



写真1 福井県自生地風景写真2008年撮影

ワサビ—その進化の謎に迫る

岐阜大学応用生物科学部 准教授 山根京子

日本人なら知らない人はいないであろう“わさび”——ところが植物としての“ワサビ”に関しては、生態や進化について驚くほど何も研究されてこなかった。栽培植物起源学研究室出身の筆者は2005年よりワサビを収集し、その起原と進化を明らかにすべく研究を開始した。最初に直面した壁は、栽培と野生ワサビの判別であった。教科書も論文もなく、教えてくれる人もいない。どんなに山奥で発見した集団であっても、かつて誰かが栽培ワサビを持ち込んだ可能性は否定できない(写真1)。そこで、ワサビの近縁種の形態から真の野生種の姿が推定できるかもしれないと考え、隣国の中国調査を決意した。ところが、事前に行った標本調査から、中国のワサビは日本のワサビと形態が酷似していることが判明し、皮肉なことにますます謎が深まってしまった。意を決し、云南省において3000m級の山岳地帯での現地調査を行ったところ、日本のワサビとそっくりな自生地環境で中国のワサビ(シャンユサイ)を発見した(写真2)。標本調査とは矛盾しなかったものの、ワサビは日本固有種であり、日本でのみ栽培化されたというこれまでの常識をみなおさなければならない



写真2 シャンユサイ形態写真

のではないかと、憂鬱な気持ちになったことを鮮明に記憶している。その後、中国の研究者と共同でDNA分析を行ったところ、結果はこれまでの定説を支持するものであった。つまり、見た目はそっくりでもDNA分析の結果、二者の共通祖先は、数百万年に分岐したことが明らかとなったので

ある。結果には安堵したもの、野生と栽培の違いについて明確な答えが得られた訳ではなく、振り出しへ戻ってしまった。そこで筆者は、九州から北海道まで、全国二百カ所以上で調査を行い、二百系統以上の野生および栽培ワサビの系統を収集した。現地でも聞き取り調査も行い、かつてどのように山が利用されてきたのか、栽培された歴史はあるのかなどの情報収集にもつとめてきた。さらに、各系統の花器官の実体顕微鏡観察も行い、形態上の違いについても調べた。実に十年以上かかってしまったものの、ようやく昨年頃より日本のワサビ属植物の遺伝的多様性や遺伝的構造が少しずつみえてきた。日本のワサビ属植物は二種(ワサビとユリワサビ)存在することは知られていた。詳しく調べてみると、少なくともあと一種別種が存在する可能性があることがわかってきたのである。さらに、ワサビとユリワサビは典型的な系統間では明確に形態は区別できるものの、自生地ではたびたび中間的な形態を示す交雑個体に出会うことがあり、交配実験でも交雑稔性は証明できた。つまり、日本のワサビ属植物の地域集団間の系統関係は、人為的な拡散や両種の間過去の遺伝子浸透などが原因で、明確な地理的な構造がみえにくかったのである。ワサビのことを知れば知るほど、その複雑性に驚かされ、もつれた糸をほどこような作業が続いた。時を同じくして、中国のグループが大陸のワサビ属植物に注目し、DNA分析や香味関連成分などの研究が行われ、次々に論文が発表されるようになった。日本にいながら大陸のデータを収集し比較解析できる好機に恵まれ、研究は一気に進んだ。その結果、複雑かつ多様な日本のワサビ属植物の成立には、第四紀(約260万年～)に繰り返された氷河期と間氷



