

# 里山工学の方法論2

高木方隆<sup>1</sup> 久須美雅昭<sup>2</sup>

(受領日：2020年5月7日)

<sup>1</sup> 高知工科大学システム工学群・地域連携機構

<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：2017（平成29）年に高知工科大学有志研究者らによって里山工学が旗揚げされた。当初、GISの地理空間上に自然系、人文社会系を問わず多様なデータを蓄積し解析することを中核方法論とした。大学近郊の実証フィールドでの調査を進める中で、植物分布の地理的プロファイリングというGIS二次元地図平面上の考察から、上空、地中も含めた三次元ボクセル空間における森林植物生態の考察へと進展した。さらに、歴史・民俗の研究者も加わり、古文書調査、遺跡・遺構・遺物調査、古老への聞き取り調査などから里山における人の暮らしを復元的に解明する歴史民俗GIS研究が始まった。データ蓄積の進捗に伴い、ボクセルモデルは対象物に応じた階層構造となることからボクセルシステムというコンセプトに至った。ボクセルシステムでは民俗などの地域境界が曖昧な事象には確率グラデーション表現で自然科学データとの重ね合わせが可能となる。ボクセルシステムによる事前予測と事後評価を基盤とすることで様々な工学分野が里山工学と結びつく。さらに里山工学は生態学との親和性というこれまでの工学とは異なる性格を持つ。

## 1. はじめに

2018（平成30）年7月に刊行された高知工科大学紀要第15巻の中で、「里山工学の方法論」（高木ほか）と題して、2017（平成29）年12月に学内有志らによって旗揚げされた里山工学をめぐって、その旗揚げに至る経緯や、中核となる方法論について紹介した。2019（平成31）年4月からは大学院授業科目に各コース共通の里山工学を新設し、学生の専門力を生かして里山の課題を解決するPBLを開始した。現在、建築・土木系だけでなく電子・機械系の学生もこれに取り組んでいる。

里山工学の立ち上げに際して、方法論上の中核に据えたのが地理情報システム（GIS）である。GIS上の緯度経度の位置情報をキーとして、同じ時空間で生起する様々な事象-微気象変化や植物の成長などを重ね合わせて考察することができるという見通しを提起した。自然科学的事象のみならず人文社会科学の対象となる曖昧な事象であってもレイヤーを使い分けることで重ね合わせは可能になり、里山

が抱える様々な課題に対する文理融合の取り組みもGISを介して実現できると考えた。

さらに里山空間を立方体格子に区切ったボクセルという概念を提起し、微気象変化などをボクセル間の関係として記述するボクセルモデルによって里山空間のモデルシミュレーションも可能になると考えた。

しかし、高知工科大香美キャンパスに近接する土佐山田町中後入に借り上げた里山実証フィールドでの調査研究を進める中で、ボクセルサイズは記述対象に応じた使い分けが必要であることが明らかとなり、異なるサイズのボクセルが入れ子構造になることから、この階層構造を記述するにはボクセルモデルを統合したボクセルシステムという概念がよりふさわしいとの考えにいたった。

本稿では、里山工学の提唱以降、その中核的方法論がGISからさらにボクセルシステムへと進化してきた過程を記述する。さらにボクセルシステムを介した文理融合の方法が、とくに歴史・民俗などの

人文系学問に「チームプレー」という研究スタイルの変革をもたらす可能性を論じる。

## 2. 二次元 GIS から三次元ボクセルへ

里山工学の発端は、2010（平成22）年度から開始した高知県内の未利用有用植物の自生地調査であった。県内各地を踏査し、確認できた有用種を GPS 機能のついたデジカメで撮影し、その緯度経度情報をもとに GIS 地図上にプロットしていくとともに植物種データベースに集積していく地道な作業を2年以上にわたり続けた<sup>註1)</sup>。その結果、山の北側斜面を好む植物、南側の日照を求める植物など種ごとに自生適地を選択していることが示唆された。そこで次に2012（平成24）年度からは、自生地の地質、地形、微気象などの環境要素を把握した上で有用植物の栽培適地を評価し、適地栽培の可能性を探ることとした<sup>註2)</sup>。また、このころよりドローン等による空撮が普及し始め、これまでの衛星画像解析に加えて任意地点での低高度空撮による画像解析が環境把握の有力な手法となってきた。筆者らの研究室（以降、高木研究室）では2014（平成26）年度には UAV も導入し、上空からの植生把握の精度を向上させた<sup>註3)</sup>。これにより樹高や樹冠などのデータが蓄積されるにつれて、それまでの GIS 二次元平面にさらに高さ方向を加えた三次元ボクセル空間に基づく植生分析という考えが導かれた。2017（平成29）年度からは、地上空間だけでなく地中環境も考察の対象に含めたボクセルモデルを提起し、ボーリング調査による地中へのアプローチを試みた<sup>註4)</sup>。

