

学位論文題名

Systematics and ecological distribution of the family  
Eosentomidae (Hexapoda: Protura) in Japan

(日本産カマアシムシ科(六脚綱、カマアシムシ目)の分類と生態分布)

学位論文内容の要旨

カマアシムシ類は体長 1mm 前後で、一生を土壌中で過ごす動物である。カマアシムシ相は自然環境の改変により変化することが知られている。また、環境状態や餌資源の利用度合いの変化に敏感で、環境変化の指標として利用できる可能性が指摘されている。そのためには、種の同定と各種の分布及び生態を明らかにする必要がある。

カマアシムシ目は 4 科からなり、全ての科が日本には分布する。カマアシムシ科(Eosentomidae)以外の 3 科はほぼ種レベルでの同定が可能である。一方、カマアシムシ科は多くの種を含み、その形態が類似しており分類は不十分のままである。また、生態も未知の部分が多い。

カマアシムシ科には、これまで日本から 3 属 21 種が報告されていた。今回の研究で、新属 *Osientomon* を設立し、本属に 1 新種を記載した。また、ババカマアシムシ属(*Pseudanisentomon*)に 2 新種、カマアシムシ属(*Eosentomon*)に 18 新種 1 新記録種を認めた。この結果、日本からはカマアシムシ科に合計 4 属 43 種が認められた。

カマアシムシ科の系統研究では、これまで種レベルでの系統解析は行われていなかった。今回、可能な限りの形質マトリックスを作成し、分岐分析の手法を用いて系統解析を行った。ババカマアシムシ属の単系統性は示されたが、カマアシムシ亜科(Eosentominae)と Anisentominae の 2 亜科、カマアシムシ属、およびカマアシムシ属内の種群のそれぞれの単系統は支持されなかった。また、カマアシムシ属は偽系統であった。本科では初めての種レベルでの解析であり、今後の系統解析研究での方向性を示した。

季節的な土壌中での深度分布や齢構成の変化、植生と出現種との関係、各種の地理分布や本州東部以北での垂直分布を明らかにし、その要因や環境選好性との関わりについて考察した。

深度分布では、冬季に深い場所に移動する種と季節的な移動を示さない種が確認された。季節的な移動は冬季の地表の低温を避けるためと考えられる。季節的な移動の違いはその種の低温への耐性の違いに起因すると考えられる。

齢構成は季節により変化し、その変動パターンも種によって場所ごとに異なることが認められた。例えば、アサヒカマアシムシ(*E. asahi*)は関東地方では全ステージが周年見いだされた。北海道の低標高域では 6 月から 11 月まで調査期間中ほぼ全ステージが確認されたが、高標高地域ではいずれのステージも冬季には確認できなかった。より低温に耐性の

あると考えられるジュンカマアシムシ(*E. jumi*)では、北海道の高標高域であってもほぼ全ステージが初冬に見いだされた。これらの結果は、各種の生活史はその生息する環境により変化することを示している。

植生をタイプ分けし、都市部と田園部ごとに出現種を確認した。両地域の各植生タイプに広く分布する種もいたが、多くは複数の植生タイプに出現する種であっても、都市部では出現頻度が低くなることが判明した。これらは、都市化や環境改変の影響と考えられる。また、特定の植生タイプに限定される種はほとんどいなかったが、各種の植生タイプへの選好性が示され、その多くは森林植生を好んでいた。

既報告を含めた全国 3600 地点を超える記録から各種の地理分布を明示した。また、地理分布と系統との関わりを明らかにした。系統によるグループのメンバーと分布の間には、似た分布傾向が認められた。大きくは琉球列島を経由して本州に広がったグループ（南方系列）と北から南に進入したグループ（北方系列）である。前者は主に暖帯域に分布する種から構成され、北に行くに従って記録地点が少なくなり、高標高では見いだされず低標高のみの記録となる。一方、後者は本州中部以北に主に分布し、南に行くに従って記録地点が少なくなり低標高では採集されなくなる。

本州東部以北での垂直分布では、低標高から高標高までとある特定の垂直分布帯に分布する 2 タイプが見られた。特定の垂直分布帯に分布する種のいくつかは山地帯に見られたが、多くは低標高域に認められた。標高 1000m 以下に出現頻度の高い種は南方系列の種であった。これは、低温が分布に影響を与えているためと考えられる。一方、高標高まで広く分布する種は北方系列の種が多かった。

種により、環境改変に対する耐性が異なることが知られている。また、科により乾燥への耐性が異なり、出現種の違いにより乾燥化を示唆する事例も認められている。それぞれの種は環境変化に対してそれぞれの特有の反応を示していると考えられる。そのため、環境要因を考慮しながら、各種の耐性を評価していくことが不可欠である。

