

## カスケード型資源循環システムによる農業地域の水環境保全と付加価値創出の両立

Simultaneous realization of water environment protection and value added production  
in agricultural areas through cascading material-cycle system

藤原 拓\*

Taku Fujiwara \*

## 1. はじめに

農業地域には再生可能なエネルギー・資源である水やバイオマスが豊富に存在する一方で、施肥、家畜排せつ物、農業系廃棄物、生活排水等に起因する水質汚染に対しては、汚濁物質の排出源が面的に分散していることから対策が困難な現状にある。未利用バイオマスや農地に残存する肥料を水質汚濁源とすることなく、付加価値を創出する資源として有効活用することができれば、水環境保全と雇用創出の両立が可能となり、持続可能な地域社会の創成にも寄与すると考えられる。このためには、生産・消費・廃棄という一過型のバイオマス利用システムや、全てのバイオマスを堆肥化やメタン発酵に利用するような一括した循環システムから脱却する必要がある。すなわち、未利用バイオマスの質を考慮し、高付加価値な循環利用（例：飼料化・高付加価値製品生産等）を進めた上で、それが不可能なバイオマスや高付加価値利用の残さについては、より低品位な循環利用（例：堆肥化・エネルギー回収・資源回収等）を行うなど、バイオマス循環をカスケード的に行うことにより、バイオマスを徹底的に利用しつくし、農業地域のバイオマスからより多くの価値と製品を生み出す必要がある。

著者らは、汚濁物質の分散した排出源に対応した「面的な水再生技術の開発」、ならびに空間的に分散しているさまざまな質をもつバイオマス資源に対応した「カスケード型資源循環システムの開発」という全体コンセプトのもとで、科学技術振興機構 CREST の支援により「気候変動を考慮した農業地域の水管理・カスケード型資源循環システムの構築」に関する研究を平成 21～26 年度に行った。農業地域の水質汚染の問題を、1)農耕地での施肥由来の地下水汚染（面源）、2)畜産業・生活由来の水質汚染（分散した点源）、3)農業系廃棄物による水質汚染（潜在的な有価物）に要約し、これらに対応した「クリーニングクロープによる面源汚染抑制システム」、「畜産業や生活に由来する廃水・廃棄物の高度再生システム」、「農業系廃棄物から価値を創出するカスケード型資源循環システム」の構築を目指した。なお、本稿は、水環境学会誌<sup>1)</sup>および CREST 成果パンフレット<sup>2)</sup>にて既報の研究概要を再構成したものであり、詳細はこれらの文献を参照いただきたい。

## 2. クリーニングクロープによる面源汚染抑制システム

農耕地での施肥由来の地下水汚染は、商品作物の栽培後に残存する窒素肥料が原因となるため、汚染源が面的に広がり、これまで対策が困難であった。本研究では、「面的な汚染源」に対しては「面的な対策技術」が必要であるとのコンセプト<sup>3)</sup>に基づき、飼料用トウモロコシをクリーニングクロープ（浄化用作物）として活用することにより、農耕地での施肥由来の地下水汚染を防ぐとともに、その収穫物から高付加価値な乳酸カルシウムやリンを回収する技術の開発を行った。クリーニングクロープによる面的浄化と収穫物からの高付加価値製品の生産を一体化したシステムを開発することにより、農家にとってもメリットが生じ、その結果として農業地域への社会実装が可能な地下水汚染対策技術の開発を目指した。施設園芸ハウスを対象として、クリーニングクロープの効果を評価した結果、50 日間栽培後に湛水除塩を行うことにより、農耕地から地下に流出する硝酸性窒素の量を 80%削減できることを明らかにした。また、*Bacillus coagulans* を用いて収穫後のクリーニングクロープから乳酸カルシウムを生成する技術を開発した。クリーニングクロープシステムの対象地域への導入可能性を評価した結果、リン回収工程において栄養塩を抽出し乳酸発酵工程において利用するシナリオが比較的有利であり、年間 100ha の栽培面積であれば、地下水の硝酸性窒素除去による社会的便益分を補助金等で補えば、自立的に事業が成立する可能性が示された。

\*高知大学, Kochi Univ.

