

# 里山工学の成果と今後（2023年度版）

高木 方隆<sup>1\*</sup> 堀澤 栄<sup>1</sup> 渡辺 菊真<sup>1</sup>  
赤塚 慎<sup>1</sup> 楠瀬 慶太<sup>2</sup> 村井 亮介<sup>2</sup>

（受領日：2024年5月31日）

<sup>1</sup>高知工科大学システム工学群  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

<sup>2</sup>高知工科大学地域連携機構  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\*E-mail: takagi.masataka@kochi-tech.ac.jp

要約：本学における里山プロジェクトは、2015年に開始した。研究フィールドを設定し、大学院科目において里山の再構築を目的とするアクティブラーニング形式の授業も開講した。2017年に新しい学問として里山工学を創設。里山工学は、中山間地域にける持続的な暮らしに向けて、新たな科学的知見を得ながら、これまでの技術を再構成する学問としている。流域圏ごとに自然環境情報や歴史民俗情報を解析し、将来予測を行う。その将来予測に基づいた農地・林地・社会基盤施設の設計手法の確立が里山工学における大きな目標である。

植生観測は、ドローンを用いて2019年から続けられており、植物季節や成長状況に関する解析を行なった。生物同士の相互作用に関する解析に向け、地域専門家による昆虫・鳥類・哺乳類の観測も2022年から行っている。歴史民俗情報も地域専門家の協力により、2017年から様々な情報が蓄積され、地域資源マップを作成した。これら全ての情報は、ボクセルモデルでデータ統合を行い、総合的な解析が可能となっている。

里山研究フィールドでは、既に様々な施設の改修や設置も行なっている。これまでに古民家の改修、神社の再建、里道や水路、湿地の整備などを行なった。神社の再建においては、御神木が倒れたり、斜面が崩壊したりと、様々な自然現象が再建を阻んだが、粘り強く対処し、8年という長い歳月を要した。2022年より石積みについての課題を取り上げ、木灰コンクリート土嚢を用いた手法も提案した。

既にたくさんの成果が得られているが、個々の研究分野におけるものが多く、分野を跨ぐ相互関係を考察するまでには至っていない。今後は、分野間の連携を意識しながら情報を蓄積し、里山環境の相互評価システムを構築する予定である。

## 1. はじめに

日本は円安が続いていることから、輸入原材料が高騰し、物価も上がり続けている。農業や酪農において、肥料や飼料を輸入している場合は、コストが大きくなり、価格に反映される。輸入における輸送

や施肥による温室効果ガスの排出は、気候変動に大きく影響し、持続可能な産業といえない。林業においても、輸入材が高騰しているため、国産材への転換が好ましい。もともと日本は温暖な地域で、降水量も多いため、農林業は国内で完結できる産業である。高度経済成長期を経て円高時代に安い材料を輸

入することで効率化を図ってきたため、小麦・大豆などの生産は激減し、林業も衰退した。一方で、山林には未利用の有用植物が数多く自生しており、農業も自然農法やリジェネラティブ農業など、温室効果ガスの排出が抑えられる手法も広がりつつある。生物多様性に配慮しながら、林地や農地として山林を活用する里山の再生は、現代の日本において重要な課題となっている。

自然資源の豊富な山林は、石油由来のエネルギーや材料に頼ることなく、豊かに暮らせる素地がある。衣食住に関する自給率が上がれば、温室効果ガスの排出量は減少し、防災機能も高まる<sup>1)</sup>。持続可能な暮らしの場として、里山は最適といえる。里山における植物の中でも木は、モノづくりの材料やエネルギーに活用可能で、食べられる実をつけるものも多い。モノづくりのための材料には、用途によって適した木の種類が異なる。まっすぐに伸びる杉や桧は建築材に適しており、軽くて燃えにくい桐は家具等に適している。コウゾやミツマタなどは紙の原料として古くから利用されてきた。何れにしても伐倒して加工するわけだが、端材は燃やしてエネルギーとして使い、葉やおがくずは堆肥にできるので、廃棄物は発生しない。草本類は、雑草と認識されているものも多いが、意外と食べられるものは多く、自生しているものであれば、毎年少ない労力で収穫できる。また、縄や紐、染料などに利用できるものもあるため、人間の暮らしには、多様性に富んだ植物が必要である、それぞれの植物の適地性を評価し<sup>2)</sup>、持続性の高い山林の管理が求められる。

本学地域連携機構において里山に関連する研究は、2011年に植物資源データベースの開発<sup>3)</sup>から始まった。そして2015年に高知県香美市土佐山田町中後入地区に里山研究フィールドを設置し、植物資源を活用した里山プロジェクトに発展した<sup>4)</sup>。図1は、ドローンで撮影した里山研究フィールドの外観である。中央に耕作放棄地があり、北側の山林との境界に古民家がある。その古民家を拠点にこれまで様々な活動を展開している。

2017年に新しい学問領域として里山工学を創設<sup>5)</sup>、同時にアクティブラーニング形式 (Project Based Learning: PBL) の大学院の授業としての「里山工学」も開講した。当初は、本学教員と大学院生をベースとした研究プロジェクトであったが、現在は地域の専門家も交えた幅広い研究体制となっている。里山工学は、持続的な暮らしに向けて、新たな科学的知見を得ながら、これまでの技術を再構成する学問である。人間の暮らしのため、生物多様性に



図1. 里山研究フィールド

配慮しながら自然に手を加えている中山間地域を里山と定義し、様々な自給率を上げるべく、自然と歴史、科学に基づきながら里山再生の手法を構築するものである。

里山工学の体系を図2に示す。流域圏ごとに自然環境情報や歴史民俗情報を解析し、将来予測をしなければならない。それぞれのデータは相互作用の予測のため、ボクセルモデルでアーカイブして解析する<sup>6)</sup>。ボクセルモデルは、ドローンを用いた高密度の点群データや、各種観測センサーを用いたポイントデータ、歴史民俗に関する曖昧なデータなど様々な情報を統合することができる。これまで、データ統合には地理情報システムがその役割を演じてきたが、点群データは三次元空間に散らばり、時系列処理も必要なことから、ボクセルモデルが最も適したデータモデルであると確信した<sup>7)</sup>。ボクセルモデルを用いれば、様々な環境評価だけでなく、気候変動に伴う将来予測も可能になると期待している。その将来予測に基づいた農地・林地・社会基盤施設の設計手法の確立が里山工学における大きな目標である。本稿は、これまでの里山工学の取り組み成果をまとめるとともに、今後の研究課題の方向性について議論する。