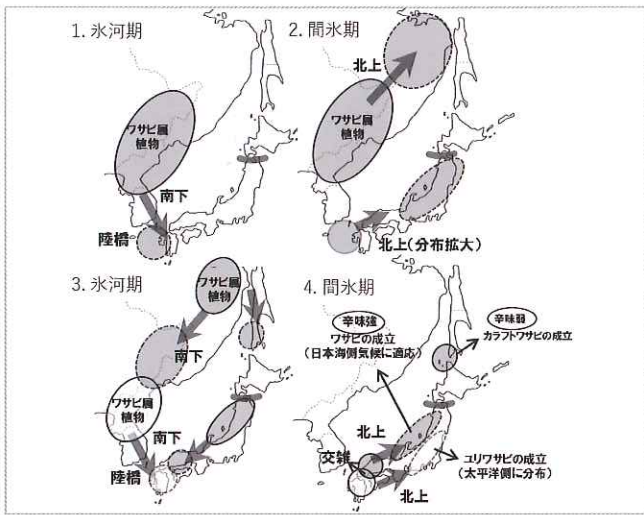


図1 日本のワサビ属植物の分布拡大推定図

期が関係していることが明らかになったのである。DNA分析の結果、なぜこんなにも日本のワサビ属植物は多様であるのか、なぜ中国のワサビ属植物と形態が似ているのか、という問いに対する答えは次のように説明できる。氷河期時代に日本列島は海水面の低下から、複数回大陸と陸続きになったことが知られている。この時、ワサビ属植物の祖先種は、複数回大陸から南下して移入してきたと考えられる。その後、間氷期になり温暖化した際にはワサビは、海を渡ることはできず日本列島を北上し、分布を広げた。こうしたイベントが比較的最近まで繰り返され、これにより日本のワサビの遺伝的多様性は維持されてきたと考えられる(図1)。近年に氷河期に移入してきたと考えられるワサビが、現在の岐阜、山梨、群馬にわずかに残されたグループであり、これらは別種と考えるべきであることがわかった。こうして日本のワサビ属植物は、氷河期と間氷期が繰り返されるなかで分布の拡大や移動が起こり、現在のような複雑な地理的構造をとるに至ったと考えれば矛盾がない。さらに、分岐系統分類学的にも、日本のワサビは、第四紀の間に日本列島の日本海側に適応し、進化した固有種であることが示された。現在は辛味関連の成分分析も行っており、日本で進化したワサビには、大陸でほとんど生合成がみられない種類の辛味関連成分が蓄積していることがわかってきたのである。

以上のように、日本のワサビ属植物の遺伝的多様性とその構造について、豊富な研究材料を用いた実験から多くのことが明らかになった。ところが近年、新たな問題に直面する。肝心の集団が消失の危機にさらされ、深刻な事態となっているのだ。原因の一つとして地球温暖化による影響が考えられる。日本のワサビはブナに代表される日本海要素植物であるとわかってきた。ブナ林が地球温暖化により減少していることはニュースなどで聞いたことがある人もいるだろう。ブナ林が消失の危機にあるということは、同所的に進化した多くの植物たちも同様の脅威にさらされていることを意味し、そのなかにワサビも含まれる。成分分析の結果からも、日本各地のワサビには個性があり、珍しい成分を蓄積する系統も少なくない。このように多様なワサビは貴重な遺伝資

源であり、一度失ってしまったら、二度と取り戻すことはできない。当研究室では、生息域外保全として研究室内で系統保存を行っているが、数に限界がある。そのため、数年前から積極的に現地での保全活動をすすめている。残念ながら、現在の栽培ワサビの遺伝体多様性はごくわずかししか利用できておらず、このままでは、持続的に利用するにはリスクが大きい。長い年月を経て蓄積された進化の産物である遺伝資源を守りながら利用するために、早急に対応策をとる必要があるだろう。

「野性と栽培ワサビの違い」という冒頭で述べた謎については、辛味関連成分やDNA分析により、ある程度区別することができるようになった。「ある程度」としたのは、例外が存在するからである。栽培植物の起源地周辺では、未だ栽培と野生の区別はついていない。栽培ワサビに類似したDNA型を持つ推定上の野生ワサビは、長野、群馬、山梨にまたがる地域に存在している。約400年前に栽培化されたワサビは、このあたりの野生ワサビが利用したと考えてよいだろう。地域を絞り込むためには、より詳細に分析できるDNAマーカーの開発が欠かせない。当研究室では現在、どの地域の野生ワサビが栽培化に用いられたのかを明らかにするために、実験をすすめている。ここからはあくまでも推察の域を出ないが、約400年前に根茎の肥大を目的としたワサビ栽培が始まったとされる静岡県有東木の地には、武田家の落人伝説が残されている。実は、前述した野生ワサビの分布は、勝頼時代に最大となった甲斐の国の領土と重なる。DNA分析や歴史資料を探り、この地で栽培化されたワサビのルーツとなった集団を特定することができれば、なぜ、有東木で栽培化が起こったのか、どういう理由で栽培化を始めたのか、という当時の人々の行動とその歴史的背景との関係性を知る手がかりが得られるかもしれない。ひょっとすると、落ち延びた人々が故郷をしのいで持ち込んだワサビを、湧水で増やそうとしたのではないかと—あくまでも想像上の話であるが、少なくともどのあたりの野生ワサビが栽培化されたのか、エリアを絞り込むことは可能になるだろう。筆者は、ゲノム分析で有名な木原均先生の「地球の歴史は地層に生物の歴史は染色体に記されている」の言葉に感銘を受け、栽培植物起源学研究室の門をたたいた。この時に感じたロマンを今なお抱きながら研究を進めている。残念なことに山梨は、現在シカによる植物の食害が甚大であり、消滅した可能性がある集団が多数存在する。あと10年早く調査していればと悔やまれるばかりである。

