



東京大学農学部公開セミナー
第57回

「農学部シアター:ICTで自然を
見る、感じる、研究する」

講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

【 開会の挨拶 】

挨拶 研究科長 堤 伸浩

13:35 ~ 14:25

先端技術が切り拓く新しい森林管理の在り方

附属演習林

講師 廣嶋 卓也

技術専門職員 中川 雄治

【 休憩（10分） 】

14:35 ~ 15:25

森と人を紡ぎ直すサイバーフォレストの教育的活用

森林科学専攻

助教 中村 和彦

【 休憩（10分） 】

15:35 ~ 16:25

リモートセンシングによる植生機能モニタリング

生物・環境工学専攻

准教授 細井 文樹

【 閉会の挨拶 】

司会 准教授 福田 良一

日時 2019年10月19日（土）13:30~16:30

場所 東京大学弥生講堂・一条ホール

主催 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

共催 (公財) 農学会

# 先端技術が切り拓く新しい森林管理の在り方

附属演習林 講師 廣嶋 卓也, 技術専門職員 中川 雄治

## 1. 附属演習林について

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林（以下、東京大学演習林）は、全国 7 箇所にある総面積約 32,000ha におよぶ地方演習林と弥生キャンパスにある教育研究センター、それら 8 つの現場を統括する企画部から構成されている。東京大学演習林には 120 年を越える歴史があり、長期にわたって教育研究フィールドとしての森林を維持・管理し、森林を中心とした自然環境の動態に関するデータを測定・蓄積し、またそれらフィールドやデータを教育研究や社会連携に利活用してきた。

## 2. 北海道演習林の天然林管理

北海道富良野市にある北海道演習林は 1899（明治 32）年に設置され、現在、7 つの地方演習林の中で最大となる約 23,000ha のフィールド面積を有する。北海道演習林は、森林面積の約 8 割を天然林（自然の力によって成立した森林）が占めており、「林分施業法（りんぶんせぎょうほう）」という独自の 방법으로天然林を管理してきた。林分施業法とは、生育する樹木の種類・サイズ構成、幼稚樹の量等に応じて、森林をいくつかのタイプ（林種）に林分（樹種構成・生育状態等が一樣なひとまとまりの森林）単位で区分し、各林分のタイプに応じて伐採や植栽といった施業を行う方法である。林分施業法は、1955 年当時、北海道演習林の林長であった高橋延清（1914－2002）が、天然林施業に関する国内外の知見を取り入れて構想したもので、以後 60 年以上にわたり、森林面積 2 万 ha を越える事業規模で実践されてきた。林分施業法には、高橋が提唱したいくつかの原則があり、それらは、多様な樹種で構成される針広混交複層林の育成を目指す、各々の林分の構造に応じて林分全体がより発展するよう順応的な管理を行う、生態系を強度かつ広く破壊するような施業を避ける、老衰木・腐朽木等を伐採し形質のよい樹木は残す、といった内容である。すなわち林分施業法は、再生可能な木材資源を伐採・利用する経済的機能と、森林生態系のもつ環境保全機能を調和させ、両機能が持続的に発揮されるよう、森林を順応的に管理する手法といえる。こうした林分施業法の原則を、森林の現場の作業として具現化し実践する手順は、林種区分測量、標準地調査、現地検討会、収穫調査、伐出・伐採監護からなる。

## 3. 先端技術が切り拓く新しい森林管理

近年、森林・林業の分野では「ICT を活用したスマート林業」、「森林資源

デジタル管理」,「リモートセンシング技術の活用による低コスト造林」といった,先端技術を活用した新しい森林管理の在り方が探求されている。北海道演習林でも,こうした時代の潮流に乗り,林分施業法の実践手順に沿って生ずる森林情報の収集・管理を効率化・省力化するために,様々な先端技術を活用している。

