

【論文】

里山二次林におけるナラ枯れを教材とする学習内容の提案

小南陽亮¹・村松悠矢²・宮崎静里奈³
森島彩衣³・藤本 潔³

¹静岡大学大学院教育学領域・²静岡大学教育学部・³南山大学総合政策学部

要約

本研究は、高校生物の探究活動において、生物多様性を劣化させる4つの危機のうち第2の危機（人間の働きかけの縮小による危機）への理解を深める学習として、里山二次林で広域発生しているナラ枯れを題材にした活動の方法と内容を提案する。人間の利用減少に伴うナラ枯れの広域発生は第2の危機が典型的に当てはまる現象であり、第2の危機を学習する教材として適している。学校教育でナラ枯れが発生した森林を実際に観測することは難しいため、本研究では、研究目的で観測されたデータを分析して学習する方法を提示することにした。また、学習内容については、ナラ枯れによる里山二次林の変化、その変化による里山二次林の二酸化炭素蓄積への影響、ナラ枯れが人間の働きかけの縮小による危機であることの3点について、高校の生徒が取り扱い可能な内容を検討した。まず、ナラ枯れが発生した里山二次林で2010年と2015年に観測された樹木センサスのデータを用い、生徒が理解しやすい形式のデータベースを構築した。次に、解析の手本として、樹木群集の構造を示す種順位曲線、階層毎の生育型組成、樹種ごとのナラ枯れ発生率、樹種ごとの二酸化炭素蓄積量を分析し、それらの結果を2010年と2015年で比較した。これらの解析方法はいずれも学校教育で実施できると想定された。それらの解析結果から読み取ることができる内容のうち、コナラが高い割合でナラ枯れにかかって急速に衰退したこと、代わりに常緑広葉樹が占める割合が高くなったことが、早い段階で生徒に推定させたい内容であると考えられた。また、二酸化炭素蓄積量の変化を検討することで、コナラの衰退が5年間で二酸化炭素蓄積量を減らしたことを容易に読み取ることができ、ナラ枯れが生態系サービスを低下させる可能性があることへの気づきも期待できた。本研究が提案したこれらの解析や考察によって、生徒が「ナラ枯れが広域的に発生している理由は何か」という課題に対する妥当な結論を得ることができれば、人間の働きかけの縮小による第2の危機を具体的に認識できる探究活動になると見込まれる。

キーワード

里山、ナラ枯れ、探究活動、生物多様性、理科教育

1. 研究の背景と目的

1.1 学習教材としての森林

森林が学校教育において多く取り扱われることは、日本の自然環境への理解をこれまで以上に深めることになる。平成23年以前の学校教育では理科の学習で森林が扱われることは少なかったが、平成24年の学習指導要領改訂以後は高校生物において森林生態系を対象とする内容が大幅に増加した（文部科学省2011、本川ほか2011）。特に、群集の動態や生物多様性の学習において、森林が例として扱われることが多くなった。日本の潜在自然植生（人間の影響が一切無い場合に成立する植生）の大部分は森林であり（山中1979）、現存植生（現実に見られる植生）でもおよそ3分の2は森林となっている（環境省自然環境局2004）。このように森林は日本の最

も主要な植生であり、気候変動の影響や生物多様性の劣化など、日本における自然環境の変動に対応できる力をつける上で、理科の学習内容に森林を含めることは大切であると考えられる。

森林を対象とする学習内容が増えた背景として、生物多様性の保全に関する学習が学校教育で新たに取り上げられるようになったことがあげられる。日本は、平成5年に生物多様性条約を締結して以降、生物多様性国家戦略と呼ばれる国策を策定し、国際的な義務として生物多様性の保全に取り組んできた。平成23年に改訂された「生物多様性国家戦略2012-2020」では、生物多様性の保全と持続可能な利用を、地球規模から市民生活レベルまでのさまざまな活動に組み込む必要性（生物多様性の主流化）が指摘され、そのために学校教育や社会教育がはたす役割が大きいことが明示されている（環境省

2012)。高校生物において、生態系、生物群集、生物間相互作用など、生物多様性の理解につながる内容の取り扱いが急増したのは、生物多様性国家戦略の方針が反映されたものと考えられ、中学校や小学校の理科の内容においても生物多様性の保全に関連する取り扱いが今後増えると予想される。

1. 2 ナラ枯れと生物多様性の第2の危機

日本の森林では、近年、気候変動やニホンジカの高密度化などによる異変が広域的に発生しはじめている(小泉 2011、中静 2015)。身近な環境である里山二次林(燃料や堆肥づくりのために人間が利用してきた半自然の森林)では、1980年以降に日本海側で広域的に発生しはじめたナラ枯れが、近年は愛知県や京都府など太平洋側でも被害が拡大し、静岡県内でも多くの発生がみられるようになった(黒田ほか 2010、牧野 2012、加藤 2014、渡辺ほか 2016)。ナラ枯れは、樹木の幹を穿孔して、その内部で生活する甲虫のカシノナガクイムシ(*Platypus quercivorus*)が運ぶ菌の一種 *Raffaelea quercivora* (以後、*R. quercivora* 菌)が発生させる樹木の病気である(黒田ほか 2010)。ナラ枯れより前に全国的に被害が発生しているマツ枯れは北米からの外来生物が引き起こしているが、ナラ枯れにおけるカシノナガクイムシと *R. quercivora* 菌は日本の在来種と考えられている(牧野 2012)。ナラ枯れの発生は、以前は局所的かつ短期的なものにとどまっておりました(黒田ほか 2010)、在来種であるカシノナガクイムシと *R. quercivora* 菌は、もともとは日本の自然環境に広域的な異変をもたらす生物ではなかったと推定される。

人手が入っている里山二次林では大きな発生が無かったナラ枯れが、近年になって広域的に発生するようになった原因として、里山二次林が高度経済成長期以降に利用されなくなり、高齢で大きな径の樹木が増えていることが指摘されている(黒田ほか 2010、牧野 2012)。すなわち、里山二次林が薪や炭を生産するために定期的に伐採されていた時には小径の若い樹木が主であったため、ナラ枯れが発生し難い状態が維持されてきた。ところが、里山二次林がほぼ一斉に利用・管理されなくなって数十年が経過し大径の高齢木が増えたことで、幹を穿孔して生活するカシノナガクイムシが全国的に大発生しやすい状態になったと考えられている。