本稿の読後、ワサビを食する際に、ワサビが旅してきた百万年をこえる進化的歴史と、その後栽培化を成し遂げた先人へ思いを馳せてもらえたら幸いである。そして、より多くの人々に資源保全の重要性が伝わればと切に願う。

魚道を遡上するアユの環境調査を経験して

株式会社テイコク 環境部 中西元志



魚道を遡上する稚アユ

アユは水産業において重要な資源であり、食品のみならず、釣りの人気も高い。また、春になるとアユの放流や稚アユの遡上がニュースになるなど地域において関心の高い生きものである。アユは、秋に川を下り、中流から下流の礫質の河床に卵を産み、20日前後で孵化した仔アユは川を降下し海へ向かう。そして冬の間は海で過ごし、春になると遡上を始め、中流近くまで遡り、そこで定着して石の苔を食べて成長し、秋から冬にかけて下流まで下りてきて卵を産むといった1年で一生を終える魚である。

私は、木曾三川の下流に位置する大堰で毎年実施されているアユの環境調査に携わっていた。大堰が建設されたことでアユの遡上が阻害されることが懸念され、30年近く実施されている調査である。

当該施設で実施されている遡上調査では、4月中旬より遡上が確認され、5月のゴールデンウィークにはピークを迎え、1日数十万尾もの稚アユが群れを成して一斉に遡上を始める。遡上するアユの体長はというと5~10cmで遡上時期が早いアユほど体長が大きく、遡上終盤になるとやや小柄なアユが遡上する傾向である。また、アユは大潮から中潮の潮位の変動が大きい日を見計らって、上げ潮によって遡上する傾向が見られる。

稚アユは仲間意識が高く、群れで遡上する。普段稚アユが遡上する光景を見ると決まって魚道の端っこに列をつくて遡上する。そして最初に魚道を上り切ったアユは、仲間が

上り切るまで魚道上流部で待ち、仲間が上りきってから再び遡上を始める。一方、遡上のピークはというと、数十万尾ものアユが一斉に魚道を上るため、魚道は大渋滞である。魚道下にはまだかまだかと何万尾ものアユが群れで待ち構えている。この遡上を見ることができるのは、年数回しかない貴重な経験である。

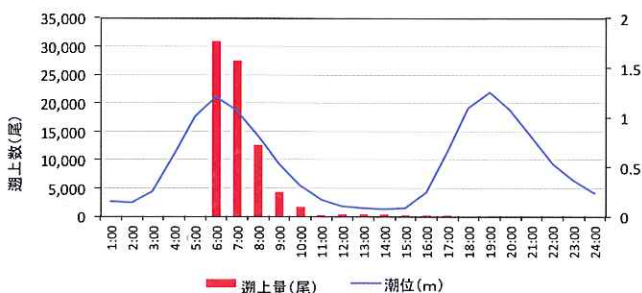
また、この時期はカワウをはじめとした鳥たちの格好の餌場となる。中には環境省や都道府県で絶滅危惧に指定されているコアシサシの姿も多く見ることができる。コアシサシの採餌は繁殖期を迎えた特有の光景であり、ホバリングしながら狙いを定め稚アユを獲りに水中へ飛び込む姿を撮影にたくさんカメラマンが足を運ぶ。



稚アユを獲るコアシサシ

アユの遡上量は変動が大きく毎年異なる。私が調査に携わった5年間では最大で200万尾もの遡上が確認された。この年は、1日で100万尾以上の遡上を確認した。この時は魚道がアユで埋め尽くされた。何故この年だけ遡上量が多かったのか、はっきりとした原因は特定できていないが、この地域では前年秋から冬の期間の仔アユが海に降下する時期に比較的多くの降雨が確認され、孵化した仔アユが一気に海へ到達でき、多くの仔アユが海で成長して、遡上した可能性が考えられる。

岐阜県では、平成27年12月に「清流長良川の鮎」が世界農業遺産に認定され、東海地方のアユの関心はますます高まっていくと考えられる。今後はこの環境調査の経験を生かし、アユの生息環境や産卵環境の把握を行い、アユの遡上環境や生息環境の変化をいち早く察知し、今後起こりうる環境の変化に対応できるアユの保全に役立てる一人になっていきたい。



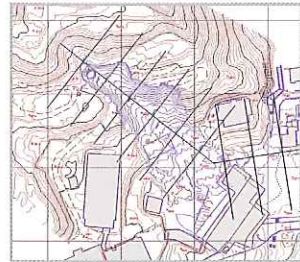
【潮位と遡上量との関係】

最近、小型無人航空機(UAV)「ドローン」はマスコミでよく取り挙げられている。飛行ルールを守らない迷惑行為の問題から、近未来的な空飛ぶ配達ロボット、また、テレビのドキュメント番組などではドローンによる空中からの撮影映像は欠かせないものとなっている。