ここまでの経過を里山工学の方法論的進歩という観点で要約すると、植物分布の地理的プロファイリングという GIS 二次元地図平面上の考察から、上空、地中も含めた三次元ボクセル空間における森林植物生態の考察に発展したといえる。

また、地中へのアプローチは、土壌微生物の野外生態という未知の領域への扉を開いた。当初は、地質構造の把握、気温・日射と地中温度との関係解明、地下水や雨水浸透による土壌水分量の把握などを狙いとしていたが、2019 年になってから環境理工学群堀澤研究室で、高木研究室が保管していたボーリングコアサンプルを使って土壌のメタゲノム解析を行ったところ、地表から 7m までの深度においてそれぞれ特徴的な細菌相が検出され、深さ方向の生物情報を取得できることが明らかとなった。もともと植物の生長から分解に至る過程では様々な土壌菌が寄与していることが知られているが、具体

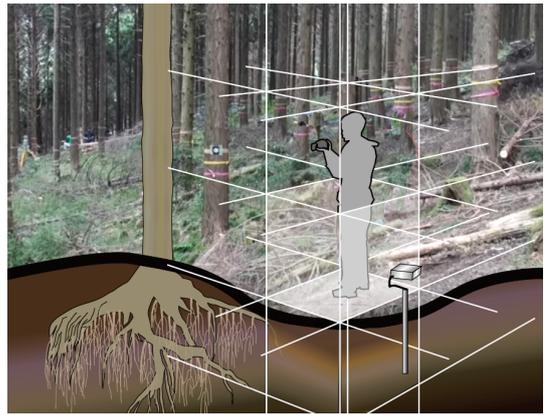


図 1. ボクセルモデルの概念図

的に多様な植生とどのように対応して多様な菌の生態系が広がっているかは全く未知の世界である。里山研究フィールドでは、ボクセルモデル空間の中に植生、微気象などのデータが蓄積されていくことから、ここに土壌細菌叢のデータが加わると今までにない研究の可能性が見えてくる。さらに今後、昆虫や動物などの生態も明らかにしていくことで、里山環境をより複合的に捉えるという展望が開けてきた。

## 3. 歴史民俗 GIS の進展

里山工学では高齢化と人口減少に直面する高知の里山で心豊かな暮らしをどう維持発展させていくかという現実的な課題への対応を目的としている。そのため人文社会科学的側面も取り込んだ方法論が求められる。もともと里山は、人の働きかけによって歴史的に形成された人為生態系であるため、その将来を考えるには過去からの人の暮らしを歴史・民俗の視点から解き明かす必要がある。例えば、過去のいつかの時点で人が庭先に植えた植物が種を飛ばし、屋敷が消滅した後にも存続し、現在の植生を構成しているという例が少なからずある。これを植物の自然繁殖と誤解すると将来の土地利用評価も間違ってしまうことになる。

2017（平成29）年度から、歴史・民俗の研究者も加わり、里山における人の暮らしを古文書調査、遺跡・遺構・遺物調査、古老への聞き取り調査などから復元的に解明する研究を開始した<sup>註5)</sup>。里道ネットワークの形成過程<sup>1,2)</sup>や、地域によく見られる建築様式、あるいは墓所や聖域の空間構造等の調査<sup>3,4)</sup>の進捗から、里山における人の暮らしと自然環境との関わりという切り口がより明確になってきた。また、高知県固有の「長曾我部地検帳」等の古文書

に記載された地名の現地比定調査により旧地名の現在地が判明し、その成果を GIS 上にプロットすることで GIS マップ化が進んだ。<sup>5)</sup> そのための情報集積ツールとしてクラウドサーバーによるフィールドデータベースも開発整備した。<sup>6)</sup> この間の、調査からデータ集積にいたるプロセスには県内各地の郷土史研究者などの協力も得ている。ここから、人文系の市民参加型研究への道を拓く GIS 上のデータ共有というコンセプトが導かれた。さらに、調査の成果を地域の地図に載せて表現する「歴史文化地図」という手法は、地域住民の歴史文化に対する関心と誇りを呼び覚ますものとなり、ひいては観光ツールともなり地域活性化につながるというアイデアも導かれた。