生物多様性を劣化させる4つの危機(環境省 2012)、すなわち、開発・乱獲による危機(第1の危機)、人間の働きかけの縮小による危機(第2の危機)、外来生物による危機(第3の危機)、気候変動による危機(第4の危機)のうち、ナラ枯れは、第2の危機についての探究活動や能動的な学習の題材として利用できる可能性がある。人間の未利用によるナラ枯れの広域発生は、第2

の危機が典型的に当てはまる現象のひとつである。4つの危機のうち、第1、第3、第4の危機については具体的な事例も多く、生徒が比較的イメージしやすい内容と考えられるが、第2の危機については、なぜそれが危機なのかを生徒に具体的に理解させることは容易ではない。例えば、人間が利用しなくなった里山二次林を今後は自然の推移にまかせるという考え方もありうるが、里山二次林は長い歴史の中で人間によって利用されてきたため、自然の推移にまかせることで潜在自然植生が示すような自然林に移行できるとは断定できない。一方、里山二次林を自然の推移にまかせずに人間が管理し続ける場合、その管理コストに見合う意義があるのかについて普遍的な見方が得られていない。このように、第2の危機には学校教育で取り扱う上で難しい点が少なくない。

1. 3 高校生物の探究活動でナラ枯れを扱う意義

現状では難しい点が多いが、「第2の危機にどのように対応するか」は、何を重視するかによって結論が様々になること、結論を得るためには自然環境への理解だけでなく地域の伝統文化や経済への理解も必要なことなどから、多様な見方・考え方を議論し、地域社会とのかかわりも含めて身近な自然への理解を深めることができる好適な題材となる可能性がある。すなわち、高等学校学習指導要領(文部科学省 2011)の生物基礎における「生物の多様性と生態系に関する探究活動」の「生物の多様性と生態系に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、生物学的に探究する能力を高めること」と、生物における「生態と環境に関する探究活動」の「生態と環境に関する探究活動を行い、学習内容の理解を深めるとともに、生物学的に探究する能力を高めること」を実施する上で、新たな探究活動の内容として開発する価値が高いと考えられる。現状では、高校生が第2の危機を明確に認識できる事例が少ないことから、ナラ枯れの広域発生を具体的に取り扱える題材にすることができれば、第2の危機への対応を検討する探究活動をより実施しやすくなると見込まれる。

1. 4 研究目的1: ナラ枯れを教材とする方法の考案

そこで本研究では、ナラ枯れを高校生物の探究活動で取り扱うことができる方法を考案することを目的とした。

学校教育において森林に関する内容を学習する場合、実験的な手法を用いることは極めて難しく、実物を観察・観測することも容易ではない。草本や草本群落が対象である場合は、学習指導要領に例示されている2分の3乗則の学習のように、草本を材料とした栽培実験を学校でも行うことが可能である。しかし、森林を材料に何らかの実験や観測を行うことは、それに要するスケール

と時間、実施可能な場所の確保の点だけをみても、森林の試験研究機関と連携できる学校でなければ、かなり難しいと言える。また、実物の森林に出向いた観察にも、時間の確保など学校で実施する上で困難な点が多い。森林を対象とする学習でも実物を材料に学習するのが理想であるが、より普遍的に実施可能な手法として、実物の森林を観測したデータを整理・分析することで能動的な学習を行う方法が検討されている(小南ほか2013、小南2014、2015)。そこで、本研究でも、ナラ枯れが発生した森林を実際に観察・観測するのではなく、研究目的で観測されたデータを活用して学習する方法を提示することにした。そのために、1) 現有のデータを活用したモデルとなるデータベースを構築し、2) そのデータベースをどのような方法で分析するのが適切であるかを検討した。

1. 5 研究目的2: ナラ枯れを探究する内容の提案

次に、考案した方法を用いて、高校生物における探究活動で実施できる内容を提案することも目的とした。

学習内容については、次の3つについて、学校教育で取り扱い可能な内容を検討・提案する。

内容1) ナラ枯れによって、里山二次林がどのように変化するかを予測する。

内容2) その変化が、生態系サービス(人間が生態系から得られる利益)のひとつである里山二次林の二酸化炭素蓄積にどのように影響するかを検討する。

内容3) ナラ枯れは、単なる自然現象でなく、人間の働きかけの縮小による危機であることを認識する。

1) は、里山二次林の構造を把握し、その動態を予測する内容であり、ナラ枯れが発生した森林についての基礎科学的な理解を深めることがねらいとなる。2) は、地球規模の環境問題として国際的に認識されている気候変動に注目し、ナラ枯れがどのように影響するかを考察することで、環境変動を身近な問題として体験・認識することをねらいとしている。3) は、自然に発生しているようにみえる現象にも、人間の社会的要因が作用していることがあることを理解した上で、里山二次林のような半自然植生では、利用が縮小することによって異変が発生する可能性があることを具体的に認識することがねらいである。

2. ナラ枯れを教材とする方法の検討

2. 1 データベースの構築

学校教育で利用可能なデータを構築するため、愛知県瀬戸市の丘陵に残存するナラ枯れが発生した里山二次林

の「海上の森」(渡辺ほか2016)で行われた樹木センサスのデータ(藤本・小南2016)を用いた。この樹木センサスでは、「海上の森」に20m×20mの調査区を設け、調査区内に生育する樹高1.3m以上の全樹木を対象に種名、胸高直径(高さ1.3mの位置で測定した直径)、樹高、ナラ枯れ発生の有無を記録している。このようなセンサスが、2010年、2011年、2012年、2013年、2015年にそれぞれ行われた。

このうち、本研究で使用するデータとして、2010年と2015年のデータを選択した。学習で使用する場合、生徒が明確に認識できる変化がみられる間隔が必要であること、途中の2011年~2013年のデータも含めると、対象サイズ未満であった樹木が成長して加入することによる増加と枯死による減少の関係が複雑となり、高校の探究活動で扱うデータとしては難解になることから、5年の間隔がある2つのセンサスデータを用いることにした。また、分析に低木種を含めると動態の予測が複雑になると考え、低木種を除き、高木種のみを対象とした。研究目的で収集されたデータをこのように選択・整理し、学習に用いるデータとして、305本の樹木を対象に、種名、樹高(2010年と2015年)、胸高直径(2010年と2015年)、ナラ枯れ発生有無の6項目で構成されるデータベースを構築した(附表)。