## 2. 自然環境情報の集積

里山の再構築のためには、生物活動の相互作用が解明されていなければならない。技術の進歩によって、ミクロスケールからナノスケールでの計測や実験が可能となり、細分化された分野ごとに深い知見が得られるようになってきた。植物と土壤細菌との関係や、植物と昆虫との関係についても現在多くの知見が得られている。しかし山林では生物同士が1

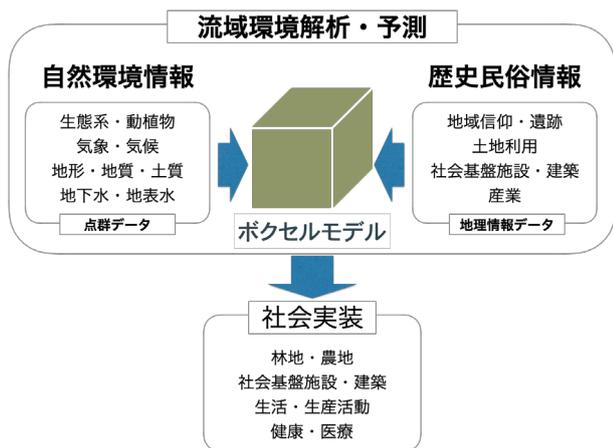


図2. 里山工学の体系

対1の関係ではなく、無数の生物活動による相互作用を検討する必要があるため、モデル化と将来予測は困難である。一方で、現地計測の分野も技術の進歩によって、様々な自然現象を記録する手段が開発されている。画像計測における技術の進歩は目覚ましく、UAV搭載センサから人工衛星搭載センサまで、幅広いモニタリング技術が確立されている。したがって生物活動を画像をはじめとする様々なセンサを用いてマクロスケールで計測し、相互作用の結果としての現状をアーカイブしていくことによって、生物分野での知見を活用しながら生物活動の予測が可能になると期待している。現在里山研究フィールドでは、気象観測ステーションを設置し、気象データの収集のほか、ドローンを用いた写真観測を実施しており、植物データの収集を行なっている。野鳥観測も開始し、哺乳類や昆虫などの調査も開始した。

植物に限らず生物は、気象の影響を大きく受けている。生物季節（フェノロジー）とは、植物であれば開花時期や落葉時期、昆虫であれば鳴き始めや鳴き終わり時期など、季節性のある生物活動のことで、古くから暦として利用されてきた。例えば、ネムの木が開花したら大豆を植えるという言い伝えがある。気象状態によって毎年微妙に季節が変化し、それによって生物の活動も変化する。太陽の運行をもとにした新暦は、生物季節の目安になるものの、細かな気象の変化までは捉えられない。植物の栽培や成長予測のため、様々な生物季節との関連が解明できれば、効率的な里山暮らしが実現できる。そのため里山研究フィールドでは、様々な自然環境情報の集積を行なっている。本章では、各自然環境情報の集積と解析成果の状況を記す。

## 2.1 気象観測

気象観測については、社会気象工学研究室の赤塚慎准教授が里山研究フィールドにおいて気象ステーションを設置し、2017年より気象データの取得を行ってきた。耕作放棄地と放置林に設置し、森林内外での相違を明らかにした<sup>8)</sup>。残念ながら2020年に気象ステーションが不調となったが、2023年から新たに観測を開始している。また、気水圏動態研究室の端野典平准教授は、音響観測による簡易雨量計の開発を行っており、完成すれば流域圏での水文環境の計測が高密度で可能となる。さらに、海岸工学研究室の佐藤慎司教授は、里山研究フィールドを流れる後入川に水位計を設置しており、降水量と河川流量との関係を解析できる状況にある。現在、放置林が拡大したことにより、樹木の蒸発散量が増加し、河川流量が減少している。今後、適切な里山管理による河川流量の回復を検討する予定である。

## 2.2 ドローンを用いた植生観測

国土情報処理研究室の村井亮介助教は、2019年4月より、里山研究フィールド周辺区画（300m×300m）を月に2回程度の頻度でドローンを用いた写真観測を行なっている<sup>9)</sup>。写真測量によって得られる三次元点群データは、ボクセルモデルに変換し、樹木ID、葉や幹の情報を付与している、そのボクセルモデルを用いることで、林床部での日射量<sup>10)</sup>や、樹冠部での太陽光反射シミュレーション<sup>11)</sup>などが可能となった。

図3は、2019年から2023年間の樹高の変化を表したものである。この図の範囲は、図1と同じとなっている。+10mとなっている部分は、もともと高い樹木が横に広がることによって極端に高くなった部分である。逆に-10mとなっている部分は、伐採によって極端に低くなったものである。それらを除き、樹高が高くなっているエリアは、地形的に日射量が少なく、河川や水路脇で水の豊富なエリアであった。里山研究フィールドは、ほとんどが手入れのされていない放置林であるが、一般的な人工林における成長量と同様の傾向を確認することができた。

ドローンによる月2回の植物観測の内容は、1回は晴天時でもう1回は曇天時での観測としている。植物の色の変化を捉えるためには光源が一定でなければならない。晴天時は、日向と日陰で明るさが大きく異なるため、その補正手法を開発し<sup>12)</sup>、さらに太陽とカメラの位置関係から生じる明度の変化を補正する手法も開発した<sup>13)</sup>。一方曇天時は、色を評価しやすい光源のため、開花や落葉時期の判定手法を

