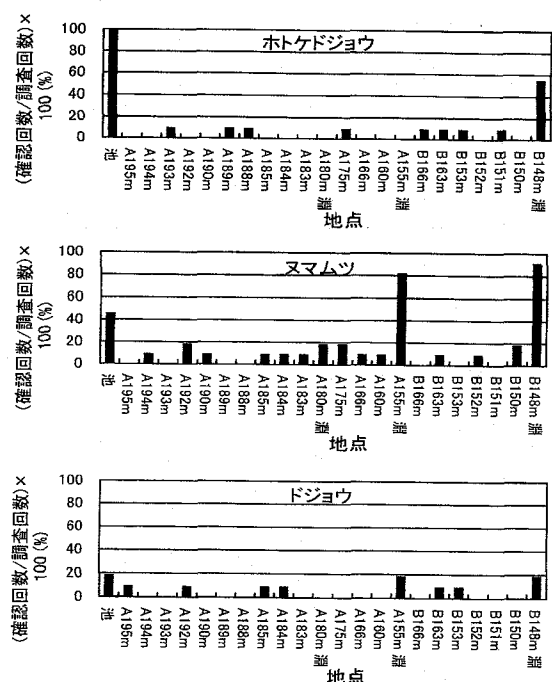


図-5 地点ごとの魚類確認頻度の比較

認を目的とせず、特定の場所に魚類が存在するかどうかの確認を目的とした。流路については1mおきに各1分、A155m淵とB148m淵は各5分、池は10分を原則とし、たも網による調査を流路沿いに行った。計11回の中で特定の場所での確認頻度が高ければ、そこは魚類の定着度が高い場所と判断され、その魚類にとって安定した生息環境である可能性を示し、逆に低ければ定着度が低く、移動中の利用等に限定されていることを示すものと考えた。各地点における3種の確認頻度を相対比較するために、地点ごとの(確認回数/調査回数)×100(%)の値を求めた。その結果を図-5に示す。ここで取り上げた地点は、3種のいずれかが1度以上確認された場所である。

ホトケドジョウは池とB148m淵での確認頻度が高かった。とくに、池では100%を示し、中でも、キショウブの根際では稚魚・未成魚が多数確認され、水生植物に富む池がホトケドジョウの産卵場所になっているものと判断された。一方、ヌマムツの確認頻度が高いA155m淵では、ホトケドジョウは一度も確認されなかった。この時点では、流路Aに堰き止めが起きており、その影響による生息環境の悪化が原因と考えられた。ヌマムツは池とA155m淵、B148m淵のすべてで確認頻度が高かった。とくにB148m淵では90%を超え、ホトケドジョウが一度も確認されなかったA155m淵でも80%を超えた。それに対して、池では45.5%にとどまった。ドジョウの確認頻度が全体に低いのは、生息個体数自体が少ないのも理由にあげられるが、泥に潜り込む性質があり、泥が厚く堆積した池や流路での確認が限られていたためと思われる。9月4日の全調査終了後、分流箇所付近の堰き止めを解消した。2005年の調査では、ホトケド

ジョウは上記の傾向と全く逆に、B148m淵で一度も確認されず、A155m淵では毎回確認されていた。この理由が低温を好むホトケドジョウの水温選好特性にあると考え、ホトケドジョウが高温を示すようになったA155m淵を嫌ったせいではないかと推測した。しかし、堰き止め解消後の9月11日に実施した調査でも、流路Aと流路Bの水温分布が元の状況に戻ったにもかかわらず、上記の傾向は全く変らなかった。

その後、淵について2006年の状況を2005年の観察記録と比較した結果、水温だけではなく底質の状況も逆転していたことが判明した。A155m淵では2005年には有機物を含む厚い底質があったのに、2006年にはほとんどなくなり、有機物がなかったB148m淵では底質とともに大型の植物根が出現していた。そこで、A155m淵に有機物を含んだ底質を確保すれば、低温に戻ったA155m淵にホトケドジョウが戻ってくるという仮説を立て、周辺の草を刈り取り、泥とともにA155m淵に沈めて、1ヶ月後に再度調査を行った。その結果、A155m淵ではホトケドジョウが再び確認されるようになり、逆にB148m淵では観察されなくなった。以上から、ホトケドジョウは、葉や根茎等を含む底質を重要度の高い生息条件とし、そのうえで水温が相対的に低い場所を選好するのであると推測された。