2. 2 分析方法の検討

小南ほか(2013)は、里山二次林における樹木センサスのデータを用いて生物多様性について学習できる内容を検討し、群集構造や二酸化炭素蓄積量に関する基本的な解析方法のほとんどは学校教育でも取り扱い可能なことを示した。ここでは、構築したデータベースから学習できる内容を検討するために、小南ほか(2013)の検討を参考にして、1) 樹木群集の構造、2) 階層構造の変化、3) ナラ枯れの発生状況、4) 二酸化炭素蓄積量の変化をそれぞれ把握する解析を次のように行った。

1) 樹木群集の構造を把握する解析としては、樹種毎に本数と胸高断面積の合計を算出し、それぞれを多さの評価値とする種順位曲線を作成した。種順位曲線は、曲線の形状から群集の多様性等の特徴を読み取る手法である。

2) 階層構造の変化をみるために、樹種の生育型を落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹の3タイプに分類し、5m未満、5~10m、10m以上の3階層における各生育型の本数を計数して、階層毎の生育型組成を示す分布図を作成した。

3) ナラ枯れの発生状況については、樹木毎のナラ枯れ発生有無のデータから、ナラ枯れが発生した本数を樹種ごとに計数した。

4) 二酸化炭素蓄積量の変化については、IPCC(気候

変動に関する政府間パネル) に報告される日本の炭素蓄積量の推定に用いられる次式によって算出した(松本 2001)。

$$\text{炭素蓄積量} = \text{幹材積} \times \text{拡大計数} \times \text{容積密度} \times \text{炭素含有率}$$

ここで、幹材積(樹木の幹部分の体積)については胸高直径と樹高より林野庁計画課(1970)による山梨・静岡地方の樹木の材積推定式(下記)を用いて樹木毎に計算した。

$$\log(\text{幹材積}) = \text{切片} + \text{樹高係数} \times \log(\text{樹高}) + \text{胸高直径係数} \times \log(\text{胸高直径})$$

* 広葉樹の切片: -4.344385、樹高係数: 1.098828、胸高直径係数: 1.834463、針葉樹の切片: -4.326722、樹高係数: 1.227196、胸高直径係数: 1.726305。樹高の単位はメートル、胸高直径はセンチメートル。

拡大係数(枝・葉・根を含む材積への換算値)には針葉樹 1.7 と広葉樹 1.8、容積密度(材積に対する乾重量の比)には針葉樹 0.37t/m³、広葉樹 0.49t/m³、炭素含有率(乾重量に対する炭素の比)は全樹木に 0.50 をあてはめた。さらに、算出した炭素蓄積量を 44/12 を乗じて二酸化炭素量に換算した。

上記で用いた材積推定式では対数を用いるため、数学で対数を学習していない生徒には使用できない。そこで、幹材積については、林業技術センター普及班(2007)を参考に、対数を使わないより簡易な推定式(下記)でも算出し、得られた結果を上記と比較した。

$$\text{幹材積} = \text{胸高直径}^2 \times \text{樹高} \times \text{係数}$$

* 係数は 0.4、樹高と胸高直径の単位はともにメートル。

これら全ての解析は、2010年と2015年のデータそれぞれで行い、5年間隔の変化を示した。また、解析では、表集計ソフトウェア(本研究では Microsoft Excel)を用い、表集計ソフトウェアが標準装備する機能のみを用いて解析・作図を行った。

3. ナラ枯れを探究する内容の検討と提案

3. 1 データベースを用いた解析結果

3. 1. 1 樹木群集の構造

調査区(20m × 20m)における高木樹種は、2010年には234本みられ、5年後の2015年では233本であった(表1)。このように全体の本数では大きな変化は無

表1 調査区に生育する樹木の本数とナラ枯れ被害数

樹種	本数(2010年)		本数(2015年)	
	全数	被害木	全数	被害木
ヒサカキ	88	0	97	0
ソヨゴ	52	0	61	0
リョウブ	29	0	30	0
コナラ	20	19	4	4
ヒノキ	13	0	16	0
アカマツ	7	0	3	0
サカキ	6	0	7	0
アオハダ	6	0	5	0
ヤマウルシ	5	0	3	0
タカノツメ	4	0	0	0
スギ	2	0	2	0
サルスベリ	1	0	1	0
ネズミサシ	1	0	1	0
モッコク	0	0	2	0
コブシ	0	0	1	0
全樹木	234	19	233	4

かったが、樹木の構成には明瞭な変化がみられた。本数による種順位曲線(図1)では、2010年時点の上位2種(ヒサカキ、ソヨゴ、リョウブ)の順位は2015年でも変わらず、ヒサカキとソヨゴは本数を増加させたのに対し、2010年に20本で4位のコナラは2015年には4本に減少して7位になった。胸高断面積合計(cm²)による種順位曲線(図2)では、2010年に最優占種であったコナラが2015年には3位となり、ソヨゴが胸高断面積合計を増加させて最優占種となった。