#### 4. ボクセルモデルからボクセルシステムへ

レーザー計測、立体画像など様々な最新技術による三次元計測に熟達し、点群データの取得は容易になった。しかし点群の密度は、計測条件によって異なるため、そのままでは解析に使えない。そこで我々は、ボクセル化のルーチンを確立した。

測定対象と解析目的に応じてセルサイズを決定し、ボクセル自身も入れ子構造で表現するボクセルシステムというコンセプトに至った(図2)。空気・土壌・生物という様々な要素は、さらに細かな要素に分割して学問が発展してきた。一方で様々な相互作用を解明していくためには、空間ごとにあらゆる物理量を入力して解析するシステムが求められる。物理量に限らず人文系のデータのように境界が不明確もしくは証拠が曖昧な(物証がなく状況証拠のみ)場合でもその確率を数値表現することで確率天気予報のように科学として扱うことが可能となる。それを実現するのが、ボクセルシステムである。

これにより、人の営み(人文系研究対象)によって形成された人為生態系(自然系研究対象)である里山の過去・現在・未来を総合研究の対象として扱う基盤が得られる。

#### 5. 歴史民俗 GIS と自然環境ボクセルシステムの統合

今後の研究は歴史民俗 GIS と自然環境ボクセルシステムのさらなる統合を目指す。以下では、仮想研究プロジェクトのシナリオ 1-3 を想定し、ボクセルシステムを基盤とする文理融合研究のビジョンを探る。

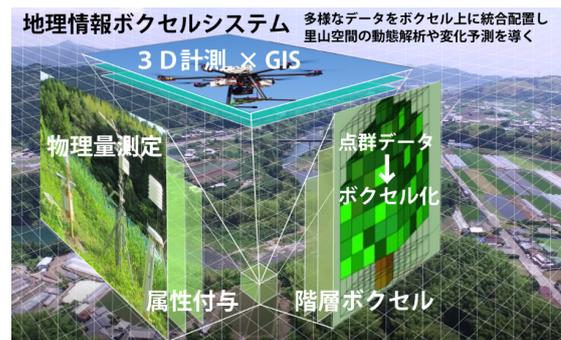


図2. ボクセルシステムの概念図

#### 仮想シナリオ 1：食文化圏の考察

イタドリは全国に分布する野草で江戸期には救荒・備荒植物として数種の文献にも登場する。現代では食材としての認識は薄れたが、高知県では日常的な食材として広く親しまれている。しかしその調理法には県内地域差があると考えられ、同様に高知県固有食材の利用法について詳細な地域間比較を考えると食文化圏という仮説が成り立つ。

そこで検証のため植物分布調査(自然科学系)と民俗・伝承調査(人文社会系)を実施し、結果をボクセルシステムで重ね合わせる研究が考えられる。その際、調査データの曖昧さを取り入れた境界線表記の方法が必要となるが、確率を濃度で表わすグラデーションによる境界表現が有効と考えられる。そのうえで環境条件や陸路海路の成立の歴史をさらに重ね合わせることで食文化圏の成り立ちを合理的に考察できるようになる。それがひいては地域資源としての食文化という発想に根拠を与えることになる。

#### 仮想シナリオ 2：道具利用圏の考察

江戸後期の農学者大蔵永常は「農具便利論」を著し、各地の様々な農具について寸法も含めて図解し、土壌に適した鋤鍬等の導入により生産性を高めることを説いた。一般に農具、漁具などの民具は生産性や生活様式を推し量る手がかりとなる。高知県では、県立歴史民俗資料館の梅野光興学芸課チーフの長年の努力により、大板高校跡に県内各地からの多様な民具が集積されている。これら民具は採集地が判明しており、その土地の生業や生活を、道具の形態的な特徴から復元考察するヒントとなる。例えば林業に特有の大鋸の寸法や刃の形状は、業態の進化を表すとともに、それを製造した野鍛冶という職能集団の存在やそこでの技術の伝承・伝播などまで推測させるものである。これら寸法、形状

などを数値指標化して採集地の地理分布とあわせて解析することで林業地域の拡大から衰退までの変遷を歴史民俗系の研究とは異なる切り口で描くなど広域にわたる地域産業の特質を描くこともできよう。そのためには多種多様な数値指標を階層構造に収納できるボクセルシステムが有効と考えられる。