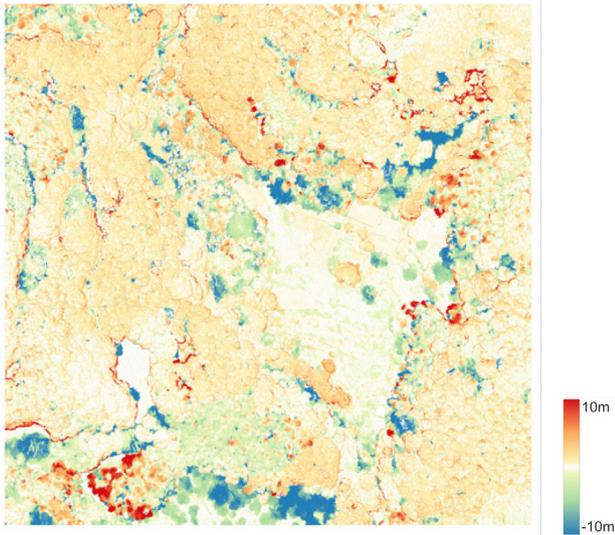


図3. 2019年から2023年までの樹高の変化

開発した<sup>14)</sup>。村井はこれらの成果をまとめ、2021年に「UAV 搭載デジタルカメラを用いた時系列地表面反射計測手法の構築」という博士論文を執筆した。現在は、より精度の高い計測を目標に、デジタルカメラ画像を分光反射率に変換する手法を開発し、絶対値としての色の評価手法を開発中である。これにより植物の色の変化を捉えることが可能となり、詳細な植物フェノロジーが解析可能となる。

### 2.3 土壌中の微生物群衆

森林資源学研究室の堀澤栄教授は、土壌における微生物群衆の解析を行っている。メタゲノム解析によって土壌中の細菌・真菌を同定した結果、古民家付近の土壌には広く土壌に存在するような *Propionibacteriales* 目、*Fusarium* 属などが高い割合で存在することが分かった。存在する菌種自体には差があったため、土地の利用法によって土壌に構成される菌群集構造にはちがいが出ることが明らかとなった<sup>15)</sup>。

ボーリングコアから土層別に土壌サンプルを取り、メタゲノム解析を行なったところ、地下水から下と上とで特徴が異なることが判明した(図4)。地下水から下では、特定の種が優占し多様度が減少する傾向にあった<sup>16)</sup>。土壌中の微生物は、植物や様々な動物に影響を与えるので、今後さらに調査研究を行う必要がある。

### 2.4 地域専門家による動物調査

本学は、工科系の大学であることから、生態研究の専門家は少ない。生物に関する現地調査については、地域の専門家に委託して行っている。野鳥専門

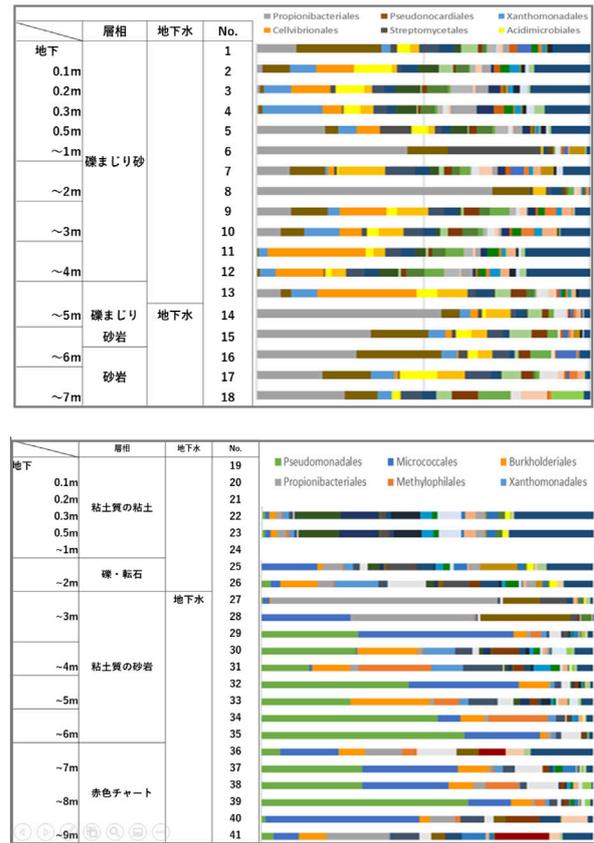


図4. 深さ別細菌目レベルの存在比

家の谷岡仁は、2022年より月1度のペースで野鳥のルートセンサスを行っており、里山研究フィールドにおける鳥類相の季節変化を明らかにした<sup>17)</sup>。さらに2023年からは、哺乳類の専門家である谷地森秀二(横倉山自然の森博物館)、昆虫専門家の辻雄介(株式会社相愛)、水生昆虫専門家の石川妙子による調査も開始した。地下水が染み出したり、水路からの水が漏れ出して農地が湿地帯になっているところに池を造ったことから、池ができることによって昆虫層や植物層にどのような変化が起こるか、モニタリングしているところである。現在、音響観測実験も行っており、鳴き声を発する昆虫や両生類、鳥類のフェノロジーデータを取得し、気象や植物との相互相関を解析する予定である。

## 3. 歴史民俗情報の集積

里山の管理は、単に生物多様性を維持するための環境保全を目的とするものではなく、暮らしとも結びつけて検討しながら進めていくものである。例えば集落や建造物、農地などは地域性を有し、その特徴は自然と歴史を背景とするものが多い。様々な道具や工芸品、そして食などについても同様である。歴史的な文化が失われつつある現代においては、そ

れらを保存して活用することも検討しなければならない。そこで外部の歴史研究家や文化的活動家と連携しながら研究を進めている。本章では歴史民俗情報の集積と活用成果の状況を記す。

### 3.1 地域の歴史研究家との連携

客員研究員の楠瀬慶太（高知新聞）は、歴史民俗情報の集積において里山工学に大きな貢献を果たしている。地域文化資源の記録と普及を目的に、高知県の様々な地域で活動を行っており、PBLとしての里山工学でも学生たちと佐岡地区の歴史調査を行った<sup>18)</sup>。国土情報処理研究室の村井は、地域での調査・観測結果を集約するためのKUTフィールドデータベースを構築した<sup>19)</sup>（図5）。楠瀬はそれを歴史民俗研究のため積極的に利用し、地理情報システム（GIS）を用いた解析も行い、歴史情報のアーカイブについて検討した<sup>20)</sup>。歴史情報に関して現在、16テーマのデータが集積され、閲覧だけでなくCSV形式でダウンロードできる状況となっている<sup>21)</sup>。このような取り組みを通して、楠瀬は2023年に「市民科学による地域文化資源継承の実践と方法」という博士論文を執筆した。地域住民が主体となって歴史情報を記録し、可視化することでそれを活用する手法を提案している。

