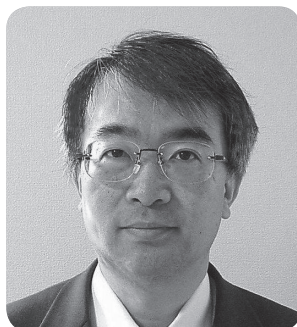


開水路の原点としての山腹水路から見る 近代的な開水路システムの再構築



宮崎大学農学部

稲垣 仁根

(INAGAKI Hitone)

1. 水路システムの原点である山腹水路

宮崎県の「高千穂郷・椎葉山地域」は、平成 27 年に国連食糧農業機関（FAO）の世界農業遺産に認定されました。その際、宮崎大学農学部は、植物生産、農業土木、森林、林産、生物生態、農林経済の専門家による多様な視点からの検証を行い、農学部長による推薦書を宮崎県に提出しており、FAO の認定に貢献できたのではないかと考えています。

テーマは「高千穂郷・椎葉山の山間地農林業複合システム」であり、林業では針葉、広葉、照葉の各樹種が組み合わされている「モザイク林相」、農業では穀類の栽培と森林の再生を移動しながら繰り返す「焼畑」、大規模な「棚田」とそれを支える「山腹水路網」、シイタケ栽培、釜炒り茶、和牛生産などの「山間地の伝統的な農林業」が特徴的です。

農学部の推薦書においては、棚田と山腹水路の組合せは、他地区でも多数ありますが、椎葉のような高位の急傾斜地で 1,800 ha の棚田に、農業用水を配分するために総延長 500 km の「山腹水路網」を整備した大規模な水路システムは、非常に貴重であると位置づけています。この点については、本誌本号の小特集や第 87 巻（第 3, 10 号）の竹下伸一氏による報文に詳しく記載されています。

2. 開水路の特徴

山腹水路は、溪流から水を取って、山の斜面を等高線に沿って水を運び、低位の水田に至るように構築されており、農業用開水路の原型であると考えられます。開水路は、取水地点から地形勾配に沿って路線選定するため、動水勾配と水路断面の選択の余地は少ないのが特徴です。

開水路は、位置エネルギーを地表（または地盤高）まで残さず消費するため、動水勾配が地形勾配に沿う結果となり、ゲートや堰などによる水位調整や急勾配での落差工による余剰エネルギー処理などにより、静水位が不連続になり、上下流での水理情報の伝達が遮断されます。また、水路勾配の緩急が、水路断面の大きさに影響を与えます。昭和 50 年代までは、大規模な開水路系送水システムが農業用水路の主流で、私が計画・設計に関係した中では、相坂川左岸、両総用水、愛知用水、豊川用水などがあります。

3. 管水路の特徴

一方、管水路は、始点の位置エネルギーは開水路と同じでも、自由に動水勾配を設定でき、地表の上に圧力を残すことができ、圧力水による散水・給水が可能になります。一方で、動水勾配

が管径に依存するので、動水勾配と経済性はトレードオフの関係にあります。また、管水路は、始点の位置エネルギーを末端まで連続させることができるため、流れを任意の位置で起動できる点に特徴があります。昭和40年代以降、管水路が農業用水路に積極的に導入され始め、筑後川下流用水のような幹線導水路や九州などの畑地灌漑地区で多く使用されています。

4. 開水路と管水路の水理的な違い

開水路と管水路の流れは、同じ基本構造の連続方程式と運動方程式で記述されますが、連続方程式の「 $\partial V/\partial X$ 」の項の係数が、開水路では A/T 、管水路では a^2/g に違いがあります（ここで、通水断面積 A 、水面幅 T 、管の伝播速度 a ）。

開水路では大気開放型の自由水面なので、 $\partial V/\partial X$ の変化量を通水断面 A を介して、水深の変化 A/T で伝播するため、水理情報の伝達に時間を要します。一方、管水路は閉鎖断面なので、 $\partial V/\partial X$ の変化量を通水断面 A を介さずに、管の伝播速度 a の二乗で増幅して、短時間で水理情報を伝達することに特徴があります。さらに、 a^2/g は管の種類による固定値ですが、開水路での A/T は、場所による断面形状の違いにより時々刻々異なった値となります。

また、水路の流れの形成は同じ静水位の区間に限られるので、一般的に、開水路は上流から、管水路は下流から流れを形成するのも重要な水理学的相違点です。農業用水路として開水路と管水路を選択する場合は、両者の水理的な特徴を生かすような戦略が求められます。

5. 開水路更新策の展望

昭和40～50年代に造成された大規模な開水路系送水システムが、現在、更新時期を迎えており、水需要の変化もあり、既設水路をどのように再整備するかが計画・設計上の課題となっています。選択肢としては、①開水路の2連化、②管路化、③管水路のバイパス併設が候補としてあり、①は愛知用水二期、②は両総用水、九頭竜川下流、③は豊川用水などの実施例があります。

開水路の2連化は、トンネルとサイホンをバイパスで迂回して分合流を繰り返す方式で、開水路断面の上部に余裕高を含めて水路内貯留を確保できますが、開水路特有の伝達時間による制約があり、既設水路と同様に機動性が少ない点は完全には解消していません。

管路化は、既設の開水路では得られなかった動水勾配の自由度と圧力の創出を目指した選択になります。ただし、大規模な開水路を管路化する場合は、管路の口径が既製管材では不足することがあり、管路を2連化することもあります。管水路を既設開水路に併設する場合は、両者の伝達速度の差を利用することによりピンポイントでの開水路への注水、補給が可能になり、開水路の利点を損なうことなく、欠点をバイパスの管水路で補充することができます。

6. 開水路と管水路の並列接合

長大な開水路系幹線水路に併設してパイプラインを敷設する二連化水路システムは、開水路と管水路の水理情報の伝達速度の違い、自由表面の有無による通水断面の自由度の違いを互いが補完し合うシステムであり、水理的な性状が異なる2種類を平行させることにより多様性と2重性が確保でき、今後の大規模開水路の改修の一つの方向性を示していると考えられます。

7. 水路システムの今後の展望

今後の産業構造の変化、人口の減少や移動などの将来的な変動要因を視野に入れて、水路システムを整備していく必要が生じてきています。農業生産地域の集落人口が少なくなればなるほど、農業用排水路を集落で保全管理する活動が停滞する傾向があり、地域コミュニティの維持や地域資源の管理に支障が生じるおそれがあります。土地改良長期計画の検討では、用排水路の維持管理労力の軽減を図るパイプライン化等を進めるとともに生産性向上や維持管理の省力化を図るスマート農業を推進していくこととなっています。中山間地域などの開水路の持つ多面的機能と管水路の役割を地域の特徴に合わせてシステムを再構築することが今後の重要な課題といえます。

[2020.12.17.受理]