

海岸クロマツ林の多面的機能：希少な昆虫の生息地として (中間報告)

鈴木紀之（高知大学）

高知県

1. 研究の背景

わが国の海岸には古くから防風林が整備されており、海洋からの塩分、風、砂などの影響を緩和し、集落の生活や田畑を守る役割を果たしてきた。たとえば、沖縄地方では、フクギ *Garcinia subelliptica* やサンゴジュ *Viburnum odoratissimum* といった亜熱帯性の照葉樹が防風林として用いられ、近年では外国から輸入したモクマオウ *Casuarina stricta* も広く植栽されている。防風林は人々の手によって作られ管理されている環境であり、里山的自然として捉えることができる。

海岸の防風林の中でも特に重要なのがクロマツ *Pinus thunbergii* である。近縁種であるアカマツ *Pinus densiflora* が主に山間部に生育するのに対し、クロマツは塩分耐性が高いため、海岸の防風林として適した樹種である。クロマツが規則的に植栽された様子は「白砂青松」と呼ばれるように、海辺の美しい景観を作り出している。このように、クロマツの防風林は「塩分、風、砂の影響の緩和」という本来の機能だけでなく、観光やレクリエーションとしての役割も果たしている。

ただし、クロマツの生育と防風林としての利用にとって、生物学的な脅威がある。マツカレハ *Dendrolimus spectabilis* の大発生と松枯れ病の流行である。マツカレハはカレハガ科に属する昆虫であり、幼虫はクロマツやアカマツの葉を食べて成長する。幼虫の毛には毒があり、人体に有害な場合がある。松類の幹に藁などで作った「こもまき」は、本種の幼虫を駆除するために古くから普及している方法である。冬の間にもこもまきの下に幼虫が集まり、こもまきを焼くことで害虫を駆除する方法である。マツカレハはときに大発生し、クロマツを枯死させることもあるので、防風林としての機能を低下させるおそれがある。しかし、マツカレハが大発生する生態的メカニズムは解明されていない。

また、松枯れはクロマツの枯死をもたらす要因として重要である。松枯れはマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* が媒介するマツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus xylophilus* によって引き起こされる感染症である。松枯れはアカマツを含め松類の大規模な枯死を引き起こすことがある。ただし、抵抗性の高い個体は松枯れが流行する地域においても生存できる。また、塩害や他の害虫といった、松枯れ以外の要因によってもクロマツは枯死する。

以上のように、クロマツ林の健全さを評価し、防風林として持続的に利用していくためには、クロマツそのものだけでなく、さまざまな生物種を含む種間相互作用の動態を理解することが重要である。

さらに、防風林という里山的環境では、クロマツを食害する昆虫の他にも、鳥類や昆虫類を含むさまざまな動植物が生息している。防風林は他の海浜環境とは異なるユニークな環境であることから、特異な生物群集が形成されている可能性がある。これは、「塩分、風、砂の影響の緩和」という本来の機能、そして「観光およびレクリエーション」という付随的な機能に加え、「生物多様性の維持」という、これまで見過ごされてきた防風林の機能の重要性を示唆している。

そこで本研究では、クロマツ海岸林に生息する昆虫類を対象に生態学的な調査を行なうことで、防風林が希少な生物の生存を支える「生物多様性のゆりかご」としても機能していることを解明する。クロマツやアカマツにはクリサキテントウ *Harmonia yedoensis* が生息している。しかし、本種は出現する時期や場所が限られており、かつ近縁種のナミテントウ *Harmonia axyridis* と区別しにくいいため、分布や生態に不明な点が多い（次節で詳しく解説する）。

防風林を取り巻く生態系を調べることにより、防風林の多面的な機能に新たな一面が加わり、その美しい景観を守り続けていくための重要な価値を生み出すことにつながるだろう。東日本大震災以降、太平洋沿岸では防災のためにコンクリートの巨大防波堤が建設された。しかしこうした現代的な技術は、自然と調和した手段とは言い難い。海岸の防風林は、雑木林や田園に代表される里山と同じように、人々の暮らしと自然環境が一体化した景観を織り成している。海と陸を結ぶ海浜の自然環境が全国的に劣化している中、生物多様性の保全という、これまで知られていなかったクロマツ林の機能が明らかになり、その価値が改めて認識されるようになるだろう。

2. クリサキテントウの生態

クリサキテントウ（図1）はテントウムシ科の昆虫であり、本州・四国・九州から南西諸島、国外では台湾から東南アジアに分布している。本州・四国・九州においては松類（クロマツおよびアカマツ）のみに生息する。越冬を終えた成虫は、春先になると生息環境である松類において交尾し、メスは松の葉に卵塊を産む。孵化した幼虫はマツオオアブラムシ *Cinara pini*（図2）を捕食して成長するとされる。ただし、松類にはマツオオアブラムシの他にもマツホソアブラムシ *Eulachnus thunbergii* をはじめ他の小型節足動物も生息しており、クリサキテントウの野外における餌生物ははっきりと分かっていない。