林種区分測量では,施業対象地の空中写真や微地形図を利用して概況を把握した上で,現地で林道や林種境界の測量を行う。この際,空中写真や微地形図は,UAV(小型無人航空機)により空撮した森林樹冠画像や航空機レーザー計測により取得した地表点群データから作成する。現地の測量では高精度 GNSS(全球測位衛星システム)により境界上の頂点座標を取得する。



標準地調査では,施業対象地の林種ごとに調査プロットを設置し,プロット内の樹木の樹種,サイズ等を測定・記録する。プロット設置の際には高精度 GNSSによりプロットの頂点や中心点の座標を取得し,また樹木の測定結果は,現場でタブレット端末の電子野帳にデジタルデータとして記録する。

現地検討会では,各施業対象地の担当係が,測量・調査の結果を整理した上で,職員全員で現場を踏査しながら,各林分の施業方針を検討する。この際,図表を,タブレット端末の GIS(地理情報システム)アプリケーション上に表示しながら踏査・検討を行う。

収穫調査では,伐採対象林分において,個々の樹木の形質や配置を見極めながら,老衰木・腐朽木等を中心に伐採対象木を選定する。この際,高感度 GNSS で測定した伐採対象木の位置,形質等を現場でタブレット端末の電子野帳にデジタルデータとして記録する。

伐出は,森林生態系の保全のために,森林を大面積で皆伐(かいばつ)するのでなく,1本1本の樹木を選択的に択伐(たくばつ)し,運び出すことを基本とする。伐出作業の一部は,職員が林業機械を使って自ら行っているが,大半は,立木(りゅうぼく)を購入した業者が行っており,伐出後に職員が伐採木や搬出路の確認(伐採監護)を行う。この際,収穫調査のデジタルデータをタブレット端末の GIS アプリケーション上に表示しながら伐採対象木の探索を行う。

また上記一連の手順において現場で収集されたデジタルデータは,パソコンの GIS ソフトウェアやデータベースソフトウェアに同期して管理し,以後の作業に必要な帳票や図面を作成する。

以上のように,北海道演習林では,ICTを含む先端技術を活用して,森林情報の収集・管理を効率化・省力化した新しい森林管理を実践している。

# 森と人を紡ぎ直すサイバーフォレストの教育的活用

森林科学専攻 助教 中村 和彦

## 1. サイバーフォレスト：森の感性情報アーカイブ

インターネットを多くの人が日常的に使うようになった昨今、我々は森とどのように繋がるができるだろうか。サイバーフォレストは、遠隔地にいる人が現地にいる人と同じように情報を得られるよう、インターネット上に仮想的森林の構築を目指す研究プロジェクトである。サイバーフォレストには、現地で人の五感によって捉えられる感性情報が不可欠となる。感性情報とは例えば、画像や音といった、人が直感的に把握できる方法で記録された情報である。

2019年10月現在、サイバーフォレストの概念的枠組みのもとで実際に運用されているのは、画像と音のアーカイブのみであるが、長期的な運用を前提としたメンテナンスを継続している。最初は、東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林の秩父演習林にて、1995年から画像動画の記録を、1998年から音の記録を始め、現在まで20年以上にわたり継続している。秩父演習林は、当然ながら人は居住していないため、商用電源が確保できない。このような、本当に“自然”といえる森の感性情報アーカイブを扱うことが、サイバーフォレストの真髄であり、だからこそ現代における森と人の繋がりを問うに値するものと考えられる。

## 2. 遠隔地における自然観察とフェノロジー

サイバーフォレストのアーカイブを観察すると、季節の移ろいとともに変わる、生物（主に動植物）の行動の様子が把握できる（図1）。このような生物の季節現象を扱う学問をフェノロジー（Phenology）という。近年は特に、気候変動が生物に及ぼす影響の指標の一つとして着目されるようになり、映像を用いた観測の技術開発も進んでいる。

