

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20405006

研究課題名（和文） マメ科植物と種子捕食性昆虫における共進化の分子系統解析：毒性物質の効果

研究課題名（英文） Molecular phylogenetics on coevolution between legume plants and seed predator insects: toxin effects

研究代表者

嶋田 正和 (SHIMADA MASAKAZU)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：40178950

研究成果の概要（和文）： マメ科植物と種子捕食性昆虫マメゾウムシ亜科との系統対応を調べるために、海外調査を行って採集した試料からDNAを抽出し、それをもとに分子系統解析にかけた。その結果、祖先形質復元の統計解析を行ったところ、分子系統樹のいくつかの末端の枝で、狭食化から広食化への進化が起こっていることが検出できた。この結果をもとに、この広食化への共進化としてマメ科の乾燥完熟種子を利用できる性質と毒性物質への対応が重要であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）： In order to elucidate the coevolution between legume host plants and bruchid seed beetles, we extracted DNA from the seed beetles which were collected in oversea research trips and constructed the phylogenetic trees. Regenerating ancestral traits with statistical analysis, we determined the process from specialization to generalization in several clades. Based on the results, we revealed the coevolutionary processes of generalization of host plant utilization that they could infect their dry matured seeds with detoxing the poisonous chemical substance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野： 生物

科研費の分科・細目： 生態・環境

キーワード： マメ科植物、マメゾウムシ亜科、系統対応、共進化、毒性物質、分子系統樹、狭食化と広食化、寄主シフト

## 1. 研究開始当初の背景

寄主植物と植食性昆虫との間に見られる「食う－食われる関係」の共進化は、Ehrlich and Raven (1964)によると、摂食部位や毒性物質への解毒などにより、寄主植物の範囲が進化と共に狭くなるよう

に狭食化する方向へ進化すると言われてきた。しかし、嶋田らのグループは新大陸のマメ科植物とハムシ科マメゾウムシ亜科の長年の調査において、頻繁に「寄主シフト」が見られて広食化が進むことの状況証拠を得ていたため、寄主植

物と植食性昆虫の「食う－食われる」の系統対応で、乾燥豆食性の生活史と毒性物質への関係を進化的にみることを着想した。

## 2. 研究の目的

寄主植物と植食性昆虫との「食う－食われる」の相互作用においては、大きく分けて以下の2パターンが想定される。これを分子系統解析を適用することで、どちらの系統的対応がどのくらいの頻度で見られるかを探る。

- 食害する寄主植物がスペシャリスト化(狭食化)する共種分化の過程。
- 寄主植物が他地域から進入したり同所的に遠縁の寄主をたまたま食害できたことで、系統の離れた植物にジェネラリスト化(広食化)する寄主シフトの過程。

マメ科－マメゾウムシ亜科の関係においては、マメ科の毒性物質は100種以上もあり(Doyle 1981)、一つのマメゾウムシ種は広汎な毒に対応する解毒機構を持つことができないので、一般には種特異的な対応関係が見られる。

また広食化の鍵になる特性として、乾燥完熟豆を食害できて成虫が羽化できるかにある。しかし、マメ科寄主とマメゾウムシ亜科の「食う－食われる関係」の分子系統解析は、まだごく少数しか報告されていない。よって本研究では、新大陸・旧大陸のマメゾウムシ亜科を採集調査し、その乾燥豆利用の生活史特性の解明、分子系統解析を利用したニッチの狭食化・広食化の進化的過程を明らかにした。

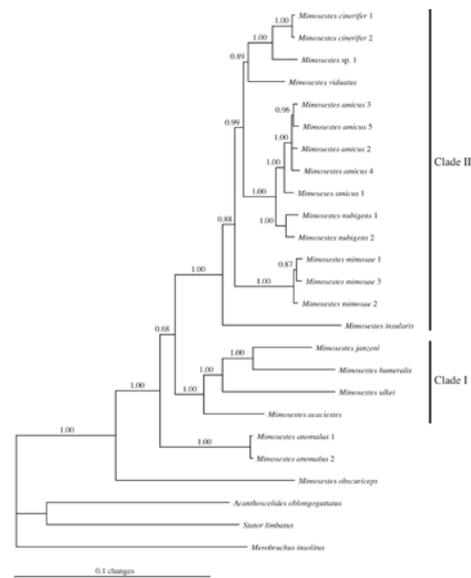
## 3. 研究の方法

嶋田(代表)、伊藤(連携研究者)、柴尾(連携研究者)、加藤俊英(研究協力者)は、メキシコで海外調査を行い、採集した試料からDNAを抽出し、それをもとに分子系統解析にかけた。その分子系統樹の上で祖先形質復元の統計解析を行った。

津田と徳永は、マメゾウムシ亜科の完熟乾燥した豆を利用するときの行動を解析した。さらに、藤井はマメ科植物の毒性物質を化学分析し、アレロパシーとしての効果を持つ毒性物質をガスクロマト、GC-MS、液クロなどで特定した。