当社においても、6~7年前からドローンにカメラを乗せ災害時の空中からの状況調査や崩壊地また災害地のなかなかなが入り込めない箇所の地形測量を行ってきた。



土砂災害の状況



現況平面図

しかし、樹木が繁茂している山地部は、空中写真には地面の形状が映らないため写真から測量することは不可能であった。このため、昨年度よりドローン搭載可能な「レーザシステム」を導入し、樹木が繁茂する急斜面などを安全で低コストで地形測量ができるようになった。



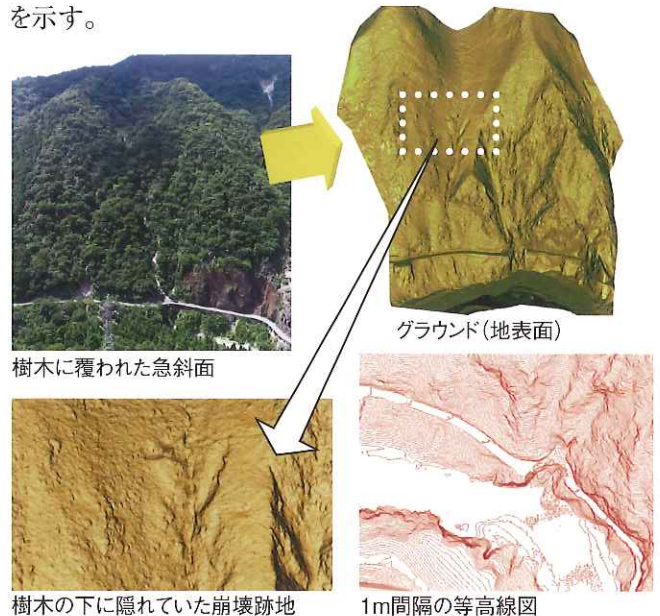
ドローンとレーザシステム
[サイズ: 1.6m×1.5m×0.8m]
[重さ: 約13kg]

ドローン搭載レーザシステムは①ドローン本体、②レーザスキャナー、③GNSS(衛星を用いた測位システム)、④IMU(慣性計測装置)からなる。レーザスキャナーから毎秒10万発照射されるレーザ光からの測定距離をGNSSで求めたレーザスキャナー位置とIMUで求めた姿勢や加速度より、レーザ光の方向を補正し地上の計測点(X,Y,Z)の座標を求め。

計測点は、地上1㎡当たり(計測仕様により異なる)約100点、1haでは100万点になる。これらの計測点を点群データと言われ、点群データには、樹木の上などの計測点も含んでいるオリジナルデータとフィルタリング処理により地面以外の

樹上データなどをノイズとして除去したグラウンドデータがある。また、この点群データを利用して設計CADなどコンピュータで処理をし易いようにグラウンドデータを内挿補間により格子状にしたグリッドデータがある。

以下にグラウンドデータを三次元地形表示および等高線図を示す。



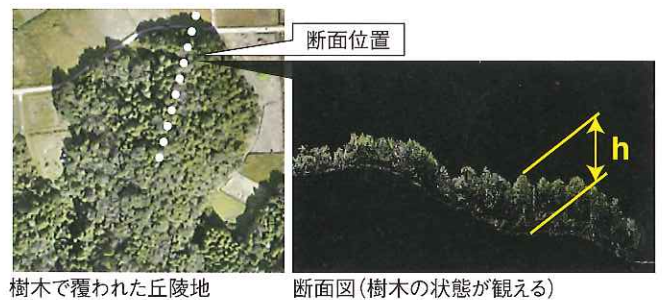
樹木に覆われた急斜面

グラウンド(地表面)

1m間隔の等高線図

樹木の下に隠れていた崩壊跡地

グラウンドデータでは現場にいても認識しづらい地形、岩塊、または昔の崩壊跡が表れてくる。このように単に地形測量の代替だけではなく、樹木の下での地表の表情が観えてくる。グリッドデータより発生させた等高線図は、地形をリアルに表現ができ斜面の把握に大きく寄与できると思われる。レーザで計測されるものは地面以外に樹木の状態も計測されており樹高、樹幹、樹木の密度など定量的な調査も可能である。



断面位置

樹木に覆われた丘陵地

断面図(樹木の状態が観える)

ドローンレーザ及びカメラ搭載ドローンの飛行には「航空法等の規制」を遵守することは当然であるが、次のことを常に考慮する必要がある。①天候:降雨時不可、風速5m/s以上不可、②離着陸場の確保:上空が開け3~5㎡の空き地が必要、③目視範囲内での飛行:飛行状態が見渡せる位置でのオペレーティングが必要。

今後はドローンレーザの飛行条件を守り作業の安全を第一に、色々な利用方法を皆さんに提案して行きたい。