#### 4. 降雨流出特性

##### (1) 流出流量の観測と気象資料の収集

ホトケドジョウの生息環境の逆転現象は、前述のように梅雨期の降雨に起因すると推測された。降雨は湧水の供給源となり生物の生息環境を維持するとともに、土砂や有機物を移動させ、生息環境を攪乱する形で生物に影響を与えている。これが湿地における降雨と生物のかかわりである。しかし、人為的に管理されている耕作水田と異なり、耕作放棄水田では、水田形状の喪失や植生遷移の進行とともに、基本となる降雨流出特性が変化していく可能性がある<sup>2),3)</sup>。このような小集水域は河川流域内に多数存在するだけに、河川流況の安定のためにも、その降雨流出特性を把握しておく必要がある。その基礎的データ収集のため、2005年11月以降、湿地の唯一の流出口である池の流末に四角堰を設けて、流出流量の自動観測を継続している。流出流量は、データロガー付水位計による越流水深測定結果を堰公式で流量に換算し、実流量による検定結果で補正して求めている。降雨データについては、予算等の関係から現地での観測を行っていないので、周辺気象資料を収集した。対象流域の北方約4.5kmの美濃市内に位置する「アメダス美濃観測所」(以下「美濃」と称する)のデータを入手するとともに、南方約4.5kmの関市内に位置する「中濃消防組合消防本部」(以下「関」と称する)のご協力を得て、1999年以来の気象データを入手した。この二つのデータから現地の降雨状況を分析

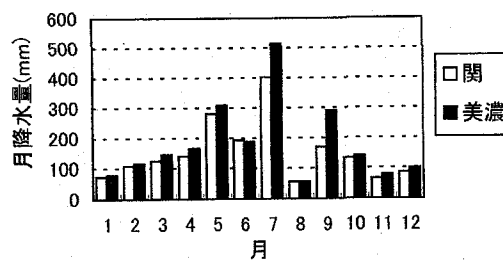


図-6 2006年の月間降水量の変化

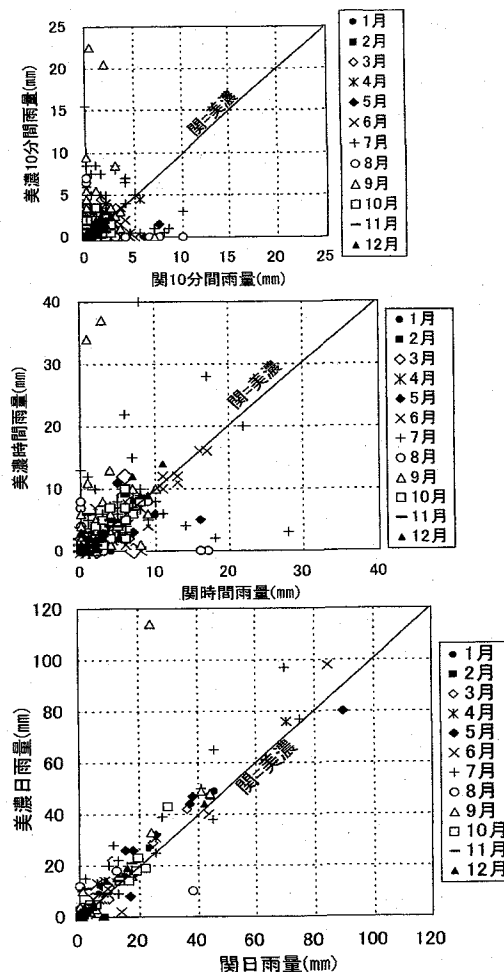


図-7 関と美濃の降雨量の関係

した。図-6に流出流量の主要な観測期間である2006年について、月間降水量を示した。関と美濃で変化の傾向はよく似ているが、関の年間降水量が1795mmなのに対して、美濃の年間降水量は2185mmと、美濃の方が全般に降水量が多い。2006年は降雪が少なく、有人の関の気象資料によれば、3月30日の降水が唯一降雪によるものである。そのため、以下の検討ではデータを降水量ではなく、降雨量あるいは単に雨量と呼ぶ。降雨は梅雨期の7月が最も多く、関では400mm、美濃では500mmを超え、年間降雨量の22~24%を占める。

