

論文の内容の要旨

森林科学専攻

平成 27 年度博士課程入学

氏 名 吉野 広軌

指導教員名 久保田 耕平

論文題目 陸生ワラジムシ目 2 科の関東地方における遺伝的分化プロセスの解明

近年、生物多様性の価値や重要性が意識されるようになったが、人為的な活動による減少が懸念され、生物多様性の保全への国際的な関心が高まっている。しかし、現在の多様性に関する知見が充分とは言えず、遺伝的多様性・種多様性等を把握し、それが生じたプロセスや維持のメカニズムを理解することが生物多様性保全を考える上で必要である。

日本などの土壌動物の遺伝的研究は島嶼や山地を対象にした研究が多く、移動能力の低い土壌動物は海峡や高山帯で分化することがよく知られる。一方で関東地方は日本最大の平野である関東平野が 120km 四方に広がる。関東平野は標高 100m 以下の平坦な地形のため、安定的な山地と異なる地史を持つと予想される。本研究では関東平野に生息する移動能力の低い土壌動物の平地への進出と分化プロセスに注目した。関東地方全体に広く分布する森林性の土壌動物の種としてワラジムシ亜目フナムシ科のニホンヒメフナムシ *Ligidium japonicum* とコシビロダンゴムシ科の *Spherillo obscurus* とセグロコシビロダンゴムシ *S. dorsalis* が挙げられる。タマコシビロダンゴムシ *Spherillo* 属は山地にはあまり分布しないが、都市近郊の自然環境の指標としてよく用いられる。ニホンヒメフナムシはタマコシビロダンゴムシ属とオーバーラップがあるもののより高標高の地域まで分布域が広がる傾向にあり、ヒメフナムシ属はタマコシビロダンゴムシ属と分化プロセスが異なる可能性がある。以上の背景に基づき、最終的には土壌動物の分化の実態とその過程を把握し多様性保全に資することを目標とし、本研究では分布パターンの異なるニホンヒメフナムシとタマコシビロダンゴムシ属の関東地方での遺伝的分化と進化プロセスを明らかにし、比較検討することを目的とした。

ニホンヒメフナムシの再記載

真のニホンヒメフナムシの形態を確定させるため、タイプ標本を用いて再記載を行った。ヒメフナムシ属の種分類は特にオスの第 2 腹肢内肢の形態が有用とされるが、記載は曖昧であり、明確にする必要がある。観察の結果、ニホンヒメフナムシのタイプ標本のオスの第 2 腹肢内肢の先端の形態は、先端は丸まり、U 字状で外側には 1 本のくちばし状の棘が内側の切り欠きよりも前方にあり、内側には鈍角の切り欠きがあり、そこに 3 もしくは 4 個の棘があることを確認した。

ニホンヒメフナムシの遺伝的分化

関東地方を中心に、北海道、本州、四国のヒメフナムシ *Ligidium* 属ニッポンヒメフナムシ亜属の遺伝的分化の解明と種分類に使用されるオスの第 2 腹肢内肢の形態観察を行い、進化プロセスを明らかにすることを目的とした。ミトコンドリア遺伝子 COI 領域の系統樹からは、オスの第 2 腹肢内肢の形態がニホンヒメフナムシのタイプ標本とオスの第 2 腹肢内肢の形態が内側の棘の数を除き一致する個体から構成されるクレード(=

ニホンヒメフナムシクレード) が得られ、内側の棘の数は個体によって 2-11 本の変異が確認された。それ以外の個体はニホンヒメフナムシのタイプ標本の形態とオスの第 2 腹肢内肢の形態が一致せず、未記載種であると考えられた。

これらの個体を ABGD 法によって、K80 distance が最大 0.04 のグループにまとめた場合、19 のグループに分割された。ニホンヒメフナムシクレードは 8 つのグループから構成され、そのうち関東地方からは 4 つのグループ(南西部グループ、北西部グループ、北部グループ、東部グループ) が採集されている。ニホンヒメフナムシクレードのうち、15 個体以上オスが採集できた 3 つのグループ(南西部グループ、北部グループ、東部グループ) で共分散分析を行ったところ、有意差が検出された。ニホンヒメフナムシクレードの中も複数の種が存在すると考えられるため、これらをニホンヒメフナムシ種群と呼ぶ。

関東地方に 3 地点以上分布するグループはニホンヒメフナムシ種群の南西部グループ、北西部グループ、北部グループ、東部グループであり、この 4 グループについて進化プロセスの推測を行った。関東地方の採集地点を房総半島と、それ以外の標高 100m 以上の地点を山地、標高 100m 以下の地点を平地とする。この 4 グループのうちの 3 グループでは、共通して山地の個体群が系統樹の基部に位置し、山地では地理的距離に関わらず地点毎に遺伝的に分化していたが、平地や房総半島は比較的分化が新しい傾向にあった。房総半島にもこの 3 グループが分布するが、共通して房総半島の個体群のほとんどが単系統となる。南西部グループと東部グループは 7 地点で同所的な分布を示した。