広い分布域を持つ種は温度変化への適応力と生活史の柔軟性を持っていると考えられる。しかしながら、広分布域種がいつも環境改変への耐性の強い種だとは限らない。環境が改変されたときに、その種の環境改変への耐性だけでなく、その種が分布する場所もその種の生存にとって重要であることが判明した。南方系列の場合、種の主要分布域では、緑の消失などの極端な環境変化が種の生存に脅威を与えるが、緑が存続するときには生き残ることができる。一方、分布端域では、環境改変はその種が南方系列か北方系列かに関係なく生存に影響を与える。

各種の分布域、環境改変に対する耐性、生態を統合すると、カマアシムシ類を環境指標として利用できる可能性がある。また、これらの研究はカマアシムシ類の分類や系統の新たな解釈、多様性の理解に大いに貢献できるものである。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 東 正 剛

副 査 教 授 戸 田 正 憲

副 査 准教授 大 原 昌 宏 (総合博物館)

副 査 教 授 金 子 信 博 (横浜国立大学大学院

環境情報研究院)

## 学位論文題名

### Systematics and ecological distribution of the family Eosentomidae (Hexapoda: Protura) in Japan

(日本産カマアシムシ科 (六脚綱、カマアシムシ目) の分類と生態分布)

申請者は、土壌環境の指標生物となる可能性がある土壌動物の1群であるカマアシムシ類の分類学的研究を約30年間に亘って遂行し、その結果を本論文にまとめている。カマアシムシ目は4科からなり、カマアシムシ科以外の3科の分類は既に種レベルまで整理されており、本研究により日本産カマアシムシ類の分類が大きく進展したと評価できる。

カマアシムシ科の種は互いに形態が似ており、これが分類を困難にしてきた。そこで、申請者は約150形質を種間で詳細に比較し、新属新種 *Osientomon japonicum*、ババカマアシムシ属 (*Pseudanisentomon*) 2新種、カマアシムシ属 (*Eosentomon*) 18新種、1新記録種を記載した。新属 *Osientomon* は Isoentominae 亜科に属するが、この亜科の日本における発見はこれが初めてである。これまで記載されている種にこれらの新種、新記録種を含めると、日本産カマアシムシ科は合計4属43種が確認されたことになる。これは研究の進んでいるヨーロッパ全体の種数にほぼ匹敵し、日本産カマアシムシ科の多様性の高さを証明したと言える。

さらにこれらの形質について種間比較を行い、62形質で複数種間の差が認められた。この中には、本研究で初めて発見された偽眼後部の感覚毛、腹部第11節背板刺毛の微小毛、尾節腹板の感覚毛の3形質が含まれている。欧米の標本ではこれら3形質が皆無であることも確認しており、新たに東アジア産カマアシムシ類を特徴づける形質を見出した可能性が高い。

申請者はこれら62形質の種間比較マトリックスを作成し、種を単位として分岐分析法による系統解析を行っている。その結果、ババカマアシムシ属の単系統性は支持されたが、クメカマアシムシ種群17種の中で単系統性が支持されたのは7種のみであり、カマアシムシ亜科、

Anisentominae 亜科，カマアシムシ属の単系統性は支持されなかった。カマアシムシ類について、属を単位とした分岐分析は先行研究でも行われているが、種を単位として亜科、属、種群（雌の生殖器のみで区別される種のグループ）の単系統性を検討した例は本研究が初めてである。

申請者は、既報告を含めた全国 3600 地点を超える記録から各種の地理分布をまとめ、同じ系統に属する種は類似した分布傾向を示すことを明らかにしている。例えば、Anisentominae 亜科の 2 属 5 種は全て南方系であり、カマアシムシ亜科ではカマアシムシグループ、クメカマアシムシグループ、*Eosentomon imperiale* グループが南方系、ジュンカマアシムシグループ、キمامカマアシムシグループ、アサヒカマアシムシグループは北方系であることが明らかとなった。これまで、日本産カマアシムシ類には南方系と北方系が混在することは指摘されていたが、本研究により種レベルで北方系種と南方系種が初めて特定された。南方系種は主に暖温帯域で優占し、北に行くほど記録地点が少なくなり、高標高域ではほとんどみられない。一方、北方系種は本州中部以北で優占し、南に行くにほど記録地点が少なくなり、低標高では採集されなくなる。また、各種の分布から、南方系種は琉球列島経由、北方系種はサハリン経由で日本に入ってきたことが示唆された。一般に、日本の動植物の多くは朝鮮半島経由で日本に進入したことを考えると、カマアシムシ科の進入ルートは特異的といえる。

更に、申請者は、土壤中における深度分布や齢構成の季節変化、植生と出現種との関係を調査している。これらの調査は本研究の中では付随的ではあるが、カマアシムシ類の生活史や微環境選好性がほとんど分かっていない現状では、貴重なデータである。

以上のように、申請者は、日本における唯一のカマアシムシ研究者として、30 年の長きに亘ってカマアシムシ科の分類学的研究を継続し、多くの新種を記載するとともに、その系統関係と分布を解析し、日本の土壤動物研究のレベルを引き上げる上で大きく貢献した。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせて、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。