##### (2) 関と美濃の降雨の調査地への適用性

図-7に関と美濃の降雨量の相関関係を示した。上から順に10分間雨量、時間雨量、日雨量の関係である。

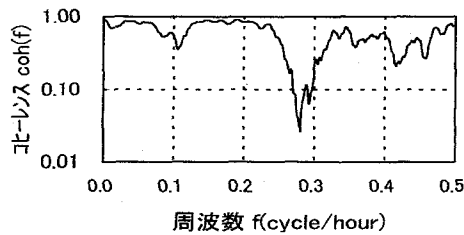


図-8 時間雨量と時間流出のコヒーレンス

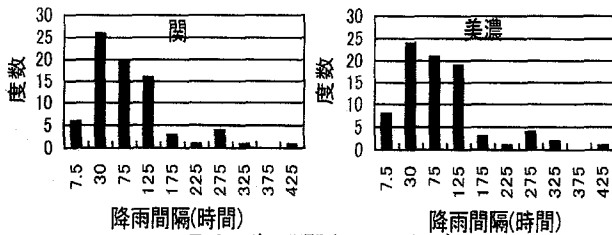


図-9 降雨間隔のヒストグラム

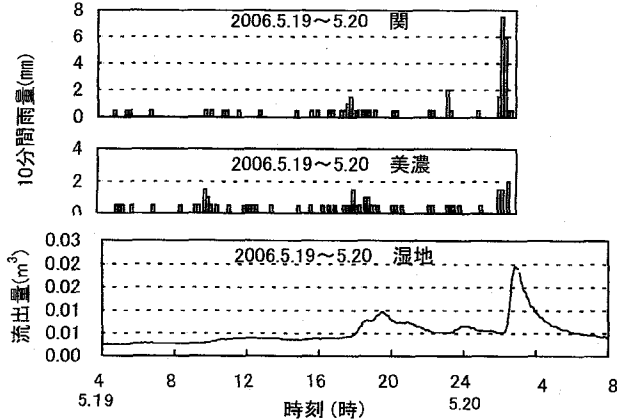


図-10 流出流量波形と10分間雨量(関・美濃)の対比

この図で10分間雨量、時間雨量は後述する定義に基づく一雨降雨の関係を示す。降雨量の積算時間が長くなるほど両データ間のバラツキは減るが、9月の降雨の中に、どの関係でも全体の分布から大きく外れて関より美濃の方が多いデータが含まれている。逆に、8月の降雨には全体の分布から外れて関の方が多いデータが含まれている。これらのデータはこの時期に非常に局所性の強い降雨があったことを示している。両観測所間の距離約9kmを包含する10～100kmの水平スケールを持つ降雨は、一般に複数の積乱雲により構成されるメソ対流系に起因すると言われて<sup>4)</sup>いるが、これらの局所性降雨は孤立した積乱雲に起因すると考えられる。局所性降雨を除いて日雨量で両者の関係を見ると、月間降水量の差を反映して美濃側に少し寄った直線関係が認められる。

一雨降雨は、時間雨量においてどちらかの観測所で降り出した時間を降雨開始とし、両観測所での無降雨時間が4時間までは一雨の範囲内とし、両観測所で5時間無降雨が続いた時点で降雨終了と定義した。無降雨4時間までを一雨としたのは、両者の降雨と流出流量とを比較した結果、集水域が狭いため、降雨と流出流量のピーク時刻のずれは概ね1時間と短く、かつ、降雨のピーク後4時間程度までは流量に先行降雨の影響が現れ