歴史民俗情報の集積は、里山研究フィールド内だけではなく、広範囲の情報が必要となる。里山研究フィールドにおける集落は五百蔵姓が多く、物部川中流域の香北町より移住してきたとのことである。従って、物部川流域での各集落の形成過程も研究対象とし、文化的な背景を明らかにする予定である。

### 3.2 地域の工芸作家との連携

地域には、様々な工芸作家・専門家も存在し、里山工学との連携には欠かせない。工芸品は、地域の素材を用いた作品が多く、自給率が高い。そのような工芸品についても記録して普及させることが重要である。ここでは、里山工学との交流がある作家や専門家について、連携研究の状況を記す。

#### 草木染め

草木染め作家の西嶺久美は、本学の近くに工房を持ち、様々な作品を生み出している。石油由来の染料ではなく、植物由来の染料は、肌に優しく持続可能なものである。西嶺は、単なる作品作りだけではなく、様々な植物と媒染との組み合わせを実践し、サンプルを系統立てて保存している。それらサンプルは非常に貴重な資料になると思われ、フィールドデータベースとは別に様々な文化的資料をアーカイ



図5. KUT フィールドデータベース

ブする仕組みが必要である。

PBLとしての里山工学の履修生に草木染めに興味を持つ学生が現れ、彼らは2021年の研究テーマとした。草木染めの原料となる植物を里山研究フィールドで選定し、西嶺から染め方を習い、草木染めの有効性について、抗菌性と耐光堅牢度を評価した<sup>22)</sup>。抗菌性、耐光性については、学生自身の専門分野であったためであるが、今後は肌触りや持続可能性など別の指標でも評価する必要がある。授業の一環で行った研究テーマのため、研究の継承ができていないが、将来再び草木染めに関する研究を担う学生や地元の研究者が現れることを願っている。

#### 和紙

和紙は高知における伝統工芸の一つである。和紙作家の宮地亀好は、和紙の研究家であり、パルプを製造し、紙漉き作家としても活動している。現在、本学の近くでパルプの原料となるケナフを栽培している。2022年の里山工学の授業で高知県の和紙や製紙産業について話題提供をしてもらった。その時、竹を使った和紙の製造法は、里山工学の目標に合致するものだったので、指導を受けながら実践することにした。5月に若竹を伐採し、幹をバケツに入れるだけ詰め込み、石灰を混ぜた水に浸しておくだけで、アルカリ菌が増殖し、竹が分解されていく。分解の過程で細菌の匂いが非常にきつい、手間はかからない。11月に繊維だけとなった竹を流水で洗い、パルプにする。竹の繊維を叩いて細かく粉砕すればパルプとなる。今回その工程は、製紙工場に持ち込んで機械で行った。細くなった竹の繊維、パルプを紙漉きの板に均質に乗せ、圧力をかけて乾かせば、水素結合によって繊維がくっつき、和紙となる。この紙漉きは、学生に体験してもらった。繊維が大きかったようで、出来上がった和紙はザラザ

ラとした凹凸があり、筆で字を書くにしてもかすれてしまうものとなってしまった。今後、品質を向上させるべく手法の検討を行う必要はある。ただ、今回パルプにするのに機械を用いたものの、原材料は自然のものだけなので、自給率は100%であることから、竹を用いた和紙は、里山において重要な手法となるであろう。

里山暮らしにおける衣食住の自給率を向上させるには、様々な工芸品が地域に存在することが必要になる。かつては全国で桑を栽培し、絹織物を地域産業としてきたが、現在織物は伝統工芸品が残るのみとなっている。流域圏ごとにどのような工芸品が適し、どのように継承するかも検討していかなければならない。

#### 4. 施設の社会実装

本来、自然環境や歴史民俗の各種情報が集積され、未来の環境を予測できるようになってから土地利用や家屋、道路、水路などの各種施設の設計を行うべきだが、里山に適合した施設自身の設計や評価は可能である。そこで、これまで取り組んできた施設の改修や設置について事例をいくつか紹介する。今回紹介する施設の位置図を図6に示す。

##### 4.1 古民家の改修

里山プロジェクトとしてスタートした2016年、高知県香美市佐岡地区の古民家を購入し、拠点として利用することとした。この古民家は、老朽化が激しくそのまま使うことが困難であったため、吉田晋准教授とその学生たちが調査し、改修案を計画、そして設計・施工を行なった。古民家は、母屋・納屋・蔵・厩から成り立っているが、母屋と納屋を繋げた部分に雨漏りが発生し、その周辺から腐朽していた<sup>23)</sup>。そこで、母屋と納屋を切り離し減築し、母屋のみを改修することとした<sup>24)</sup>。基礎柱の傷みが激しかったため、曳家して家屋をジャッキアップし、その間に柱を修理するという手法を採用した<sup>25)</sup>。曳家は特殊な技能を必要とすることから、それができる業者は全国的にみても少ない。今回は岡本曳家に委託したが、岡本曳家の受注件数が多く、この改修に着手してもらうのに半年以上待つこととなった。古民家へは、車を乗り付けることができない。軽トラックでも古民家の100mほど手前までしか行けず、そこからは徒歩となる。したがって改修に着手するにしても資材の運搬が最も大変な作業となった。クローラタイプの運搬車を用意し、曳家を行うためのH鋼材やジャッキを運搬。吉田研究室の学生



図6. 施設の改修・設置位置図



図7. 曳家による改修状況



図8. 改修後の古民家

たちの貢献は非常に大きい。また、改修作業ができる大工も非常に少なくなっている。高知県を代表する沖野建築に委託した(図7)。柱や梁を継ぐ高い技能は筆舌に尽くしがたい。2018年末に改修が完了し、翌年1月に竣工式を行なった(図8)。

## 4.2 金峯神社の再建

改修した古民家から大後入に向かう里道沿いに神社があることを学生が発見した。社殿は谷側が地盤の不等沈下によって傾き、山側は湿気により腐朽が進み、扉を開けることができない状態であったが、比較的新しい榺が扉に飾られており、お参りに来ている人の存在も推察できた。地域の人に聞き、中後入地区の氏神である金峯神社と判明。社殿の中には江戸中期に造られた本殿が納められている。10年前までは神祭が催されていたらしいが、現在は氏子が1軒となってしまったため、休眠状態ということであった。氏神は地域の守神であり、里山研究フィールドにおいて我々が活動するならば、まずは氏神の存続が必要と思われた。