近縁種であるナミテントウ（図3）は北海道から九州本土にかけて分布しており、国外では中国やロシアにわたり広く分布している。近年では、農業害虫であるアブラムシの制御のためにアメリカやヨーロッパへ人為的に導入され、その個体群がもとに各地で侵略的外来種として問題となっている。ナミテントウは各種のアブラムシを食べるジェネラリストであり、ナナホシテントウ

Coccinella septempunctata とともに、もっとも身近なテントウムシであるといえる。

ナミテントウはユキヤナギ *Spiraea thunbergii* をはじめとするさまざまな樹種を訪れるが、松類においても繁殖を行なう。すなわち、松類ではクリサキテントウとナミテントウが局所的に共存していることになる。しかし、両種の成虫は斑紋・外部形態が酷似しているため、見分けが難しい。特に、クリサキテントウは比較的個体数が少ないこともあり、生態に関する情報が乏しく、全国的な分布もよく明らかになっていない。

クリサキテントウとナミテントウ共に、遺伝的に決まった斑紋の多型がある。どちらの種の斑紋も、主に4つのタイプに分類されている(図4)。すなわち、黒地に赤い点が2つの「二紋型」、黒地に赤い点が4つの「四紋型」、黒地に赤い点がたくさんある「まだら型」、そして赤地の「紅型」である。種内での変異が極めて大きいため、斑紋型そのもので種を同定することは難しい。ただし、以下の2つの点は、種の同定に役立つ。まず、同じ型であっても、それぞれの種に特有の斑紋が出現することがある。たとえば、ナミテントウの二紋型では、赤い斑紋が三日月形になることがあるが、クリサキテントウでこのような斑紋は報告されていない。また、同じ地域であっても、クリサキテントウとナミテントウで斑紋型の割合が異なることが知られている。たとえば京都においては、クリサキテントウではまだら型の割合がもっとも高く、二紋型の割合がもっとも低いのに対し、ナミテントウでは反対に、二紋型の割合がもっとも高く、まだら型の割合がもっとも低い。

斑紋型ではない外部形態によって両種を見分けられる場合もある。ナミテントウでは前翅の縁に「ひだ」のような出っ張った構造が見られる場合があるが、クリサキテントウではまったく見られない。すなわち、この「ひだ」がある場合は確実にナミテントウだと分かる。ただし、ナミテントウであっても「ひだ」のない個体も多いため、この特徴だけですべての個体を同定できるわけではない。これらの事実から、クリサキテントウとナミテントウは成虫の外部形態だけから同定することは難しい場合が多いので、両種の生態に関する研究は進みにくい状況にあるといえる。

両種を確実に見分ける方法は、(3齢および4齢)幼虫の形態と模様である。ただし、1齢および2齢幼虫では見分けがつかない。成虫で採集できた場合は、メスの成虫に産卵させ、孵化した幼虫を3齢まで飼育することで同定できる。しかし、オスの成虫の場合はこの方法で同定することはできない。本研究では、飼育による方法とDNA解析を組み合わせることで、確実性の高い同定を行なう。

申請者はこれまで10年以上にわたり、クリサキテントウのフィールド調査を進めてきた。山形県、宮城県、東京都、埼玉県、千葉県、京都府、滋賀県、鳥取県、沖縄県の各所でクリサキテントウの生息状況を明らかにした。申請者によるクリサキテントウの研究に関する文献リストは末尾に示した。しかし、高知県を含めた四国では分布や生態についての情報がほとんどない。

3. 方法と結果

1) 高知市における調査

2018年4月に高知県高知市種崎千松公園（図5）のクロマツ海岸林においてテントウムシの野外調査を行なった。いずれも晴天の日で、合計で6日間の調査を行なった。背丈の低い樹に対しては目視により、背丈の高い樹に対しては長竿を用いてテントウムシの採集を行なった。採集した個体は穴のあいたフィルムケースにティッシュペーパーとともに保管し、生きたまま輸送した。採集した個体は実験室（高知県南国市高知大学物部キャンパス）に持ち帰り、中型のシャーレに個別に入れて恒温室（25℃、16L8D条件）にて飼育した。餌としてスジコナマダラメイガ *Ephestia kuehniella* の冷凍卵を与えた。斑紋パターンおよびひだの有無によって種を同定した。実体顕微鏡で外部交尾器を観察し、雌雄を判別した。メスが産卵した場合は卵塊を個別のシャーレに入れ、パラフィルムでシャーレのフタをふさぎ、数日間保管した。孵化した幼虫の数を計測した。先行研究に従い、酵母・砂糖・ミツバチ雄児粉・防腐剤の混ぜ合わせたものを幼虫に与えて成虫まで飼育した。このとき、幼虫の形態によってクリサキテントウかナミテントウか判別した。また、卵数（表1）、卵長、卵幅を計測し、孵化率および卵体積を算出した。サンプルはDNA抽出のために95%エタノールにてマイナス30℃で保存した。DNAの劣化を防ぐために、一度95%エタノールの交換を行なった。