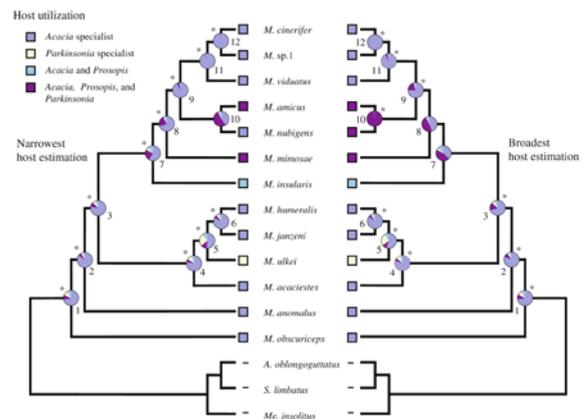
## 4. 研究成果

## 嶋田らが得た *Mimosestes* 属の分子系統



樹を図1に示す。これをもとに、祖先形質復元を行う。

図1 *Mimosestes* 属のベイズ系統樹。



祖先形質復元により得られた結果が以下の図2である。

図2 祖先形質復元の統計解析により得られた広食化と狭食化のクレード。

その結果、*Acacia* 属に特化して狭食化が進行していると言われてきた *Mimosestes* 属でも、さまざまなマメ科寄主植物にニッチを広げている広食化の枝がいくつか検出できた。これにより、Ehrich and Raven (1964)の狭食化が一方向的に進む仮説に反する貴重な事例の報告となった。

また、津田(分担者)は、マメゾウムシ科 *Callosobruchus* 属の分子系統樹(COIとCOIIによる)と、その系統樹の上に配置した宿主マメ科インゲンマメ連・キマメ連の

区別と産卵対象となる若いサヤか完熟乾燥サヤかの組合せにより、東南アジアでのキマメ連＝若いサヤへの産卵・食害から、東アジアでのインゲンマメ連＝完熟乾燥サヤへの産卵・食害へと、南→北の地理的勾配にそった大域的な移行を発見した。

また徳永（分担者）は、東南アジアから南アジア、アフリカ大陸を含めた広範な地域で *Vigna* 属・*Vicia* 属のマメにヨツモンマメゾウムシ種群（アカイロマメゾウムシを含む）が広く食害する実態を調査した。そして、小さい *V. radiata*（リョクトウ）を食害する状況でコンテスト型は進化し、より大きな *V. angularis*（アズキ）や *V. unguiculata*（ササゲ）を食害する状況でスクランブル型が進化する。現在、広範な組合せの *Vigna* 属・*Vicia* 属のマメ-ヨツモンマメゾウムシ地域系統で競争型の変異性と宿主マメ種との関係の研究を進展させている。新しい成果としては、コンテスト型の方が広食性、つまりさまざまな毒性物質が蓄積されているマメ科種子でも成長できる傾向が見られた。

藤井（分担者）は藤井はマメ科植物の毒性物質を化学分析し、アレロパシーとしての効果を持つ毒性物質を特定し、一覧にした。これがどのようにマメゾウムシ亜科の食性に関わるのかについては、まだ未知の部分がある。特に、嶋田と加藤らの分子系統解析では、カナバニンなどがマメゾウムシ亜科の食性に大きく影響する可能性の結果を一部得ているので、今後さらに解析する必要がある。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 22 件）

- ① Kondo, N., M. Tuda, Y. Toquenaga, Y-C. Lan, S. Buranapanichpan, S-B. Horng, M. Shimada, and T. Fukatsu. (2011) Wolbachia infections in world populations of bean beetles (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) infesting cultivated and wild legumes. *Zoological Science*, in press. 査読有
- ② Mano, H. and Y. Toquenaga. (2011) Contest-type competition between age classes in scramble-type *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), *Entomological Science*. *Entomological Science* 14:166-172. 査読有
- ③ Tuda, M. (2011) Evolutionary diversification of bruchine beetles: climate-dependent traits and development associated with pest status. *Bulletin of Entomological Research* 18:1-8. 査読有