金峯神社の再建は、環境建築デザイン研究室の渡辺菊真准教授が、研究室の学生とともに極めて大きな貢献を果たした<sup>26)</sup>。渡辺准教授は、金峯神社の現況を調査し、古民家近くの畑に仮社殿の建設後、そこに御神体を遷座するという提案であった。祭事を復活させるにしても、急斜面を登った先にある境内に集まるのは、高齢者の多い地域の方にとっては負担になると考えたからである。地元の方々もこの提案に賛同してもらえたことから、環境建築デザイン研究室の学生総出で仮社殿の建設を行ってくれた。仮社殿は2016年6月に完成、金峯神社の社殿の向きは、正確に御在所山に向けられていたため、仮社殿も同じ方向とした。単管パイプと波板を用いたものであるが、三角形に組み込まれた骨組みは荘厳な雰囲気となっている(図9)。その後7月に御神体を仮社殿に遷座し、10月には地元の方を招いて神祭を復活させた。

一方、本殿が納められている元の社殿は、損傷が激しい状況だったので、まずは本殿を移動させることとした。12月にその本殿を納める建屋も渡辺菊真准教授と研究室の学生たちによって造られた。境内は斜面の中腹にあり、仮社殿を建てる時よりも資材の運搬に多大な労力を要した。その建屋の場所を図10に示す。境内の西側端に位置する。12月下旬に元の社殿を取り壊すことになり、その時に本殿を移動させた。本殿を納めた建屋は、後に元の社殿に移すことを計画していたので、タイヤを装着していることから山車社殿と呼ぶことにした。

社殿の取り壊しは、沖野建築に委託した。取り壊しにも熟練した技術が必要だからである。その後、速やかに山車社殿を移動させたかったが、元の社殿の上には、御神木とされる巨木がある。斜面がえぐれて御神木の根はむき出しになり、枯れ枝も多く樹



図9. 完成した仮社殿

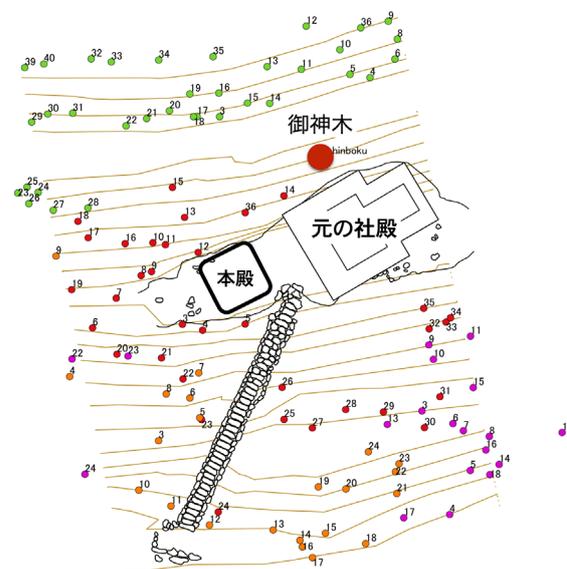


図10. 元の金峯神社境内付近の状況

勢が衰えていた。放っておくと、今度は御神木が倒れてくる可能性があった。そこで樹木医に診てもらい、樹勢を回復させることを検討した。

2017年9月に森林ボランティアメンバーとともに足場を組み、樹木医の指導を受けながら御神木の剪定を行なった。一方で、斜面を安定させるために、木灰コンクリートを用いた法面保護も検討したが<sup>27)</sup>、施工に十分な資材と労力の確保が難しく、当面2・3年間は様子を見ることとした。しかしその年の10月、超大型台風21号による暴風は、本研究フィールドでも社地周辺のシイの巨木やスギ・ヒノキが倒れる状況であった<sup>6)</sup>。御神木は、葉を全て落としてしまい、2018年の春にも新芽が現れず、枯死した可能性が大きくなった。

2018年7月、西日本豪雨が発生、里山研究フィールドでも降り始めからの積算雨量は2,000ミリを越えたが、御神木下の斜面をはじめ、フィールド内で

の斜面災害は幸運にも発生しなかった。そこで、山車社殿を元の社殿の位置に移動させるため。地盤の硬度を測った上で整地を行なった<sup>28)</sup>。また、2019年2月には、森林ボランティアメンバーと社地周辺の間伐を実施、日射が林床に届いて斜面の植生が回復することを願った。

2019年6月下旬、梅雨前線による降雨により御神木の下斜面が一部崩壊。その後も雨は降り続き、7月中旬には市道から古民家に向かう道路脇も一部が崩壊。そして7月下旬に御神木が倒れる事態となった。御神木は、2017年の台風により揺すられ、幹の表面もひび割れていたことから、暴風でかなりのダメージを受けていたのだろう。そこから葉が少なくなったようなので、その時に根にもダメージを受けていたことが推察できる、足場を組んで御神木を剪定したり、社地を整地したりしたが、人間の力ではどうにもならないことを痛感した。今思えば思い切って根元付近で伐倒しておけば、防風によるダメージはなく、ひこばえで復活させることができたかもしれない。10月にお祓いをした上で、森林ボランティアメンバーとともに、倒れた御神木を片付けた。

2020年、新型コロナウイルスの影響で人の集まる様々なイベントが中止となったが、PBLとしての里山工学はフィールドでの活動のため、密を避けながら行った。しかし金峯神社に関わるプロジェクトに関しては、それを選択する学生が現れず、2022年までは実施できなかった。この3年間のブランクは、斜面や境内を安定化させる上では妥当だったとも言える。2023年、金峯神社の本殿を移設したいという学生が現れ、実施することとした。

本殿を覆っている山車社殿は、1トン以上の質量がある。元の境内に戻すには、タイヤが付いているとはいえ10cmを越える石積みの段差を乗り越えなければならない。本殿は100kg程度あるので、それを一旦取り出し、山車社殿の部材もできるだけ取り外すと、1トンを切る質量となるが、それでも人力で動かせるものではない。そこで林業で利用されているハンドウインチ（チルホール）を使って牽引することとした。ハンドウインチを2台使用し、動滑車を2つ取り付けて牽引すれば、ハンドウインチに掛かる張力は、1/4となる。2台のハンドウインチを使うことで、動かす方向も制御できる。そこで張力が1トンのハンドウインチを2台レンタルして牽引することとした。