山地の地点間では異所的に分化していて遺伝的交流がほとんど認められず、移動能力が低いか、山地に移動を妨げる障壁があると考えられる。関東地方の山地は森林が続き、ヒメフナムシ属に適する土壌が連続的に存在するようにみえるが、山地の遺伝的交流は強く制限されていることが示された。逆に平地では遺伝的分化が新しい。山地に比べ平地は歴史が浅く、攪乱が強かったと考えられるため、遺伝的分化が新しいという可能性が考えられる。系統樹からは、南西部グループ、北部グループ、東部グループは山地が祖先集団であることが示唆され、平地や房総半島の個体群は周囲の山地から分散した個体によって構成されることが考えられる。また、房総半島各地で南西部グループと東部グループが同じ地点から採集されている。これらのことから南西部グループと東部グループは山地で異所的に分化した後、房総半島で二次的に接触していると考えられる。

関東地方のニホンヒメフナムシ種群のグループ間の共存の有無と形態解析

関東地方のニホンヒメフナムシ種群のグループ間の共存の有無と形態解析を行うことで、二次的に接触した個体群の帰結を検討した。関東地方ではニホンヒメフナムシ種群の南西部グループと東部グループが房総半島において二次的接触を起こしている可能性がある。もし同所的な分布地点で繁殖干渉を起こっている場合、グループ間交雑を避けるためにオスの第 2 腹肢内肢の先端の内側の棘数の差が生殖的形質置換により大きくなる可能性がある。逆に、グループ間で交雑が生じ同化しているならば、同所的な個体群では棘数の差が小さく可能性がある。

南西部グループは単独生息地の個体と東部グループと同所的に採集された地点の個体の間で棘の数に有意な差が認められなかった。東部グループも同様に、単独生息地の個体と南西部グループと同所的に採集された地点の個体の間で有意差が認められなかった。2 グループが同所的に生息する地点では棘の数に選択圧がないかもしれない。また、同所的に見られる地点の個体では、南西部グループと東部グループの棘の数には有意な差が認められた。同所的な 2 グループとも単独生息地の個体と棘の数に有意差がないことから、グループ間の交雑に起因する棘の数の差が小さくなる現象は起きていないと考えられる。棘の数がグループで異なり、同所

的に採集された地点においても同様に形態と遺伝子は同調しているため、南西部グループと東部グループの間で遺伝子交流が起きておらず生殖隔離が成立している可能性が高いと考えられる。

関東地方のタマコシビロダンゴムシ属の遺伝的分化

ニッポンヒメフナムシ亜属の結果と同様に、関東地方のタマコシビロダンゴムシ属の遺伝的分化の解明と形態観察にもとづき、進化プロセスを明らかにすることを目的とした。形態の差異とミトコンドリア遺伝子の COI 領域の解析の結果、関東地方の同属は 5 つの系統に大別された。そのうち 2 系統はトウキョウコシビロダンゴムシ、セグロコシビロダンゴムシに該当した。系統樹と分岐年代推定の結果、セグロコシビロダンゴムシは関東地方西側の山地から他の山地や平地へ約 100 万年前から分散したと考えられる。トウキョウコシビロダンゴムシは最終氷期に 3 つのレフュージアに生息地が限定され、気候が温暖化した約 1-2 万年前から、平地の分布を急激に拡大させたと考えられる。これらの結果と現在の分布から、トウキョウコシビロダンゴムシとセグロコシビロダンゴムシは平地で最終氷期後に広範囲に二次的接触を起こしていると考えられる。しかし、両種の同所的な分布地点は発見できず、形態形質も明瞭に異なることから、両者は排他的な分布を示し、遺伝子交流は起きていない可能性が考えられる。

総合考察

ニッポンヒメフナムシ亜属とタマコシビロダンゴムシ属の遺伝的分化プロセスを比較検討した。どの種（グループ）とも、平地の個体群は山地からの供給によって成り立つことや房総半島の個体群は、他のグループとは遺伝的交流が認められないことが共通していた。両種の遺伝子配列を ABGD 法より分割すると、どの遺伝距離でもタマコシビロダンゴムシ属よりニッポンヒメフナムシ亜属グループ数が多くなり、グループ内の個体間の平均遺伝的距離も大きい傾向があった。平地より山地で地点間の遺伝的分化が確認される傾向が見られ、ニッポンヒメフナムシ亜属はより高標高に分布していることから、遺伝的な分化が大きいと考えられる。

先行研究では、生息環境の限定や海峡が反映されていると推定するなど、把握しやすい移動障壁を列举する事例が多かった。しかし本研究によって、本州など多湿で森林が多く、陸続きの平地等の安定的な生息地であり、明確な地理的障壁がない地域でも、ワラジムシ亜目などの土壌動物は個体群間の分化が起き、多数の隠蔽種が存在する可能性が示された。土壌動物の種多様性や遺伝的多様性の保全を実現するためには、土壌動物が生息する地域全体を精査したうえで、保全の対象を設定する必要があると考えられた。