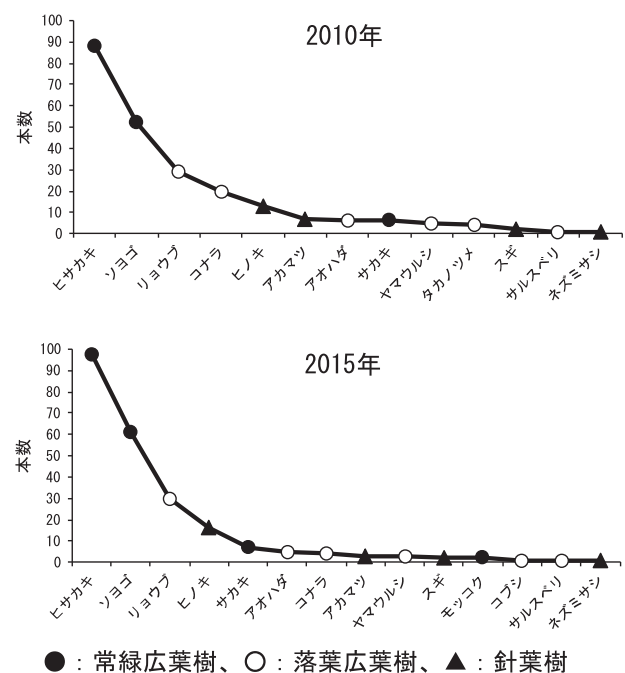


図1 調査区における本数による種順位曲線

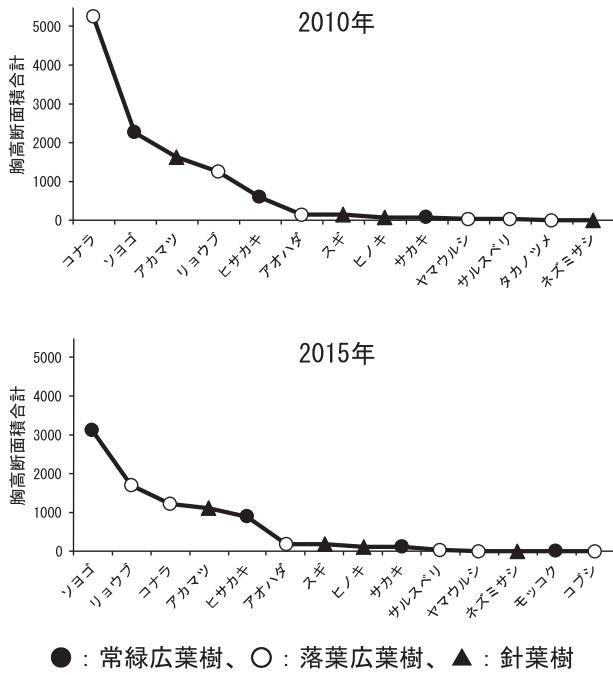


図2 調査区における胸高断面積合計 (cm²) による種順位曲線

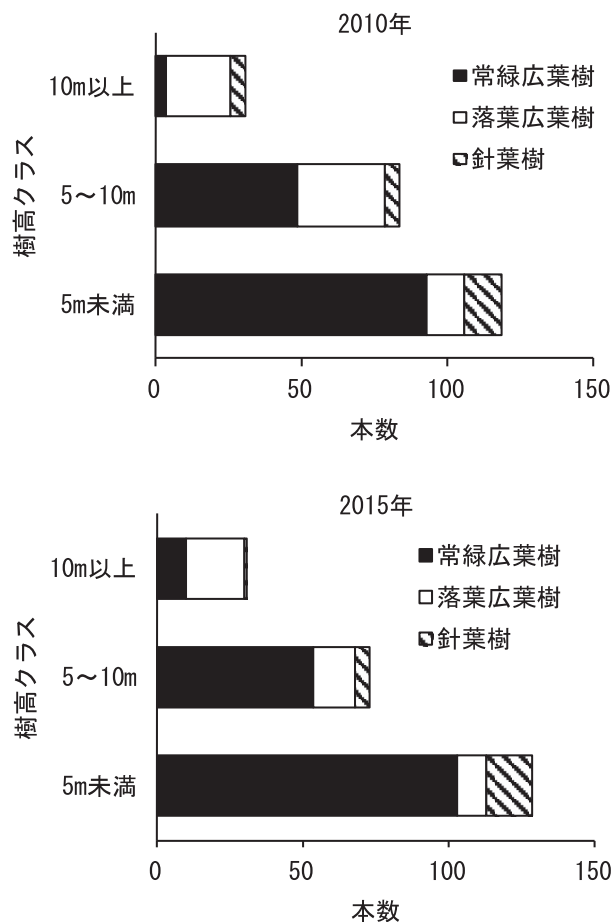


図3 調査区における階層毎の生育型組成

3. 1. 2 階層構造の変化

階層構造では、どの階層でも落葉広葉樹が減少し、常緑広葉樹が増える傾向がみられた (図3)。10m以上と5~10mの階層で落葉広葉樹が減少したのは、主にコナ

ラの枯死による変化であった。10m以上の階層での常緑広葉樹の増加は主にソヨゴの成長によるものであり、5~10mと5m未満の階層では、主にヒサカキが増加していた。

3. 1. 3 ナラ枯れの発生状況

ナラ枯れはすべてコナラで発生しており、その他の樹種ではみられなかった (表1)。2010年時点では、コナラ20本のうち19本 (95%) にナラ枯れが発生しており、その多くが枯死した結果、2015年にはコナラは4本のみとなった。

3. 1. 4 二酸化炭素蓄積量の変化

このような樹木の変動により、調査区の樹木が蓄積する二酸化炭素量は明らかに減少した。幹材積を林野庁計画課 (1970) による推定式を用いて算出した結果 (表2) では、2010年から2015年にかけて、樹木全体で二酸化炭素蓄積量が2.8t減少した。減少量が最も多かったのはコナラ (3.5t) であり、次いでアカマツも0.6t減少した。一方、増加量が最も大きかったのはソヨゴ (0.6t) であり、次いでリョウブ (0.5t)、ヒサカキ (0.1t) の2種が0.1t以上増加した。対数を使わないより簡易な推定式で算出した結果 (表3) では、蓄積量の値が全体的にやや大きくなったが、樹種間の比較でみられる傾向は同じであった。

表2 調査区における二酸化炭素蓄積量の変化 (幹材積を山梨・静岡地方の樹木の材積推定式で計算した場合)

樹種	二酸化炭素蓄積量 (t)		
	2010年	2015年	増減
落葉広葉樹			
コナラ	4.819	1.292	-3.527
リョウブ	0.964	1.433	0.469
アオハダ	0.107	0.140	0.033
ヤマウルシ	0.022	0.011	-0.010
サルスベリ	0.015	0.019	0.003
タカノツメ	0.007	0	-0.007
コブシ	0	0.0003	0.0003
計	5.933	2.895	-3.038
常緑広葉樹			
ソヨゴ	1.544	2.164	0.619
ヒサカキ	0.228	0.369	0.141
サカキ	0.032	0.042	0.010
モッコク	0	0.0003	0.0003
計	1.804	2.575	0.771
針葉樹			
アカマツ	1.101	0.515	-0.585
スギ	0.070	0.081	0.011
ヒノキ	0.029	0.038	0.009
ネズミサシ	0.0001	0.0006	0.0005
計	1.200	0.635	-0.565
全樹木	8.937	6.104	-2.833