牽引する際のアンカーは、境内周辺の杉を利用した。当初利用したアンカー用の杉の選択がよくな



図 11. 倒壊した御神木



図 12. 遷座後の本殿と山車社殿

かったため、動く方向が制御できず、谷側に寄る結果となった。そこで、10人の人力で少し動かして向きを変え、アンカー用の杉も変更して牽引した。図12は、移設した山車社殿と中に収められている本殿である。山車社殿の向きは、元の社殿と同様、御在所山に向けた。

2024年4月に金峯神社の御神体を仮社殿から本殿に遷座した。明石一郎太夫の指揮のもと、地元の方も招き、里山工学に関わる教員や学生、地域専門家など、40名以上が参加し、祝詞をあげた。仮社殿は、一時的に御神体を祀るという一つの役目を終えたが、今後は遥拝殿として活用することとした。地元の方々は高齢のため、本殿まで参拝に行くのは困難と判断したことによる。神事の際も、仮社殿に神籬（ひもろぎ）を立てれば、そこで開催できるとのことであった。近年限界集落では、社殿が集落から離れてしまったところも多く、社殿の維持管理や、神事の継承が困難となり、隣接する集落の氏神と合祀するところも増えている。本来氏神は、その地域を守る目的で、当時縁のあった神から御霊分けして祀っているものなので、隣接する集落の氏神と

は縁のない場合が多い。それらを合祀すると、歴史的な経緯や元の神事の継承が困難になる。遥拝殿を設置して神事を継承する手法は、人口減少が著しい中山間地域では、ある程度有効な手段と思われる。

### 4.3 基盤施設整備

古民家と金峯神社の改修については、重要な施設整備のため、時間をかけて行ってきた。一方で学生が里山工学の授業の中で、基盤施設の施設整備を計画・設計・施工したのも存在する。中には実験段階で問題が発覚し、施工に至らなかったものや、施工まで漕ぎ着けたものの、完成しなかったものなどもある。ここでは完成したものの中でも、今後に活かせる成果について紹介する。

#### 里道における階段の設置

古民家から金峯神社本殿に向かう里道は、急勾配となっており、高齢者が登るのは非常に困難な状況であった。この里道は大後入地区に続いており、かつては人通りが多い往還道だったとのことである。金峯神社の本殿は、元の場所に設置することも決まっていたため、急勾配部分に道路を設置したいと、学生が提案してくれた。単なる労働にならないよう里山に適合し、メンテナンスの容易な階段を考案した。降雨の際、道は水が集まるため、単に土と木で階段を設置すると耐久性が悪い。そこで蛇籠と社殿解体時に出た割れた瓦を利用して、排水機能をよくした階段を考案し、設置した<sup>29)</sup>。

設置された階段を図13に示す。2020年に設置し、5年経過した現在、木が朽ちている部分もあるが、蛇籠のおかげで階段として十分機能している。

#### 耕作放棄地における漏水対策

古民家周辺は、地すべり地形のため地下水が豊富な場所である。ボーリング調査と地温計測による地下水探査の結果から、地下水水位が非常に高いことが判明した<sup>30)</sup>。地下水だけでなく、地表面に水が染み出している場所も存在する。古民家東の後背地から染み出している農地と、仮社殿下の農業用水路が劣化して漏水している農地があり、水浸しでイノシシのヌタ場となっている場所もある。

2021年、古民家東側農地の山際に池を設置した。農地の山際には、昔水路が引かれていたが、現在はその水路が消滅し、水が農地に侵入している状況であった。そこで蛇籠で水路を復元させ、最も水が染み出している場所にはビオトープの機能を有した池を設置した(図14)。一番池と呼んでいる。これにより農地は乾燥し、安心して歩けるほか、この池がカエルの産卵場所となり、様々な藻と共にヤゴやイ



図13. 里道に設置された階段



図14. 設置した一番池

モリが繁殖を始めた。

この池が生物多様性を確保できる豊かなビオトープになると期待しているが、オオカナダモという外来種の藻が優勢となっており、今後、どのような管理をすべきか検討しているところである。

2022年、農業用水路の劣化により浸水している農地についても山側の畦道沿いに水路を設置した。この水路については、蛇籠ではなく、竹を敷き詰める形式とした。蛇籠に詰める石の調達には困難だが、管理されていない竹林は周辺にたくさんあり、材料の調達に困ることはない。耐久性に不安があるものの施工は楽なので、実施することとした。施行された竹水路(図15)は、春を過ぎると草に覆われ、水路がどこにあるのか分からない状況だったが、草刈りをするとも元の竹水路が現れ、機能に問題はなさそうであった。この農地に実際に作物を栽培したが、農地としても利用できる状況となった。

2023年は、隣接する農地に新たな池(二番池)を設置することにした。この農地も農業用水路の劣化により浸水しているためである。一番池は、既に



図 15. 設置した竹水路



図 16. 設置した二番池

様々な生物が繁殖しているが、樹木に覆われているため日射が少ない場所で水深が 25 cm 程度の浅いものである。一方二番池となる場所は、日射が多い環境である。ここに水深の深い池があれば、一番池と異なる生物の繁殖が期待できるということで、水深 1 m の池を設置した (図 16)。隣の農地の竹水路と連結し、池の周囲は竹と土嚢で土留め、余水は谷に落とす形式にしている。水深を深くしていることで、竹水路から流れてくる水生昆虫がここで滞留しつつ天敵から逃れられる機能を有している。まだ設置して数ヶ月しか経っていないが、淡水魚のタカハヤが既に生息しており、オニヤンマの幼虫も確認されている。

#### 木灰土嚢の開発

施設の設置だけでなく、建設材料の開発にも取り組んでおり、セメントではなく木灰を用いたコンクリートについては、2017 年から行っている<sup>27)</sup>。木灰がセメントの代替となることは知られていたが、圧縮強度がセメントに比べると格段に小さいことから一般には使われていない。里山における構造物