### 仮想シナリオ3：地域史資料デジタルアーカイブ

里山の人口は、生産力の向上に伴い徐々に増大し、経済成長期以降は全国的な人口動態を反映して過疎化に向かい、近い将来には里山集落消滅も危惧される。こうした過程を経済史として描くには、様々な古文書（とりわけ地方文書（じかたもんじょ）・村方文書（むらかたもんじょ）などと呼ばれる一次資料）や、それらに基づく市町村史（二次資料）などが典拠となる。しかし、史資料に含まれる生産量、物流量など具体的な数値は、これまでの人文系研究ではデータとして統一プラットフォーム上に集積されることは少なかった。元来個人ブレースタイルの人文系研究の限界でもあった。これに対し、共有アーカイブとしての側面も有するボクセルシステムは、断片データであってもとりあえず収納しておけば、いずれ集積が進んだ時点で有意な相関を見出すことが可能となる。すなわち人文系研究に「結果」としてのチームプレーの道を開くことになる。

以上の仮想シナリオから次のことが示唆される。第一に、歴史民俗系の定量化が困難な事象でも緯度経度情報を付与することでボクセルシステムに取り込むことができる。第二にボクセルシステムをデータ共有の基盤とすることによって、多様な事象の相互関係を考察することが可能となる。そして第三に、ボクセルシステムは様々な事象の解析ツールであると同時に、「地域」そのものの特質を明らかにするツールとなるということである。

## 6. 里山工学の別の側面

### 土木工学との関係

第3章では、里山工学の目的として、「高齢化と人口減少に直面する高知の里山で心豊かな暮らしをどう維持発展させていくかという現実的な課題への対応」と記した。そのための基礎として、地域の将来計画の立案に寄与するボクセルシステムの確立が鍵となると考え、これを里山工学の中核方法論とした。しかし一般には、里山工学という言葉から想起されるのは、例えば海岸工学や河川工学のように、里山の自然になんらかの土木工学的な改変を

加えるということではないだろうか。ここで結論を先取りすると、実は里山工学の中にはこのような土木の側面も含まれると考える。すなわち、ボクセルシステムでは里山環境の総合的な把握と数値シミュレーションによる将来予測が導かれるとしたが、それだけでは現実を変えることはできない。具体的な行動としては、里山保全のための林道敷設、あるいは砂防ダム建設など、やはり既存の土木工学の手法を適用することになる。しかし従来の土木事業では砂防ダム、地すべり対策、圃場整備、かんがい整備それぞれが独立した組織で行われており、集落総合計画の視点を欠くきらいがあった。その点、ボクセルシステムによる事前予測および事後評価と連動することによって既存の工学手法はより効果的なものとなる。例えて言うなら、手術の際に、血圧、心拍数、酸素飽和度などをモニターしながら執刀するのに似ている。そのようにボクセルシステムとの連携で効果を増す場合、既存の工学であっても里山工学の一部を構成すると考える。そう言うと、なにやら既存の学術を都合よく取り込んでいるようだが、現実の課題に対処する上では学術的縄張りを競って細かな線引きを云々するより生産的であろう。

### 他の工学との関係

里山工学に対するもうひとつ別の見方も考えてみよう。一般には、高齢化と人口減少が問題となるのは、それに伴う労働力不足で地域共同生活そのものが成り立たなくなるからと考えられており、これに対する工学的対処法が里山工学ではないかという見方も大いにあり得る。例えば、中山間地の在宅ケアを行う遠隔医療診断システムや、高齢者の移動を支援する自動運転カートサービス、あるいはドローンによる宅配サービスなど、AIとロボットの組み合わせで過疎高齢化の限界集落を支えつつ、里山生活の利便性も高めることで生産年齢人口の移住を促すといった将来計画も発想としてはあり得る。もとより里山工学では、現実の課題解決のためにはあらゆる科学技術の成果を総動員するという立場を取るため、AI・ロボットに係る機械工学、電子工学等の既存分野も、里山工学の一部を構成すると考えて差し支えない。ただし先程の土木の例と同様に、ボクセルシステムによる事前予測・事後評価と結びつくことでそれら既存技術の有効性がより一層高まるという場合においてという条件付きではある。

里山工学では、様々な先端技術の成果を取り込む

いっぽう、それで全ての課題が解決されるといった現実とは乖離した工学ユートピア的な考え方はとらない。すなわち、先端技術を導入するには只ということではなく、初期投入コストやランニングコスト、メンテナンスコスト、さらに後には廃棄コストも発生する。現金収入を多くは産まない里山では技術導入が過剰投資になることも懸念される。ボクセルシステムでは、自然科学データのみならず人口や土地生産性、地域の経済的ポテンシャルなどの社会科学データもすべてボクセル空間の属性として捉える。その上で特定地域への技術投資が持続可能な発展につながるものか否かをシミュレートする。したがって、ボクセルシステムを基盤として技術投資を評価する限り工学ユートピア論に陥ることはない。