表3 調査区における二酸化炭素蓄積量の変化
(幹材積を対数を使わない簡易な推定式で計算した場合)

樹種	二酸化炭素蓄積量 (t)		
	2010年	2015年	増減
落葉広葉樹			
コナラ	5.471	1.445	-4.026
リョウブ	0.982	1.478	0.496
アオハダ	0.105	0.140	0.036
ヤマウルシ	0.019	0.011	-0.009
サルスベリ	0.015	0.019	0.004
タカノツメ	0.006	0	-0.006
コブシ	0	0.0002	0.0002
計	6.598	3.093	-3.505
常緑広葉樹			
ソヨゴ	1.585	2.253	0.668
ヒサカキ	0.217	0.359	0.142
サカキ	0.031	0.042	0.011
モッコク	0	0.0002	0.0002
計	1.832	2.654	0.822
針葉樹			
アカマツ	1.164	0.614	-0.550
スギ	0.073	0.088	0.015
ヒノキ	0.025	0.035	0.010
ネズミサシ	0.0001	0.0005	0.0004
計	1.262	0.737	-0.525
全樹木	9.692	6.484	-3.208

3. 2 内容1：ナラ枯れによる里山二次林の変化予測

本研究で構築したデータベースを活用することで想定される高校での探究活動について、生徒に解析可能であるかを検討した上で、生徒に学習で身につけてもらいたい内容を提案する。

里山二次林の構造を把握し、その動態を予測する探究では、種順位曲線(図1、図2)と階層毎の生育型組成(図3)を用いることが想定される。種順位曲線の作成では、樹種ごとの本数と胸高断面積の合計をそれぞれ計数・算出して、それらが多い順に折れ線グラフを作成する。本研究が構築したデータベースでは、2010年について234本分、2015年について233本分のデータが対象となり、合わせて467本分のデータを集計することになる。このような作業は、小南ほか(2013)が検討しているとおおり、グループで分担して行えば、難しい作業ではない。例えば、データの読み上げと計算値の記録を担当する生徒と計算を担当する生徒の2人を1組にして、5組(10人)で作業する場合は、1組当たり90本分程度のデータを集計すればよい。胸高直径から断面積を計算(円に近似して半径 $2 \times$ 円周率)する場合、1分間で3本程度計算できれば、30分程度で完了する。本数については種毎に計数するだけであり(表1)、より短時間で可能である。階層毎の生育型組成についても、階層毎に各生育型の本数を計数するだけであるため、難しくはない。図

の作成については、単純な折れ線グラフや棒グラフであるため、作成の要領について説明があれば、図1~図3は方眼紙に手書きでも作成可能である。

ナラ枯れの発生状況についても、本数による種順位曲線(図1)を作成するために表1のように種毎の本数を計数する際、ナラ枯れ発生の有無も同時にチェックすれば、ナラ枯れがコナラのみが発生することと、コナラでの発生率が高いことは、容易に把握できる。

種順位曲線、階層毎の生育型組成、ナラ枯れの発生状況から読み取ることができる内容のうち、2010年時点の調査地では、コナラが上層を構成する主要な樹種であり、他の種と比べて大径のものが多いことを、早い段階で生徒に把握させたい。このことへの気づきは、種順位曲線の比較により、本数では4位のコナラが断面積合計では2位の倍以上もある1位であることの意味を考えさせることで、支援できると考えられる。

次に、2010年から2015年にかけてナラ枯れによってコナラが大きく減少し、ソヨゴやヒサカキなどの常緑広葉樹が各階層で増えていることが、生徒に気づかせたい内容となる。ナラ枯れを題材として第2の危機への対応を考えることが学習全体のねらいであるため、コナラが高い割合でナラ枯れに罹病して衰退したことを理解し、近い将来、調査地の森林においてコナラが少数になると予測することが必要である。また、常緑広葉樹が占める割合が高くなっていることから、このまま推移すればこの森林では常緑広葉樹が優占するようになることも、生徒に推定させたい。

さらに、ナラ枯れとは直接の関係は無いが、2010年時点ですでに少数となっていたアカマツが5年間でさらに減少したことにも、生徒の気づきを期待したい。里山二次林を変化させる現象として、ナラ枯れより前にマツ枯れが全国的にあったことについて、文献やネットワークを調べることで把握できれば、後述のように深い探究に発展させることができる。

3. 3 内容2：二酸化炭素蓄積量への影響

二酸化炭素蓄積量の算出では、種順位曲線等と比べて計算量がかなり多くなることから、探究活動に使える時間や参加者数などを十分に考慮して実施する必要がある。また、幹材積の計算で対数を含む推定式を用いるか、より簡略な推定式を用いるかについても、事前の検討が必要である。国立大学附属中学校において、2~4人を一組として5組の生徒が、本研究とは異なる森林で計測した同様なデータを用い、簡略な推定式による方法で190本程度の樹木の二酸化炭素蓄積量を計算した事例では、表3のように蓄積量を算出するまで3時間程度を要した(未発表)。高校生ではより短時間で計算できる可能性はあるが、探究活動に参加する生徒の人数と計算力、

計算に当てられる時間を十分に考慮した上で、無理のないように実施することが望ましい。生徒が表集計ソフトウェアを使用できる場合には、計算に要する時間はかなり短縮できるはずである。対数を含む幹材積推定式を用いた結果(表2)と、より簡略な推定式を用いた結果(表3)を比べると、算出した値にやや差が生じているが、二酸化炭素蓄積量の増減を種間で相対的に比較する上では、見出される傾向は同様であり、探究活動においてはどちらの方法を用いてもよいと考えられる。