は、大きな荷重がかからないものも多いため、木灰コンクリートは期待できる材料である。

里山では、農地や宅地などのために石垣によって平地を確保している。その石垣が崩れた際、昔は石を積み直して修復していたが、現在はコンクリート擁壁などで修復することが多い。コンクリートの打設は、型枠を設置して一気に流し込むのが一般的である。当研究フィールドは、重機が入らないため通常の打設方法が適用できない。またコンクリート擁壁は、隙間がほとんどないため、生物多様性の面からも問題がある。そこで、土嚢に木灰コンクリートを詰めて積み上げる手法を提案した。土嚢袋のサイズごとに木灰コンクリートを詰めるので、人力で作業が可能である。硬化前に積むことで、石積みのような特殊技術も必要としない。図 17 は、2022 年に崩れた畦道を木灰土嚢によって修復したものである<sup>32)</sup>。

1 年以上経過した現在、土嚢袋は風化によって剥がれ、中の木灰コンクリートが剥き出しとなっているが、土嚢袋が消えたおかげで玉石を積んだような状態となり、景観的にも問題ないことが確認された。木灰土嚢は、今後も積極的に利用できる材料と期待される。

## 5. 里山工学の啓発活動

大学院修士課程における「里山工学」の授業は、PBL 形式で学生たちに体験的に学んでもらい、里山再生を担う人材も出てきて欲しいとの思いはあるが、ほとんどの学生は高知を離れて就職している。工科系の大学ゆえに技術を身につけて就職するという指向の学生が多いので、やむを得ない。また PBL であるがゆえにプロジェクトの遂行に重心が置かれるため、里山の豊かさを満喫できる機会が少ないことも要因として挙げられる。年に 1 度の神祭でしか里山らしさを体験させていないので、火の使い方や野草料理、木工などの体験も必要だろう。ただ、カリキュラム上それを提供する時間のないことも問題である。これは他の専門教育でも同じで、その専門を楽しむ場があまりにも少ない。工科系はモノ作りの学問なので、モノ作り自体の体験を卒業研究並みの時間をかけて行くと、学習意欲にもつながると期待される。今後、モノ作りの専門家と協力しながら教育することが望まれる。

学生が卒業後に里山再生をいきなり担うことは困難だが、里山への移住人口は増加している。香美市の移住事業を展開している NPO 法人「いなかみ」によると、移住者は増え続けているとのことであ



図 17. 設置した木灰土嚢

る。移住者はやりたいことが実現できる場を求めており、定住している人の多くは、モノ作りを趣味としているようだ。趣味を越えて仕事にしている人も多い。都市部での経済活動は、モノ作りの時間を確保できないことが多いためであろう。2023年9月に、シンポジウムを開催。100名以上の来場者を迎えることができたが、参加者の多くは移住者であった。このシンポジウムで、地域専門家とのネットワークが広がり、様々な課題解決への道筋が見通せるようになった。

2024年は、5回のイブニングセミナーと8回の里山工学公開セミナーを計画している。4月の里山工学公開講座では、移住と建築について中身の濃い議論ができた。今後様々な地域の専門家や組織と連携して里山工学の協力者を増やしていきたいと考えている。

## 6. おわりに

これまで里山工学では、自然環境情報や歴史民俗情報を集積しながら、里山に相応しい多くの施設的设计・施工を行ってきた。植生観測データは、5年間の点群データが蓄積され、様々な研究成果が今後も期待できる。地域の専門家の協力もあり、自然環境・歴史民俗情報は、順調に集積され始めた。既にたくさんの成果が得られているが、個々の分野における成果ばかりで、分野を跨ぐ相互関係を考察するには至っていない。今後は、分野間の連携を意識しながら情報を蓄積し、里山環境の相互評価システムを構築しなければならない。

金峯神社に関するプロジェクトは、8年がかりでようやく目処がたった。あゆみは遅いが、様々な問題を乗り越え、着実に前に進むことができたのは、里山工学に理解ある教員・地域専門家・学生による

協力の賜物である。残された課題は山積しているが、これらについてもじっくり取り組んでいきたい。幸いシンポジウムやセミナーを通して、理解者が一気に増えてきている。大学組織では到底立ち向かえない課題なので、地域の理解者とも協力しながら前進していかなければならない。

里山の再構築を目的としている中で、自給率向上を目標として掲げている。これまで施工してきた施設の自給率は高いが、精緻に自給率を算定していない。また温室効果ガスの排出量や持続可能性についての検討も必要である。今後様々なプロジェクトについては、これらの評価を行なっていく予定である。

里山での農林業や暮らしに関する研究も着手する必要があるが、工科系の大学ゆえにシーズに乏しく出遅れている。これについても地域の協力者を求める必要がある。また、著者自身2018年より里山暮らしを始めており、持続的で自給率の高い暮らしを目指している。様々なデータを取得しながら定量的な評価を行なっていきたい。

## 文献

- 1) 高木方隆, 防災拠点としての里山の役割, 高知工科大学紀要, Vol. 17, No. 1, p. 7-13, 2020.
- 2) Yuta Takahashi and Masataka TAKAGI, Evaluation of Natural Environment using GIS for Important Plants, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Vol.SMS13, No.6716, 2014.
- 3) Takashi WATANABE, Kenji OKAMURA, Masataka TAKAGI, et al., Development of LUPINES Database System for Local Useful Plant Inventory, Vol. 2, 365-367, ICSW2011.
- 4) 高木方隆, 里山基盤科学技術の社会実装モデルプロジェクト, 高知工科大学紀要, Vol. 13, No. 1, p. 31-35, 2016.
- 5) 高木方隆・久須美雅昭, 里山工学の方法論, 高知工科大学紀要, Vol. 15, No. 1, p. 1-5, 2018.
- 6) 高木方隆・赤塚慎ほか, 佐岡地区里山研究フィールドにおける森林の保全と自然環境のモデル化, 高知工科大学紀要, Vol. 16, No. 1, p. 99-103, 2019.
- 7) 高木方隆・久須美雅昭, 里山工学の方法論2, 高知工科大学紀要, Vol. 17, No. 1, p. 1-6, 2020.
- 8) 赤塚慎ほか, 里山における森林内外の気象観測, 高知工科大学紀要, Vol. 16, No. 1, p. 111-