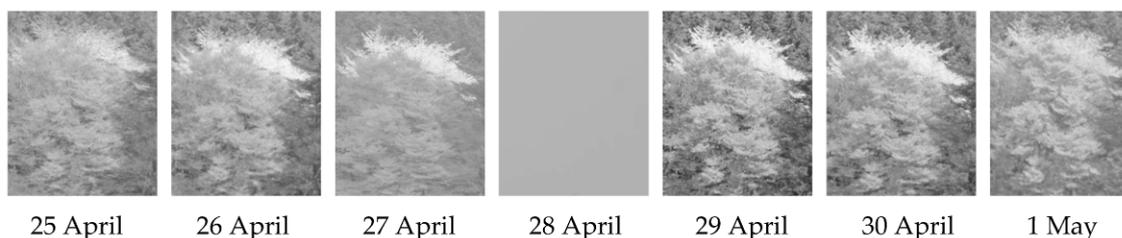


図1：秩父演習林の画像を用いたサクラ開花観察の例（各日の画像の上部に白い花が観察でき、4月28日は天気が悪く視界不良だが、4月27日から29日にかけて満開となっている。）

### 3. 感性情報のデジタルアーカイブが森と人を紡ぎ直す

たとえ実物でなくとも、直感的に自然の様子を観察できる感性情報のアーカイブがあるのだから、せめて子どもたちにだけでも観察してもらいたいと考え、小学校から大学に至るまで、複数回の様々な教育実践を重ねてきた(図2)。その中で、特に時間軸の扱いの難しさが大きな課題となった。特に、気候変動の影響について、数年間の変動のみから誤解を招くケースが見られたため、それを避けるための方法論を検討してきた。また、発展的な学習を行う時間が限られる学校教育現場にも適用可能な教材開発にも取り組んできた。

その一方で、直接の自然体験を欠いた教育実践にならないための方法論も検討している。具体的には、サイバーフォレストの撮影現場における自然体験と組み合わせた学習プログラムの開発である。例えば、サイバーフォレスト地点の一つである東京大学富士癒しの森研究所で自然体験活動を行った小学校5年生が、その1ヶ月後に体験時の録音を聞いて振り返ったところ、現地体験で捉えきれなかった現象や出来事に気づき、自分自身の自然体験そのものをより豊かにすることにつながる可能性が見いだされている。

以上のように感性情報のデジタルアーカイブを新たな自然観察の手段として捉えると、伝統的なそれとは異なる要素を含んだ森と人との関係が浮かび上がってくる。それは単に“繋ぐ”というほど安易なものではなく、その意義を一步一步確かめながら丁寧に“紡ぐ”という表現が、より適切ではなかるうか。