その結果、採集した59頭のテントウムシのうち、2頭をクリサキテントウとして同定した。私の知る限り、高知県にてクリサキテントウが確認されたのは本研究が初めてである。本調査地のナミテントウ属のほとんどはナミテントウであり、クリサキテントウの個体数は極めて少なかった。このような状況において、競争関係にある近縁種どうしがどのようにして安定的に共存し続けられるのか、そのメカニズムは不明である。

本調査地のナミテントウのほとんどは、「ひだ」が無いことが分かった。そのため、この特徴によってクリサキテントウと区別することは難しい。確実な同定のためには、メスに産卵させ、3齢幼虫の斑紋を確認する必要がある。ただし、この方法では、オスの成虫を同定することができない。また、餌としたスジコナマダラメイガの冷凍卵を安定的に入手できるかどうかは今後不明である。そのため、遺伝子解析が有効だろう（後で詳述）。

2) 高知県東部における調査

2018年12月7日から8日にかけて、高知県南国市から室戸岬において海岸林の下見を行ない、クロマツの植林が見られる地点をGPSにて記録した。この下

見の成果にもとづき、2019年4月7日にテントウムシの調査を行なった(図6)。しかし、クリサキテントウを確認することはできなかった。また、2019年5月22日に南国市琴平神社にてクリサキテントウ2齢幼虫および3齢幼虫をそれぞれ1頭ずつ採集した(図7)。これは2018年の種崎千松公園に続き、高知県内におけるクリサキテントウの希少な記録となる。

3) 遺伝子解析

採集された高知県産のクリサキテントウおよびナミテントウの一部個体を対象に遺伝子検査を行なった。95%エタノールで保存した個体の脚もしくは腹部を乾燥させ、破砕機とステンレスビーズを用いて組織を破砕した。その後、DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen) を用いて、メーカーのプロトコルに従い、DNAを抽出した。ミトコンドリアDNAのCOI領域を対象としたプライマーでPCRを行なった。今後シーケンスまで行なう予定である。

4. 考察

本研究によって、少ないながらも高知県の海岸クロマツ林においてクリサキテントウを確認することができた。クリサキテントウとナミテントウは「隠蔽種」と呼ばれていたように、成虫の外見からは判別が難しい。そのため、普通種であるナミテントウに比べて、クリサキテントウの生態や分布に関する知見は限られていた。クロマツはもともと防風林として機能するため植栽されたが、クリサキテントウのような特異的な生態を示す種類にとっての貴重な生息地となっていることが示唆された。

ただし、クロマツ林におけるクリサキテントウの個体数は決して多くなく、種崎千松公園ではナミテントウが優先していた。このような状況において、2種が安定的に共存できるのか明らかではない。京都や仙台における先行研究では、アカマツからクリサキテントウが採取された。クリサキテントウの成長や繁殖にとって、アカマツとクロマツのどちらが適しているのかはまだ定量的に調べられていない。アカマツとクロマツにおけるエサの質や量、微環境が成長に及ぼす影響などを調べる必要があるだろう。ただし、アカマツは海岸沿いには稀であるため、クリサキテントウはクロマツを利用することによってより多くの環境に進出しているといえる。

高知市から東部の室戸岬にかけての海岸線では、調査地とした一部の場所ではクロマツの海岸林が見られたものの、それ以外の地域ではまとまったクロマツ林が見られなかった。室戸岬より西側の海岸では、河岸段丘が発達しており、海岸線から幹線道路・住宅地を過ぎるとすぐに急斜面となっている。そのため、海岸林に適した十分な土地がなく、植林が進まなかったのかもしれない。その結果、これらの集落では雨・風・砂の影響を強く受けている可能性がある。特

に、台風が多く襲来する地域なので、塩害を含めた影響は大きいかもしれない。以上のように、海岸林の発達とそれを取り巻く生物群集を理解するためには、地域特有の地形や気候を考慮する必要があると示唆された。