ていると判断されたためである。今回、魚類の生息環境の逆転現象を引き起こした梅雨期の7月の降雨に関して、時間雨量(関)と時間流出のクロススペクトルのコヒーレンスを求めてみると、図-8に示すように、約3.6時間(0.28cycle/hour)を境に二つの領域に分かれており、この時間以下を表面流出成分と考えることができる<sup>5)</sup>。この方法で一雨降雨を定義し、その中から一方の観測所で降雨量2mm以下、他方で1mm以下のケースは、継続時間も短いことから流出に与える影響は少ないと判断して省き、それ以外の88ケースを検討対象とした。この88ケースについて、関、美濃ごとに開始部分の無降雨時間と終了部分の無降雨時間を除いたうえで、降雨間隔のヒストグラムを求めた。図-9に示すように階級値30時間(10～50時間)が最多数を占め、続いて75時間、125時間と続く。関の最小降雨間隔は7時間、美濃の最小降雨間隔は5時間でそれぞれ1例があるが、結果はこの一雨降雨の定義が概ね妥当であったことを示している。

次に、対象流域との距離が同程度のどちらの観測所が、調査地の降雨状況をより反映しているかを検討しておく必要がある。そのため、88ケースの検討対象降雨の中から、極端に継続時間が短いものを除き、ピーク時間雨量が10mm以上のもの、ピーク時間雨量は10mmを切るが継続時間が長いものについて12ケースを抽出し、流出流量波形と10分間雨量のグラフを対比させ、その対応関係を調べた。対応関係の評価基準は、①ピークの位置関係やその個数の対応、②降雨変化に対する流量変化の鋭敏さ、③降雨量と流出流量の大きさの関係、の3項目である。項目ごとに良好な場合は1点を与えることとし、この3段階評価(12ケースで36点満点)で関と美濃の降雨の現地に対する適合度を見ると、関が合計33点、美濃が合計26点となり、関のデータの方が現地により適合していることがわかった。その一例を図-10に示す。すなわち、研究サイトの集水域におけるほとんどの降雨は関の観測値から推定でき、それによって過去の環境変化への降雨の影響を検討すればよいことがわかる。

### (3) 地形測量による池の貯留量の算出

流末に位置するコンクリート製排水路の落水口の天端は標高77m(T.P.)であり、その高さを超える水位を2006年に9回観測している。四角堰のまわりは排水路沿いの通路と同じ高さ(湿地との比高10～15cm)まで盛られており、そのような降雨でも越水することはないが、全体に傾斜の緩い地形だけに、流出部背面の水域はかなり広がる。その確認と放棄後の全体的な地形変化を把握するために地形測量を行った。池周辺の測量結果を図-11に示す。標高77mの境界は図中の破線となり、池の南側で狭く急に高さが増し、北側は緩傾斜(傾斜2～3°)で広がっている。この範囲は池周辺の水生植

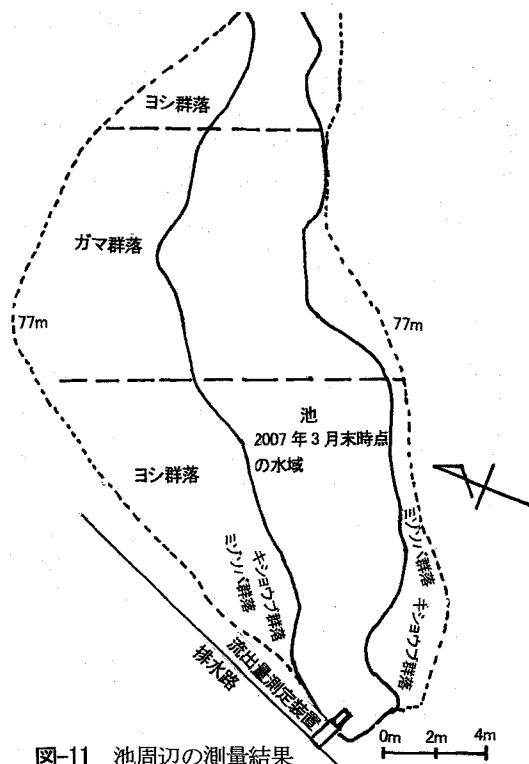


図-11 池周辺の測量結果

物の分布範囲と概ね重なっている。水生植物は、流末から約15mと約25mを境界にヨシ群落とガマ群落が交互に分布し、流出口付近にはキシウ群落とミゾソバ群落が分布する。実線は2007年3月末における四角堰の越流水深2cm(標高76.8m)の時の水域を示す。この時の池の深さは流末から10m付近で約30cmと最も深く、その上流と下流側では10~20cmとやや浅くなる。図からわかるように、降雨による増水で水域は北側に向かって広がっていく。