- ④ Kato, T., A. Bonet, H. Yoshitake, J. Romero-Nápoles, U. Jinbo, M. Ito, and M. Shimada. (2010) Evolution of host utilization patterns in the seed beetle genus *Mimosstes* Bridwell (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Molecular phylogenetics and evolution* 55:816-832. 査読有
- ⑤ T. Kamo, R. Kasahara, S. Abe, M. Hirota, M. Sugano, H. Yamaya, S. Hiradate, Y. Fujii. (2010) Carbon sources of natural cyanamide in *Vicia villosa* subsp. *varia*. *Natural Product Research* 24:1637-1642. 査読有
- ⑥ Arnqvist G. and Tuda M. (2010) Sexual conflict and the gender load: correlated evolution between population fitness and sexual dimorphism in seed beetles. *Evolution* 277:1345-1352. 査読有
- ⑦ Yanagi S. and Tuda M. (2010) Interaction effect among maternal environment, maternal investment and progeny genotype on life history traits in *Callosobruchus chinensis*. *Functional Ecology* 24:383-391. 査読有
- ⑧ H. Kato-Noguchi, M. Yamamoto, K. Tamura, T. Teruya, K. Suenaga, Y. Fujii (2010) Isolation and identification of potent allelopathic substances in rattail fescue. *Plant Growth Regulation* 24:383-391. 査読有
- ⑨ T. Kamo, K. Kato, S. Abe, M. Hirota, H. Yamaya, S. Hiradate, Y. Fujii (2009) Biosynthetic origin of the nitrogen atom in cyanamide in *Vicia villosa* subsp. *varia*. *Soil Science and Plant Nutrition* 55:235-242. 査読有
- ⑩ Otsuka, Y. and Y. Toquenaga (2009) Pioneer-Follower dilemma game in *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae). *J. Ethol.* 27:131-136 査読有
- ⑪ Tuda, M., Wu, L.-H., Tateishi, Y., Niyomdham, C., Buranapanichpan S., Morimoto, K., Wu, W.-J., Wang, C.-P., Chen, Z., Zhu, H., Zhang, Y., Murugan, K., Chou, L.-Y., Johnson, C.D. (2009) A novel host shift and invaded range of a seed predator, *Acanthoscelides macrophthalmus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), of an invasive weed *Leucaena leucocephala*. *Entomological Science* 12:1-8. 査読有
- ⑫ A. Golsz, M. Sugano, Y. Fujii (2008) Microarray expression profiling of *Arabidopsis thaliana* L. in response to allelochemicals identified in buckwheat. *Journal of Experimental Botany* 59:3099-3109. 査読有
- ⑬ Tuda, M. (2008) A new species of *Bruchidius* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) from Albizia in Northern Thailand and a review of *Bruchidius* Group 5., *Zoological Science*. 25:451-454. 査読有

〔学会発表〕（計 14 件）

- ① 柳真一, 津田みどり. 卵のサイズ及び形態の最適化を妨げる母親の資源量と産卵管の制約, 日本応用動物昆虫学会大会, 2011年3月28日, 九州大学
- ② Y. Toquenaga, N. Kondo. Partial cytoplasmic incompatibility in *Callosobruchus analis*, Memorial Symposium for the 26th International Prize for Biology, 2010年12月7日, つくば国際会議場
- ③ 藤井義晴, 菅野真実, 和佐野直也, Anna Golisz, 加茂綱嗣, 平舘俊太郎. 植物の一生に及ぼすアレロパシー活性を検定するライフサイクルアセスメント法の開発とDNAマイクロレイによるアレロケミカルの作用の推定, 日本土壌肥料学会, 2010年9月9日, 北海道大学
- ④ 加藤俊英, Arturo Bonet, 吉武啓, 神保宇嗣, 伊藤元己, 嶋田正和. 新大陸産マメゾウムシの多様性は適応放散によってもたらされたのか? 日本進化学会, 2010年8月2日, 東京工業大学
- ⑤ 加藤俊英, Arturo Bonet, 神保宇嗣, 伊藤元己, 嶋田正和. スペシャリスト植食性昆虫の多様化は寄主植物の影響を受けるのか? 日本生態学会, 2010年3月17日, 東京大学
- ⑥ 香月雅子, 徳永幸彦, 宮竹貴久. ヨツモンマメゾウムシにおける戦略的射精と資源獲得競争タイプとの関係, 日本動物行動学会, 2009年11月27日, 筑波大学
- ⑦ 加藤俊英. 分子系統に基づく種子食性昆虫の寄主植物利用パターンの進化的解析, 第63回農業生物資源研究所昆虫自主セミナー, 2009年8月28日, 農業生物資源研究所

[図書] (計1件)

崎尾 均【編】, 藤井義晴, 石川理恵, 浦口晋平, 渡辺泉, 星野義延. 文一総合出版, ニセアカシアの生態学 外来樹の歴史・利用・生態とその管理, 2009, 237-254.

[その他]

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/shimada-lab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

嶋田 正和 (SHIMADA MASAKAZU)  
東京大学・大学院総合文化研究科・教授  
研究者番号: 40178950

### (2) 研究分担者

・藤井 義晴 (FUJII YOSHIHARU)  
独立行政法人農業環境技術研究所・生物多様性研究領域・上席研究員  
研究者番号: 10354101  
・徳永 幸彦 (TOQUENAGA YUKIHIKO)

筑波大学・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 90237074

・津田 みどり (MIDORI TSUDA)  
九州大学・大学院農学研究院・助教  
研究者番号: 20294910

### (3) 連携研究者

・伊藤 元己 (ITO MOTOMI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・教授  
研究者番号: 00193525  
・柴尾 晴信 (SHIBAO HARUNOBU)  
東京大学・大学院総合文化研究科・助教  
研究者番号: 90401207