- 117, 2019.
- 9) 村井亮介・高木方隆, 里山研究フィールドにおける UAV による植生観測状況と公開データについて, 高知工科大学紀要, 高知工科大学紀要, Vol.18, No.1, pp.1-5, 2021.
- 10) 藤原匠・赤塚慎・高木方隆, ボクセルモデルを用いた林床での PAR 推定手法, 写真測量とリモートセンシング, Vol.57, No.1, pp.4-12, 2018.
- 11) 藤原匠・高木方隆, ボクセルモデルを用いた森林における太陽光反射シミュレーション, 写真測量とリモートセンシング, Vol.58, No.4, pp.184-194, 2019.
- 12) 村井亮介・高木方隆, UAV 画像における植生観測のためのカゲ補正手法, 写真測量とリモートセンシング, Vol.59, No.5, pp.202-213, 2020.
- 13) 村井亮介・高木方隆, UAV を用いた BRF を考慮したオルソ画像生成手法, 写真測量とリモートセンシング, Vol.62, No.1, pp.22-29, 2023.
- 14) 村井亮介・高木方隆, UAV に搭載したデジタルカメラによる RGB 値を用いた植生のフェノロジー観測手法, 応用測量論文集, Vol.32, No.1, pp.33-44, 2021.
- 15) 藤原夕莉・堀澤栄, 里山環境の土壌深度ごとの土壌細菌群集の解析, 高知工科大学 環境理工学群 卒業論文, 2020.
- 16) 藤原夕莉・堀澤栄, 里山環境での土地利用法ごとの微生物群衆構造の解析, 高知工科大学大学院 生命科学コース 修士論文, 2022.
- 17) 谷岡仁・村井亮介・高木方隆, 里山研究フィールドにおける鳥類相の季節変化, 高知工科大学紀要, Vol.20, No.1, p.41-55, 2024.
- 18) 楠瀬慶太ほか, 佐岡地区本村における歴史景観の調査一屋敷地の変遷から読み解く集落景観の特質一, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, p.57-68, 2018.
- 19) 村井亮介・高木方隆・菊池豊ほか, フィールド研究を支援するフィールドデータベースのテストベッド製作について, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, p.7-18, 2018.
- 20) 楠瀬慶太ほか, 高知県における歴史資料のデータベース化試論, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, p.19-23, 2018.
- 21) KUT フィールドデータベース, <https://sites.google.com/view/kochi-gis/home>, 2020-2024.
- 22) 滝野結公ほか, 草木染布の衰退に関する調査と今後の発展に向けた実験, 高知工科大学紀要, Vol.19, No.1, p.79-87, 2023.
- 23) 吉田晋ほか, 近代農家建築の実測調査と改修のための課題, 高知工科大学紀要, Vol.13, No.1, p.91-96, 2016.
- 24) 吉田晋ほか, 地域交流を目指した古民家の改修計画, 高知工科大学紀要, Vol.14, No.1, p.103-110, 2017.
- 25) 吉田晋ほか, 地域交流を目指した古民家改修の設計と施工, 高知工科大学紀要, Vol.16, No.1, p.43-54, 2019.
- 26) 渡辺菊真, 香美市の過疎村落にある金峰神社の再建プロジェクト, 高知工科大学紀要, Vol.14, No.1, p.95-101, 2017.
- 27) 鈴木麻由・谷野正和・藤原匠ほか, 木灰コンクリートを用いた斜面保護ブロックの設計, 作成と施工, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, p.33-40, 2018.
- 28) 西山亮・西田匠・福田翔太ほか, 金峯神社の社地の整地, Vol.16, No.1, p.93-98, 2019.
- 29) 井上喜人・大谷絃太・竹内伸幸ほか, 金峯神社から仮拝殿にかけての階段の設置, 高知工科大学紀要, Vol.18, No.1, p.25-32, 2021.
- 30) 岡田諒・狭間弘菜・細川壮司ほか, 佐岡中後入地区における水文環境, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, p.41-46, 2018.
- 31) 伊藤優汰・藤原崇真・牧田貴一・若吉慧門ほか, 耕作放棄地における竹を活用した水路の設計・施工, 高知工科大学紀要, Vol.20, No.1, p.63-70, 2024.
- 32) 曾我部蓮太・綿貫開ほか, 土嚢袋と木灰コンクリートを用いた石積みの検討, 高知工科大学紀要, Vol.20, No.1, p.57-61, 2024.

# Results in SATOYAMA Engineering and the Issues

**Masataka Takagi**<sup>1\*</sup>      **Sakae Horisawa**<sup>1</sup>      **Kikuma Watanabe**<sup>1</sup>  
**Shin Akatsuka**<sup>1</sup>      **Keita Kusunose**<sup>2</sup>      **Ryosuke Murai**<sup>2</sup>

(Received: May 31st, 2024)

<sup>1</sup> School of Engineering, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782-8502, JAPAN

<sup>2</sup> Research Organization for Regional Alliances of Systems,  
Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782-8502, JAPAN

E-mail: takagi.masataka@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** The Satoyama Project at Kochi University of Technology started in 2015. The research site was established in the Nakagonyu area in Kami City, and active learning-style classes aimed at reconstructing Satoyama were also offered in graduate courses. Satoyama Engineering was established as a new academic field in 2017. Satoyama Engineering is a field of study that reconstructs existing technology while acquiring new scientific knowledge for sustainable living in mountainous and areas. Predicting future issues by analyzing natural environment information and historical and folklore information is important. The final goal of Satoyama Engineering is to establish design methods for agricultural land, forest land, and social infrastructure facilities based on these future predictions. Vegetation observations have continued using (UAV) drones since 2019, and plant phenology and tree growth conditions could be analyzed. In order to analyze interactions between organisms, local experts have also made observations of insects, birds and animals since 2022. Various historical and folklore information has also been accumulated since 2017 with the cooperation of local experts, and a regional resource map has been created using geographic information system (GIS). All of this information is integrated using a voxel model.

Some facilities have already been renovated and installed on the Satoyama research site. An old house and old shrine were renovated, and a drainage waterway and ponds were developed for agriculture. In the case of shrine renovation, a big sacred tree fell over, a slope collapsed, and various natural phenomena hindered the reconstruction. We spent eight years to finish the renovation. From 2022, we took up the issue of stone masonry and proposed a method using wood ash concrete sandbags.

Many results have already been obtained in individual research fields. As future study, information should be archived for interdisciplinary collaboration between fields, and a mutual evaluation method for the Satoyama ecosystem should be developed.