地形測量の結果から流出流量の変化に対する池の貯留量の変化を計算してみると、2007年3月末時点の流出流量 $0.002\text{m}^3/\text{s}$ (ほぼ基底流出流量相当)に対して池の貯留量は約 $25\text{m}^3$ であり、標高77mまで水位が上昇すると、流出流量 $0.057\text{m}^3/\text{s}$ に対して池の貯留量は約 $85\text{m}^3$ となり、約3.4倍に増加し、その上昇時間が約30分(7月期降雨)であることを考えると、約 $0.03\text{m}^3/\text{s}$ の流出流量となり、それが大きく抑えられていることがわかる。図-1に示したように、湿地内には池を含めて4箇所の浅い窪地地形(①~④)があり、②と③は淵の周辺に広がった深さ5~10cmの窪地であり、周辺に比べて湿っていることが多く、降雨時に淵周辺から溢れ出た水を貯めていると考えられる。④も湿っていることが多く、流路Cと合流する前の流路Bの、明瞭な流路を持たない区間の一部を構成していると考えられる。また、湿地上流部に一部棚田状地形が残るものの、畦などの嘗ての水田形状はほとんど残されていない。今後、耕作放棄の影響を、調査地に適用可能な流出モデルを用いて検討していく予定であるが、以上の地形的変化とともに、畦の崩壊を防ぐための降雨時の水位管理が行われなく

なった影響等も考慮する必要がある。

## 5. 結論

現在は湿地と化した調査地である耕作放棄地には、池と流路A~Cからなる水系があり、安定した水深を保つ淵と池が、ホトケドジョウなどの魚類の主要な生息場所となっている。これらの流路では流れの形態、水温等の空間的・時間的変化、流速と土砂や有機物の移動、底質の形成、そして生物の生息環境の間に、その規模に対応した相互関係が認められた。梅雨期を挟んで水温やホトケドジョウの生息場所に変化が表われ、その原因は流路の分流箇所自然に形成された落枝からなる透過型の堰にあることがわかった。この落枝を上流から運搬したのが年間降雨量の20%以上を占める7月の降雨である。小集水域における湿地特有の相互関係を理解する上で、降雨流出特性の把握は欠かせない。関と美濃の2箇所の降雨データが収集できたが、流出流量波形との対比による点数評価法で関のデータが現地への適合度が高いことがわかった。また、地形測量の結果から、水田形状の喪失や降雨に伴う池の貯留量が確認された。流出流量が $0.002\text{m}^3/\text{s}$ から $0.057\text{m}^3/\text{s}$ まで増加する間に、池の貯留量は約 $25\text{m}^3$ から約 $85\text{m}^3$ まで増加し、その上昇時間が約30分であることを考えると約 $0.03\text{m}^3/\text{s}$ の流出流量となり、それが大きく抑えられていることがわかった。今後、これらの基礎的な調査結果を基に、耕作放棄の影響を、調査地に適用可能な流出モデルを用いて検討していく予定である。小集水域に形成された同様な湿地では、環境保全機能の維持と河川流況への影響軽減のために、以上の点を踏まえた対策が必要となろう。

謝辞：本研究を行うに際し、岐阜県土地開発公社には関連報告書を閲覧させて頂き、中濃消防組合消防本部には気象データをご提供頂いた。以上の各位にお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 岐阜県土地開発公社：関テクノハイランドビオトープ調査等業務報告書、2000~2003。
- 2) 増本隆夫、高木強治、吉田修一郎、足立一日出：中山間水田の耕作放棄が流出に与える影響とその評価、農業土木学会論文集、No.189, pp. 389-398, 1997。
- 3) 増本隆夫、野添学、吉村亜希子、松田周：耕作放棄に伴う流出流量変化を評価する中山間水田流出モデル、農業土木学会論文集、No.224, pp. 175-183, 2003。
- 4) 吉崎正憲、加藤輝之：豪雨・豪雪の気象学、pp. 56-62, 朝倉書店、2007。
- 5) 日野幹雄：スペクトル解析、pp. 65, 朝倉書店、1977。

(2007.4.5受付)