さらに、第2章で記した里山工学旗揚げの経緯に遡ると、里山工学は植生、地形・地質、微気象などの要素を扱い、生態学との親和性が高いことがうかがえる。一般には工学、とりわけモノづくり系工学は、経済成長の駆動力となったリニア成長モデルを暗黙の前提とするものであるが、里山工学の場合はそれとは異なり生態学が立脚する環境共生循環モデルにむしろ重きを置くという特徴がある。リニア成長モデルでは、技術革新によって生じた問題はさらなる技術進歩が解決するという、科学とは次元の異なる信念体系がバックボーンとなっている。20世紀はこの信念体系が科学の進歩を支えてきたが、21世紀に入ってからはこの信念そのものの根拠を問うことが必要になってきた。その点、里山工学はこれまでの工学のあり方を見直す契機ともなる側面を持っている。

## 註

註1) 総務省・戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 2010 による。「地域植物資源コンテンツ拡充と利活用を促進する地域フィールド活動支援プラットフォームの研究開発」(代表: 渡邊高志)

註2) SCOPE 2012 による。「『救荒植物(災害時食糧備蓄となる植物)』栽培適地評価システムと森林資源をリアルタイムに公開する地域基盤情報システムの研究開発」(代表: 高木方隆)

註3) 文科省科研費基盤研究(B) 2014 による。「新アグロフォレストリーのための森林・有用植物資源の賦存量の評価・予測モデルの構築」(代表: 高木方隆)

註4) 科研費基盤研究(B) 2017 による。「アグロフォ

レストリーのための統合ボクセルモデルの構築」(代表: 高木方隆)

註5) 科研費基盤研究(C) 2017 による。「里山環境の人為的遷移の歴史分析ならびに野外実験にもとづく新里山創成」(代表: 渡辺菊真)

## 文献

- 1) 天羽朝陽, 若林寛和, 西内裕晶, “佐岡地区における里道ネットワーク解析”, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, pp.25–31, 2018.
- 2) 宮本森孫, 中村晋作, 西内裕晶, “佐岡地区における里道ネットワーク解析-明治里道の再現と経路比較-”, 高知工科大学紀要, Vol.16, No.1, pp.85–92, 2019.
- 3) 池内克徳, 藤原 駿, 渡辺菊真, 楠瀬慶太, “佐岡地区本村における歴史景観の調査-屋敷地の変遷から読み解く集落景観の特質-”, 高知工科大学紀要, Vol.15, No.1, pp.57–68, 2018.
- 4) 楠瀬慶太, 大西悠, 岡崎廉, 三島宏太, 渡辺菊真, “佐岡地区中後入における歴史景観の調査-歴史分析から読み解くムラの暮らし-”, 高知工科大学紀要, Vol.16, No.1, pp.69–83, 2019.
- 5) 楠瀬慶太, 藤原 駿, 池内克徳, “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, pp.7–18, 2018.
- 6) 村井亮介, 藤原 匠, 高木方隆, 菊池 豊, “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, pp.19–23, 2018.

# Methodology of the SATOYAMA Engineering Part 2

Masataka Takagi<sup>1</sup> Masaaki Kusumi<sup>2</sup>

(Received: May 7th, 2020)

<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, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782-8502, JAPAN

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

**Abstract:** *Satoyama* engineering was launched by Kochi University of Technology volunteer researchers in 2017. At first, core methodology was used to analyze a variety of data regardless of a natural system, social system, or humanity on the geographic space in GIS (Geographic Information System). Through research progress in the proof field located in the environs of the university, consideration on the GIS map plane of two dimensions as geographical profiling of the vegetable distribution has developed into consideration of the forest vegetable ecology in the voxel space three dimensions including the sky and the underground. History and folklore researchers joined and started the GIS study of history and folklore in a reconstructive way, shedding light on people living in *Satoyama*. Ancient document investigation, archaeological survey of remains and interview surveys of elderly persons were the methods incorporated. Because the voxel model proved to be a hierarchical structure depending on the agenda, with the progress of the data accumulation, it led to the concept called the voxel system. The stack alignment with natural science data is enabled by probability gradation expression for the phenomenon that the local borders such as folks are vague by the voxel system. Various engineering fields are tied to *Satoyama* engineering by assuming prior predictions and subsequent evaluation with the voxel system. Furthermore, the *Satoyama* engineering has the feature of an affinity with ecology, unlike past engineering.