5. 今後の課題

本研究では、野外で採集した成虫にもとづき、斑紋型とひだによる同定を試み、外部形態だけでは同定できなかった場合には、室内実験により産卵させ、幼虫の形態によって同定した。今後は、DNAを抽出・増幅し、シーケンスすることで、両種の同定を確実なものにする。ただし、これらの方法は、どちらも多くの労力と資金がかかる。そのため、今後はより簡易かつ安価な同定方法を開発することで、クリサキテントウとナミテントウの生態調査を加速させる必要があるだろう。

特に注目されるのは、LAMPと呼ばれる遺伝子増幅・確認技術である。LAMPを用いれば、シーケンスせずとも近縁種どうしを判別できる。また、従来のPCRが3時間程度かかるのに対し、LAMPは数十分しかかからない。そのため、クリサキテントウとナミテントウに対しても応用すれば、今よりも簡易かつ迅速に種を同定できるだろう。

また、DNA抽出にかかわる時間・労力・費用も節約できる可能性がある。テントウムシでは成虫・幼虫ともに体液（反射出血）を出し、その体液にはDNAが含まれている。そのため、この液体からDNAを保存すれば、非侵襲的に（個体を生存させたまま）DNAを抽出できるだろう。さらに、FTAカードなどを用いれば、これまでよりも簡易にDNAを保存・抽出できるだろう。LAMPと反射出血を用いた一連の遺伝子解析手法の開発が今後の課題である。

付録. クリサキテントウに関する文献リスト

Suzuki Noriyuki (2017) Functional convergence and phenotypic divergence in two specialist species of pine-associated ladybirds. *Evolutionary Ecology*, 31, 885–898.

Suzuki Noriyuki & Naoya Osawa (2016) Reproductive interference and niche partitioning in aphidophagous insects. *Psyche*, Article ID 4751280.

Suzuki Noriyuki, Yukari Suzuki-Ohno & Koh-Ichi Takakura (2016) Variation of clutch size and trophic egg proportion in a ladybird with and without male-killing bacterial infection. *Evolutionary Ecology*, 30, 1081–1095.

Suzuki Noriyuki (2015) Host selection in insects: reproductive interference shapes behavior of ovipositing females. *Population Ecology*, 57, 293–305.

Suzuki Noriyuki & Naoya Osawa (2015) Geographic variation of color polymorphism in two sibling ladybird species, *Harmonia yedoensis* and *H. axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomological Science*, 18, 502–508.

Suzuki Noriyuki, Yuichi Kameda & Naoya Osawa (2014) Prevalence of male-killer in a sympatric population of two sibling ladybird species, *Harmonia yedoensis* and *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 111, 307–311 (Free PDF).

Suzuki Noriyuki, Naoya Osawa & Takayoshi Nishida (2012) Asymmetric reproductive interference between specialist and generalist predatory ladybirds. *Journal of Animal Ecology*, 81, 1077–1085 (Free PDF).

Suzuki Noriyuki & Naoya Osawa (2012) Intrinsic prey suitability in specialist and generalist *Harmonia* ladybirds: a test of the trade-off hypothesis for food specialization. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 144, 279–285.

Suzuki Noriyuki, Kazutaka Kawatsu & Naoya Osawa (2012) Factors promoting maternal trophic egg provisioning in non-eusocial animals. *Population Ecology*, 54, 455–465.

鈴木紀之, 大澤直哉, 西田隆義 (2012) 繁殖干渉による寄主特殊化の進化. *日本生態学会誌*, 62, 267–274.

Suzuki Noriyuki, Naoya Osawa & Takayoshi Nishida (2011) Prey capture performance in hatchlings of two sibling *Harmonia* ladybird species in relation to maternal investment through sibling cannibalism. *Ecological Entomology* 36, 282–289.



図1 クリサキテントウ



図2 マツオオアブラムシを捕食するクリサキテントウの1齢幼虫



図3 ナミテントウ



図4 斑紋型



図5 種崎千松公園



図6 室戸市の調査地



図7 クリサキテントウの幼虫

表 1. クラッチサイズの詳細。K はクリサキテントウ、N はナミテントウを示す。

種	ID	クラッチ数	平均クラッチサイズ
K	kc012	9	16.8888889
K	kc020	10	15
N	kc001	7	21.1428571
N	kc002	8	26
N	kc013	10	24.4
N	kc019	7	13
N	kc021	10	18.1
N	kc024	4	12.75
N	kc025	10	20.7
N	kc027	8	17.125
N	kc029	8	21.875
N	kc031	9	25.2222222
N	kc032	5	26.6
N	kc034	7	21.8571429
N	kc039	7	22
N	kc042	4	26.75
N	kc046	5	37
N	kc056	8	19.625