調査地における二酸化炭素蓄積量の変化からは、ナラ枯れによるコナラの衰退が5年間で二酸化炭素蓄積量を相当減らしたことを容易に読み取ることができる。また、本数は増えている常緑広葉樹も、二酸化炭素蓄積量の点ではコナラの衰退による減少をすぐには補えないことも、気づいてほしい内容である。これらを読み取った上で、ナラ枯れは里山二次林が蓄積している二酸化炭素量を大きく減少させ、その回復にはかなりの時間が必要であることが、生徒に推定させたい内容となる。気候変動に影響する二酸化炭素の蓄積は、生態系サービスの中で調節的サービス(気候や水質の調節、災害の軽減、病虫害の抑制など)のひとつと考えられる。そのため、二酸化炭素蓄積量の変化を探究することは、生態系サービスという概念があることを知り、ナラ枯れに象徴される第2の危機が、生態系サービスを低下させる可能性があることを認識する機会となる。

3. 4 内容3:人間の働きかけの縮小による危機の認識

以上のように、調査地における里山二次林の構造、ナラ枯れによる変化、および二酸化炭素蓄積量への影響を分析・解釈した上で、総合的に考察する課題としては、いくつか想定される。おそらく生徒が最も設けやすい課題は、「ナラ枯れが広域的に発生している理由は何か」であろう。附表のデータだけではその課題を考察することはできないので、指導者による資料配布または生徒による調べ学習等によって、少なくとも次の情報を生徒が得る必要がある。

- ・ナラ枯れの広域発生が1980年以降に生じていること。
- ・ナラ枯れは幹を穿孔する昆虫のカシノナガキクイムシが運ぶ *R. quercivora* 菌が発生させる病気であること。
- ・カシノナガキクイムシも *R. quercivora* 菌も、在来種であること。
- ・里山二次林は、以前は燃料を採取するために20年～30年程度の間隔で伐採されてきたこと。
- ・高度経済成長期に日常生活で使用するエネルギー源が電気やガスに転換したことで、1960年代から1970年代にかけて里山二次林が急速に利用・管理

されなくなり、現在に至っていること。

これらの情報とデータの分析・解釈を合わせて考察することで、「ナラ枯れが広域的に発生している理由は何か」に対して期待される結論は、「燃料採取のために繰り返し伐採されていた里山二次林では、小径の若い樹木が多かったために、ナラ枯れは大規模には発生しなかったが、高度経済成長期以降のライフスタイルの変化により利用されなくなった里山二次林では、大径の高齢木が増えたために、幹を穿孔するカシノナガキクイムシが媒介する病気が大規模に発生しやすくなった」である。利用されていた時には太くなる前に切られるため小径木が多かったが、未利用のまま長年経過すると成長が進んで大径木が多くなることについては、生徒自ら推定することを期待したい。その推定は上記のとおり難しいものではないが、調査地については現状と比較できる過去のデータが無いため、探究の様子をみて、必要に応じて指導者が気づきを支援する必要があるかもしれない。いずれにせよ、上記の結論に到達できれば、「人間の社会的要因による利用減少で里山二次林が変化し、二酸化炭素蓄積のような生態系サービスを低下させる異変が広域で発生するようになった」というように、探究活動をまとめることができる。すなわち、ナラ枯れを教材とすることで、人間の働きかけの縮小による第2の危機を具体的に認識できる探究活動ができると考えられる。

さらに深く探究する余裕がある場合には、ナラ枯れを発生させている生物は在来種であることに注目した課題が想定される。例えば、「ナラ枯れには、どのような対策をとるべきか」や「人手が加わっていない自然林では、カシノナガキクイムシと *R. quercivora* 菌が大発生しないようにバランスが保たれている仕組みは何か」という課題が興味深い。前者については、外来種に起因するマツ枯れも全国的に発生していることを知り、それに対してどのような対策がとられているかを調べた上で、「外来種に起因するマツ枯れに対しては薬剤散布等によって外来種を駆除する対策が行われているが、在来種によるナラ枯れでも同様な対策が適切であるか」を考察できれば、第3の危機も関連させた有意義な探究活動にできる。後者については、人間によって定期的に伐採されてきた二次林と比べて、自然林では樹木の年齢構成がより多様(若齢木から老齢木まで様々)なことを調べた上で、ナラ枯れが小径木よりも大径木で発生しやすいことの意味を考えることから考察を始めるとよいかもしれない。前後者ともに、専門の研究者でも完全には答えることができない問いであり、高校生にはかなり難解である。しかし、正解にたどり着けなくても、このような課題を考察すること自体が、半自然植生である里山二次林の利用・管理の複雑さや難しさを体験することになると考えられる。

4. 想定される探究活動の流れ

本研究が提案する探究活動は、実験や野外調査を行わず、教材用に提供されるデータを解析するものであり、これまでは事例が少ないものである。実践例の積み重ねが今後必要であるが、想定される活動の流れは次のとおりとなる。

- 1) 生物多様性の劣化、気候変動、生態系の持続的な利用など、事前にイメージしておいたほうがよいと思われる背景を説明する。
- 2) 国土の2割を占める環境である里山二次林を今後どのように管理・利用してゆくかを考えるという目的を、里山二次林の定義とともに、説明する。
- 3) 予備知識として、里山二次林が燃料採取等で長く利用されてきたこと、高度経済成長期以降はほとんど利用されなくなったこと、近年になってナラ枯れという病気が広域で発生していること(概略のみ)を説明する。または、事前の調べ学習として実施する。
- 4) 里山二次林の構造や変化を研究する目的で実際に採取されたデータを使って、探究することを説明する。
- 5) データを配布し、データの構成と各データを調べた方法等を説明する。
- 6) 森林の構造を把握する基本的な方法として、本数による種順位曲線、胸高断面積合計による種順位曲線、および階層毎の生育型組成を示す分布図を作成する方法を説明する。
- 7) 二酸化炭素蓄積量を扱う場合は、気候変動問題における大気中の二酸化炭素量増加の意味を確認した上で、樹木の二酸化炭素蓄積量を算出する方法(対数を使う方法と使わない方法のどちらか)を説明する。
- 8) グループ活動等によって、データを集計し、作図・作表を行う。
- 9) データを分析した個々の結果から読み取ることができている内容を考察し、議論する。
- 10) 全ての分析結果を総合した上で、答えを見出したい課題を検討する。
- 11) その課題を考察する上で、必要な補足情報を指導者が支援する。または、調べ学習を行う。
- 12) 課題についての結論を、参加者全員で議論し、共有する。
- 13) 第2の危機について、指導者が必要に応じて補足説明した上で、さらに議論を深めて第2の危機についての認識を確かめる。