キーワード：カスケード型資源循環システム、水環境保全、付加価値創出

### 3. 畜産業や生活に由来する廃水・廃棄物の高度再生システム

本研究では、畜産糞尿や農業地域の生活に由来する水質汚染の問題に対して、資源回収の観点から糞尿分離型と糞尿混合型の技術・システムをそれぞれ開発し、水質汚染抑制、温室効果ガス排出抑制、資源循環を同時に実現する条件を検討した。糞尿分離型処理では、高シリカ型ゼオライトを用いて尿中の医薬品有効成分を除去する技術の開発を行った。合成抗菌剤サルファ剤の pH 依存型吸着モデルを構築するとともに、豚尿中の共存イオンや有機物の影響を明らかにした。次に、高シリカ型ゼオライトと酸化チタンの複合材料を合成し、これによるサルファ剤スルファメタジンの除去機構のモデル化を行い、両機能性材料が協奏的に機能することを示した。さらに、抄紙技術を用いて酸化チタンと高シリカ型ゼオライトをシート状に成型し、これを円板に搭載した「回転円板型促進酸化装置」を開発した。また、尿から付加価値の高い緩効性肥料（ウレアホルム）を合成することに成功し、回転円板型促進酸化装置による医薬品有効成分除去工程を遅効性肥料合成工程の前段に組み込むことで、肥料合成と医薬品有効成分除去を両立できる可能性を示した。糞尿混合型処理では、堆肥化過程の亜酸化窒素排出メカニズムを検討するとともに、効率的な脱水技術で牛糞を燃料化し、焼却灰からリンを回収する方法を明らかにした。

### 4. 農業系廃棄物から価値を創出するカスケード型資源循環システム

農業系廃棄物による水質汚染に対しては、加工残渣や廃水を潜在的有価物ととらえ、これらを環境中に排出せずにカスケード的に循環利用することで、水環境への負荷削減と付加価値創出を同時に実現することを目指した。一例として、搾汁後に廃棄されていたユズ果皮を養殖魚飼料に利用する技術の開発では、環境負荷を増やさず、養魚の成長を阻害せず、かつ少なくとも 2 日間は褐変抑制効果（抗酸化効果）が維持される条件をブリの屋内試験で明らかにした。この成果を基に海面ブリ養殖への廃棄ユズ果皮の利用を導入し、ユズの香りの成分を付加するための給餌条件を明らかにした。生産されたブリは「土佐ゆずぶり」として大手回転すしチェーンから販売された。廃棄バイオマスの質を考慮し、バイオマス循環をカスケード的に行うことで、農業地域の水質汚染抑制と価値創出の両立が可能であることが、本研究の成果により実証されたと考えている。

### 5. おわりに

カスケード型資源循環システムを実現するには、農業・林業・水産業・工業といった産業の違い、山・都市・農村・海といった場の違いを超えた循環を模索する柔軟な発想と、それを実現する技術やシステムが重要となる。これにより、ある場所では「ゴミ」であったものを別の場所で「宝」として有効活用することが可能となり、農業地域の水環境保全と付加価値創出の両立が実現すると期待される。

### 参考文献

- 1) 藤原 拓. 2016. 農業地域における面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築. 水環境学会誌, 39A(9), 328-332.
- 2) 国立研究開発法人科学技術振興機構. 2015. 戦略的創造研究推進事業 CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域 平成 21 年度採択研究課題：気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築（研究代表者 藤原拓）, [http://www.water.jst.go.jp/publication/pdf/CREST\\_Fujiwara.pdf](http://www.water.jst.go.jp/publication/pdf/CREST_Fujiwara.pdf), アクセス日 2017 年 4 月 20 日.
- 3) T. Fujiwara (2012) Concept of an innovative water management system with decentralized water reclamation and cascading material-cycle for agricultural areas, Water Science and Technology, 66(6), 1171-1177.

### 謝辞

本稿で紹介した研究は、以下の共同研究者とともに科学技術振興機構 CREST の補助により遂行したものであり、深甚の謝意を表す。また、CREST 研究総括の大垣真一郎先生、副総括の依田幹雄先生、領域アドバイザーの宮崎毅先生のご指導に対して、厚く御礼申し上げます。

共同研究者（敬称略）：大年邦雄，松岡真如，深田陽久，市浦英明，山根信三，松川和嗣，安武大輔，森岡克司，筒井裕文，船水尚行，伊藤竜生，牛島健，土方野分，山田正人，石垣智基，前田守弘，永禮英明，高岡昌輝，大下和徹，赤尾聡史，増田貴則，長谷隆仁，深堀秀史，井上大介，横田光正