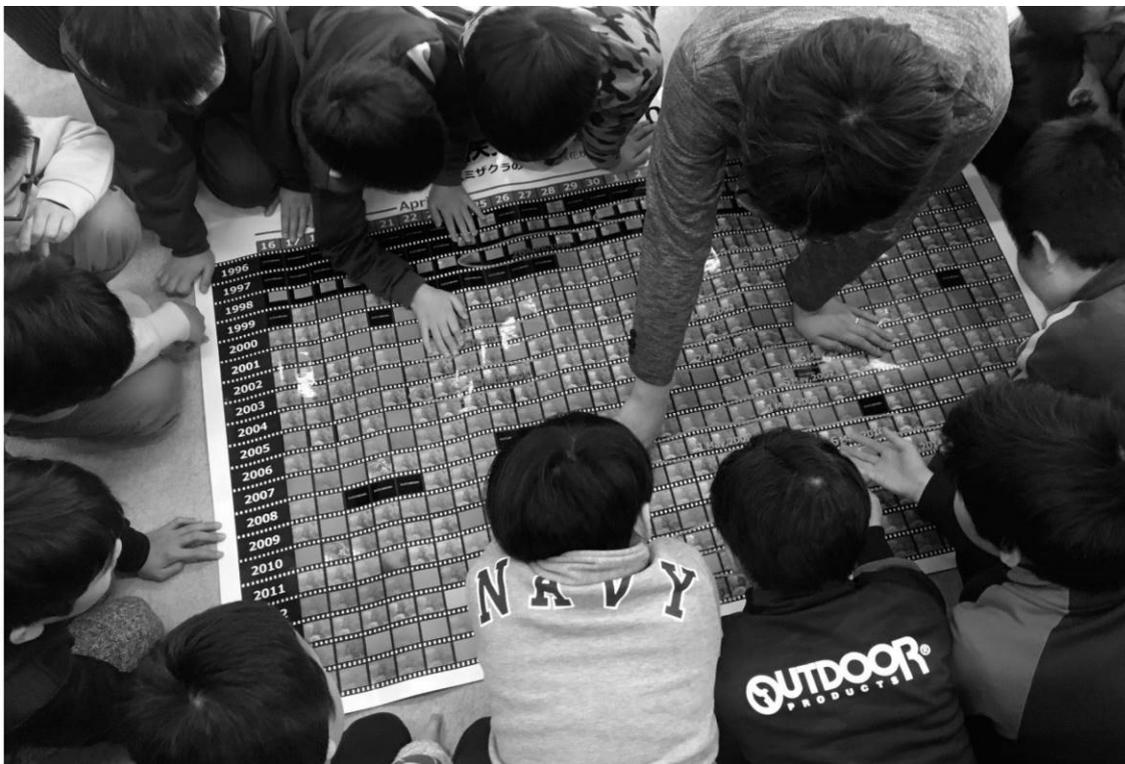


図2：秩父演習林の1996年から2017年の年々の画像をB0サイズに印刷したものを小学生が教員とともに観察している様子。

# リモートセンシングによる植生機能モニタリング

生物・環境工学専攻 准教授 細井 文樹

## 1. 植生を見る 感じる

人が自分の目で植生を見るといった場合には、さわやかな緑やたくさんの樹木が生い茂る光景などが思い浮かぶ。そのようなごくありふれた光景に対し、人工の目では全く違った光景が出現する。例えば人の目では感知できない近赤外光によるカメラ画像では、植物の部分は非常に明るく写り、物体の温度を可視化できるサーマルカメラ画像では、植生の温度自体を見ることができる。さらには、AI (Artificial Intelligence: 人工知能) が植生をどのように見ているのか、それは人間が見る場合と違いがあるのかどうかといった、非常に興味深い話もある。人は植生を見ることで、さわやかさであったり癒しであったり、知的好奇心から植生のしくみや生態系はどうなっているのか、さらには貴重な植生を保護しなければ…など、感じ方は様々である。後者の植生のしくみの解明や保護のためのモニタリングという目的については、上述した人工の目とそれに付随する ICT (Information and Communication Technology) が、非常に有効なツールとして利用可能である。

## 2. リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、離れた場所からカメラなどのセンサーを利用して対象の情報を取得する技術を指す。対象までの距離を基準にした場合、人工衛星などを利用する広域リモートセンシングと、ドローンや車載、地上測定などをベースとした近接リモートセンシングに分類可能である (図1)。