以上は、本研究が提案する探究活動の流れをおおまかに想定したものである。グループ活動等の進め方は多様であるため、それぞれに応じた流れもありうる。

5. 今後の課題

本研究が提案した探究活動は、まだ実践例が無く、高校で実施可能であるかについては、不明な点も少なくない。例えば、この探究活動によって、生徒が第2の危機を具体的に認識できるかどうかについては、今後の実践によって確かめる必要がある。また、実際の森林で観測するのではなく、既存のデータを解析することで課題の答えを考察する方法を用いた場合、得られた結論について生徒が具体的なイメージをどの程度もつことができるのかについても、今後検証しなければならない。このように、提案した探究活動の学校教育における有効性についてはさらに検証を進める必要があるが、このような手法での探究活動が効果的であるならば、高等学校学習指導要領(文部科学省2011)における「生態系の成り立ちを理解させ、その保全の重要性について認識させる」(生物基礎)ことと「生態系のバランスや生物多様性の重要性について認識させる」(生物)ことを促進し、「生物学的に探究する能力を高める」ことにも貢献できると見込まれる。

謝辞

本研究の原稿については、3名の査読者に有益なご助言をいただきました。また、本研究の現地調査では、静岡大学教育学部と南山大学総合政策学部の学生の皆さんに協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。本研究は、JSPS 科研費 25350244 の助成を受けました。

引用文献

- 藤本潔・小南陽亮. 中部日本太平洋岸の里山植生の現状と微地形—ナラ枯れ被害を受けた愛知県「海上の森」の事例—。微地形学—人と自然をつなぐ鍵—(藤本潔・宮城豊彦・西城潔・竹内裕希子編著)。古今書院。2016. 105-121
- 環境省. 生物多様性国家戦略2012-2020. 生物多様性センター. 2012
- 環境省自然環境局. 日本の植生II. 自然環境研究センター. 2004
- 加藤透. 静岡県におけるカシノナガキクイムシの分布拡大. 静岡県農林技術研究所研究報告 7. 2014. 63-70
- 小泉透. 拡大するシカの影響. 森林科学 61. 2011. 2-3
- 小南陽亮・平賀大地・加藤理絵・瀬戸賀代. 生物多様性教育における教材としての里山の利用: 樹木センサスによる種多様性と調節的サービスの学習. 教科開発学論集 1. 2013. 173-182
- 小南陽亮. 里山二次林において生物多様性に対する第2

- の危機を学習する方法と内容. 教科開発学論集 2. 2014. 75-83
- 小南陽亮・村松悠矢. 樹木センサデータを活用した生物多様性教育の方法－森林模型制作による探究テーマの発見－. 教科開発学論集 4. 2015. 81-88
- 黒田慶子・衣浦晴生・大住克博・高畑義啓. ナラ枯れの被害をどう減らすか－里山林を守るために－. 森林総合研究所関西支所. 2010
- 牧野俊一. カシノナガキイムシ用集合フェロモン剤とそれを利用した防除法. 植物防疫 66 (11). 2012. 39-44
- 松本光朗. 日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量. 森林科学 33. 2001. 30-36
- 文部科学省. 高等学校学習指導要領. 東山書房. 2011
- 本川達雄 (ほか 16 名). 高等学校理科用生物基礎. 啓林館. 2011
- 中静透. 気候変動に伴う生態系影響と適応. 森林環境 2015. 7-16
- 林業普及センター技術班. 森林の測り方 (基礎編) 林業普及 (経営の豆知識その3). 岩手の林業 599. 2007.10
- 林野庁計画課. 立木幹材積表東日本編. 日本林業調査会. 1970
- 渡辺直登・岡田知也・戸丸信弘・西村尚之・中川弥智子. 愛知県海上の森におけるナラ枯れ被害林分の森林動態. 日本森林学会誌 98. 2016. 273-278
- 山中二男. 日本の自然植生. 築地書館. 1979
- 【連絡先 小南 陽亮
E-mail : kominami.yosuke@shizuoka.ac.jp】

附表 「海上の森」の20m×20m調査区に生育する樹木の樹高、胸高直径、およびナラ枯れの有無(抜粋)

樹種	樹高(m)		胸高直径(cm)		ナラ枯れ
	2010年	2015年	2010年	2015年	
アオハダ	2.0	2.7	1.9	2.0	
アオハダ	4.5		3.0		
アオハダ	5.0	6.5	4.8	5.0	
アオハダ	6.5	6.5	5.9	6.9	
アオハダ	11.0	10.0	7.6	8.3	
アオハダ	10.0	11.0	7.6	9.6	
アカマツ	15.5		9.4		
アカマツ	8.2	10.0	13.4	16.3	
アカマツ	13.0		14.1		
アカマツ	12.0		17.2		
アカマツ	17.0		17.7		
アカマツ	7.6	9.5	21.5	22.8	
アカマツ	13.0	9.0	23.9	25.2	
アセビ	2.2		0.6		
アセビ	2.6		1.9		
アセビ	3.0		2.1		
アセビ	2.5		2.5		
アセビ	2.2	3.2	3.6	4.6	
アセビ	2.7	1.6	3.6	4.6	
アセビ	4.5	4.1	3.8	4.3	
アセビ	2.1	4.5	4.1	4.6	
アセビ	4.4	5.0	6.1	7.0	
アセビ		2.2		3.2	
カマツカ	2.5	3.4	2.2	2.4	
キブシ	2.5	2.2	0.6	0.9	
キブシ	2.5		0.6		
キブシ	1.8	1.4	0.7	0.8	
キブシ	2.5	2.2	0.8	0.9	
キブシ	2.0	2.8	1.0	1.2	
キブシ	2.9	2.8	1.4	1.6	
キブシ	2.3	1.8	1.5	1.6	
キブシ	3.0		1.6		
キブシ	2.5	2.3	1.8	2.7	
キブシ	3.0		1.9		
キブシ	3.0		2.1		
キブシ	3.6	3.0	4.1	3.9	
キブシ	4.3	4.5	4.2	4.3	
コナラ	7.0		8.6		有
コナラ	7.3		9.2		
コナラ	4.5		9.3		有
コナラ	10.0		10.8		有
コナラ	5.0		12.7		有
コナラ	15.0		13.1		有
コナラ	9.0		14.6		有
コナラ	15.0	14.0	15.6	15.9	有
コナラ	14.0		16.5		有
コナラ	13.0	13.0	17.0	17.7	有
コナラ	11.0		17.0		有
コナラ	9.0		17.1		有
コナラ	12.0	12.0	17.2	19.9	有

樹種	樹高(m)		胸高直径(cm)		ナラ枯れ
	2010年	2015年	2010年	2015年	
コナラ	15.0		19.1		有
コナラ	16.0	17.0	21.5	24.2	有
コナラ	17.0		22.3		有
コナラ	10.5		22.5		有
コナラ	11.0		23.0		有
コナラ	11.5		28.1		有
コナラ	15.0		31.1		有
コブシ		3.0		1.1	
サカキ	4.0	2.8	2.1	3.5	
サカキ	2.8	3.3	3.2	3.5	
サカキ	4.3	5.0	3.2	4.4	
サカキ	4.0	5.4	3.3	5.2	
サカキ	6.0	6.5	4.9	6.2	
サカキ	6.5		5.4		
サカキ		2.3		1.8	
サカキ		1.7		6.6	
サルスベリ	6.5	6.6	6.0	6.6	
スギ	2.0	2.7	1.8	3.5	
スギ	9.0	8.5	13.2	14.8	
ソヨゴ	2.2	1.5	1.6	1.3	
ソヨゴ	4.0	3.8	1.8	2.9	
ソヨゴ	4.2		2.5		
ソヨゴ	3.0	3.7	2.9	3.0	
ソヨゴ	5.3	5.0	3.1	3.1	
ソヨゴ	6.3	5.0	3.1	4.9	
ソヨゴ	4.7	6.0	3.6	3.9	
ソヨゴ	4.0	4.2	3.8	4.1	
ソヨゴ	5.8	6.0	4.3	4.3	
ソヨゴ	5.7	5.0	4.6	4.8	
ソヨゴ	6.0		4.9		
ソヨゴ	3.8	4.2	5.1	5.2	
ソヨゴ	4.4	4.0	5.1	5.2	
ソヨゴ	5.5	7.0	5.2	5.8	
ソヨゴ	3.8	4.0	5.3	4.6	
ソヨゴ	6.1	7.0	5.4	5.8	
ソヨゴ	5.0	5.6	5.7	6.7	
ソヨゴ	4.4	5.0	6.1	7.0	
ソヨゴ	7.5	7.9	6.3	7.0	
ソヨゴ	5.5	4.8	6.4	6.9	
ソヨゴ	7.0	7.5	6.4	7.2	
ソヨゴ	6.5	6.3	6.5	7.5	
ソヨゴ	6.0	9.2	7.0	8.0	
ソヨゴ	8.7	9.2	7.0	8.6	
ソヨゴ	7.0		7.0		
ソヨゴ	9.1	6.0	7.1	7.0	
ソヨゴ	8.9	8.0	7.3	7.5	
ソヨゴ	7.5	9.8	7.4	9.0	
ソヨゴ	7.5	9.0	7.5	12.1	
ソヨゴ	8.5	8.8	7.8	9.1	
ソヨゴ	9.0	9.0	7.8	8.9	

- * 樹高1.3m以上の樹木を対象に測定した
- * 胸高直径は、高さ1.3mの位置で測定した直径
- * 2010年に値が空欄になっている木は、その時点で樹高が1.3mに達していなかった
- * 2015年に値が空欄になっている木は、枯死または消失していた
- * 附表はデータの一部抜粋であり、全データは静岡大学学術リポジトリ(論文タイトルで検索)からダウンロードできる

A Suggestion for Learning Contents from Mass Mortality of Trees by Japanese Oak Wilt in a Satoyama Secondary Forest as Teaching Materials

Yohsuke Kominami¹, Yuya Muramatsu², Serina Miyazaki³,
Sae Morishima³, and Kiyoshi Fujimoto³

¹*Academic Institute College of Education, Shizuoka University*

²*Faculty of Education, Shizuoka University*

³*Faculty of Policy Studies, Nanzan University*

Abstract

This study suggests a model of inquiry activity in science education of high school about an outbreak of Japanese oak wilt in a Satoyama secondary forest to deepen understanding the second aspects (by reduction of human use) among 4 major threats to biodiversity. As human utilization of secondary forests decreased, Japanese oak wilt came to occur in a wide area of Japan. Thus, the wilt can be regarded as suitable teaching materials in learning the second aspects of threat to biodiversity. Because it is difficult to really observe Japanese oak wilt in school education, this study show a method of inquiry activity by analyzing data observed in a scientific investigation. About the contents that are possible to learn in high school, we examined three points: 1) a change of community structure in a Satoyama secondary forest by Japanese oak wilt, 2) the influence on carbon stock by the change, 3) recognition that the wilt was the aspects by reduction of human use. Firstly, a database that a high school student was easy to understand was constructed from tree census data observed in a Satoyama secondary forest in 2010 and 2015. Then, we compared results of the following analyses in 2010 and 2015 as an example of analytical method in inquiry activity: rank-abundance diagrams to show community structure in the forest, growth form composition for each layer of the stratification, outbreak frequencies of Japanese oak wilt for each tree species, and carbon stock of each tree species. It is assumed that these analyses can carry out in high school education. The analyses showed a rapid decrease of *Quercus serrata* by Japanese oak wilt infection in a high ratio and an increase in dominance of evergreen broad-leaved tree species. In the inquiry activity, it is expected that students find those results at an early stage of discussion. From the change of carbon stock of 5 years, it was easily found that the decrease of *Q. serrata* reduced carbon stock of the forest. This find is also expected to help students to understand that Japanese oak wilt has possibilities to deteriorate ecosystem services. This study suggested a process of inquiry activity about an outbreak of Japanese oak wilt and presented a database for the activity. If a student participating in an inquiry activity can get a reasonable conclusion for the cause of the outbreak of Japanese oak wilt in a wide area of Japan, it may be considered that the activity lead the student to the concrete understanding of the second aspects of threat to biodiversity by reduction of human use.

Keywords

Secondary Forest, Japanese Oak Wilt, Biodiversity, Science education