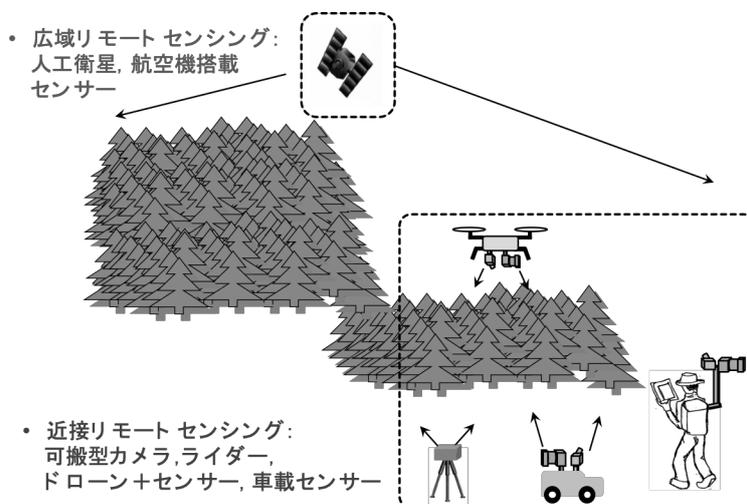


図1 植生リモートセンシングの分類

### 3. 応用例

広域リモートセンシングでは、人工衛星等に搭載されたセンサーが利用される。肉眼では感知できない波長帯をカバーした画像が取得でき、それら複数の画像を組み合わせて演算することで、植生指数画像というものが得られる。中でも植生の蒸散量を反映する iTVDI(improved Temperature Vegetation Index)画像においては、森林で枯死した樹木を検知することが可能で、森林モニタリングに有効となる。近接リモートセンシングで注目の技術は、LiDAR(Light Detection And Ranging)と呼ばれるレーザー機器で、これにより植生の 3 次元画像が得られる (図 2)。LiDAR は自動車の自動走行にも用いられる ICT 機器であるが、その 3 次元画像生成技術は植生のモニタリングにも利用可能で、植生のカーボンストック、葉の量や角度分布など植生に関する様々な有益な情報を与える。このようにリモートセンシングによって植生情報を得る方法が考案されているが、植生を対象とした場合、その複雑な形態や特性により、植生の情報を十分に得るにはまだまだ課題が多い。そうした問題に対し、AI の一種である深層学習 (Deep Learning) が現在注目されている。生物の視覚野を模擬した構造をもつ深層学習器である CNN(Convolutional Neural Network)を利用すると、LiDAR で得た 3 次元画像から植生だけをうまく抽出でき、その情報を自動的に取得可能となる。また、その抽出に際して、AI がどこを見て判断しているかを可視化することも可能で、樹木に特徴的な枝や幹などの部位に AI の注意が集中していることがわかり、人が注目する部分に比較的近い部分を見ていることがわかった。



図 2 LiDAR により取得された広葉樹群落の 3 次元画像例  
(Hosoi and Omasa 2007, Journal of Experimental Botany より改変)

### 4. おわりに

人工の目とそれに付随する ICT を駆使するリモートセンシングでは、人の目だけでは得られない様々な植生情報を得ることができる。近年の AI 技術も活用しながら、植生特性についての新たな知見の獲得や植生機能情報に基づいたモニタリング技術の進展が期待される。

## プロフィール

ひろしま たくや  
**廣嶋 卓也**

附属演習林 北海道演習林

なかがわ ゆうじ  
**中川 雄治**

附属演習林 秩父演習林

### 主な研究活動

森林の多面的機能を広くとらえる際も、個別の機能を深く追求する際も、常に「持続可能な森林経営」の推進を意識して研究をすすめています。具体的なテーマとして、「生存時間解析による人工林の伐採量、天然林の枯損量の予測」、「情報通信技術や人工知能を活用したスマート林業」などに取り組んでいます。

なかむら かずひこ  
**中村 和彦**

森林科学専攻 森林風致計画学研究室

### 主な研究活動

森林の映像アーカイブにより長期的な生物季節（フェノロジー）の観察が子どもでも行えることに着目し、従来の環境教育では具体的な方法論が不足していた長時間規模の体験的な学習方法を検討しています。さらに最近では、リアルな自然体験とバーチャルな映像体験とを、実感を伴う形で繋ぐための方法論にも取り組んでいます。

ほそい ふみき  
**細井 文樹**

生物・環境工学専攻 生物環境情報工学研究室

### 主な研究活動

情報工学的手法に基づいたリモートセンシング技術による植物機能解析に関する研究を行っています。植物のもつ様々な機能を解明するため、植物の分光情報や 3 次元形態情報など質的に異なる情報の取得と統合解析に関する研究を行っています。