

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

成果報告書

提出日：平成 28 年 7 月 14 日

【基本情報】

○申請者

採 択 年 度：平成 27 年度
部 局 名 等：生態学研究センター（白眉センター）
職 名：特定助教
氏 名：山道真人
研究課題名：被食者の迅速な進化が個体群動態に及ぼす影響

○渡航先

国 名：アメリカ合衆国
研究機関名：コーネル大学
研究室名等：〔研究室名〕 Department of Ecology and Evolutionary Biology
〔職名等・氏名〕 Frank H. T. Rhodes Professor of Environmental Science・Nelson G. Hairston Jr.
渡 航 期 間：平成 27 年 5 月 18 日～平成 28 年 1 月 14 日、
平成 28 年 5 月 4 日～平成 28 年 5 月 17 日（256 日）

国 名：アメリカ合衆国
研究機関名：カリフォルニア大学デイビス校
研究室名等：〔研究室名〕 Department of Evolution and Ecology
〔職名等・氏名〕 Professor・Sebastian J. Schreiber
渡 航 期 間：平成 28 年 1 月 15 日～平成 28 年 4 月 2 日（79 日）

国 名：アメリカ合衆国
研究機関名：カリフォルニア大学バークレー校
研究室名等：〔研究室名〕 Department of Integrative Biology
〔職名等・氏名〕 Professor・Mike Boots
渡 航 期 間：平成 28 年 4 月 3 日～平成 28 年 5 月 3 日（31 日）

○渡航期間中の出張

出 張 先：パリ（フランス）・ルーヴェン（ベルギー）・ユトレヒト、ライデン、ヴァーヘニンゲン（オランダ）・プレーン（ドイツ）
目 的：Mathematical Models in Ecology and Evolution (MMEE) 2015、ナチュラリス生物多様性センター、マックス・プランク進化生物学研究所における研究成果発表、ルーヴェン・カトリック大学、ユトレヒト大学、オランダ生態研究所、マックス・プランク進化生物学研究所における共同研究打ち合わせ
期 間：7 月 7 日～7 月 21 日

出 張 先：東京、京都（日本）
目 的：京大、東大における共同研究打ち合わせ
期 間：7 月 23 日～7 月 29 日

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

出張先：東京、京都（日本）
目的：日本進化学会第17回大会、2015年日本数理生物学会/日中韓数理生物学コロキウム合同大会における研究成果発表、京大における共同研究打ち合わせ
期間：8月18日～9月5日

出張先：ヘルシンキ、ハンコ（フィンランド）
目的：Experimental Evolution and Community Dynamics (EECD) Minisymposium 2015における研究成果発表、ヘルシンキ大学における共同研究打ち合わせ
期間：10月12日～10月16日

出張先：トロント（カナダ）
目的：トロント大学における研究成果発表、共同研究打ち合わせ
期間：10月29日～11月1日

出張先：東京、京都（日本）
目的：公募研究集会「進化と生態の階層間相互作用ダイナミクス：生態学のリストラ2」における研究成果発表、京大、東大、東北大東京分室における共同研究打ち合わせ、学生向け講義
期間：12月11日～12月24日

出張先：モントレー（カリフォルニア州）
目的：American Society of Naturalists Meetingにおける研究成果発表
期間：1月10日～1月14日

出張先：パロアルト（カリフォルニア州）
目的：スタンフォード大学における研究成果発表、共同研究打ち合わせ
期間：1月29日～1月31日

出張先：サンタクルーズ（カリフォルニア州）
目的：カリフォルニア大学サンタクルーズ校における共同研究打ち合わせ
期間：2月18日～2月20日

出張先：仙台、東京、京都（日本）
目的：日本生態学会第63回大会における研究成果発表、京大、東大、東北大東京分室における共同研究打ち合わせ
期間：3月17日～3月30日

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

【成果】

○プロジェクトの成果及び今後の展開

・研究概要

近年になって、環境の変動に対応して、生物が短期間で迅速に適応進化していることが明らかになってきた。そのような迅速な進化は個体群動態などの生態学的なプロセスに影響を与える。生態学的なプロセスはさらに適応度を変化させて適応進化に影響するため、生態と進化の間にフィードバックが生じる。このような生態-進化フィードバックは、生態学と進化生物学の融合を目指す基礎科学として重要なだけでなく、人間活動によって影響を受け変化し続ける生態系を適切に管理・保全していくために必要不可欠な知識となる。

生態-進化フィードバックを研究するためには、理論と実証の緊密な連携が非常に有効なアプローチとなる。そこで本プロジェクトでは、コーネル大学の Nelson G. Hairston Jr. 教授（陸水学）と Stephen P. Ellner 教授（数理生物学）をはじめとして、カリフォルニア大学の Sebastian J. Schreiber 教授・Mike Boots 教授（数理生物学）を含めた多様な研究者と相互作用しつつ、国際的な共同研究を進めてきた。本プロジェクトの研究結果は、学会発表を経て査読付き論文として発表予定である。

・国際共同研究の立上げ・ネットワークの構築

コーネル大学では、Hairston Jr. 教授と Ellner 教授と以下の共同研究を行った。

- ・周期的に変動する環境のもとで、被食者の迅速な進化が個体数振動に及ぼす影響

これまでの生態-進化フィードバック研究は、均一な環境を仮定したものが多かったが、実際の野外環境では日周変動、季節変動、さらに長期的な気候変動などの周期的な環境変動にさらされている。このような環境変動が存在するときに、被食者の進化が個体群動態に与える影響を数理モデルによって調べた。

- ・動物プランクトンの種内多型頻度と植物プランクトン組成の季節変動

野外生態系における迅速な進化を観測するため、コーネル大学から近い湖において、動物プランクトン（ミジンコ）の遺伝子型頻度と植物プランクトンの種組成の季節変化を調べた。その結果を元に数理モデルを構築し解析を行った。

上記の他にも、Hairston 研究室にポスドクとして在籍していた Brooks E. Miner 博士（現 Ithaca College）と共同で、被食者の迅速な進化が捕食者の絶滅を防ぐ「間接進化的救助」についての理論研究を行い、論文としてコーネル大学滞在中に発表した（Yamamichi & Miner 2015 *Evol. Appl.*）。また、Ellner 教授と共同で、量的形質とメンデル形質の間の敵対的な共進化モデルの解析を行い、論文として発表した（Yamamichi & Ellner 2016 *Proc. R. Soc. B*）。

さらに、Hairston 教授と占部城太郎教授（東北大学）らと共に、コーネル大学の実験池を利用して、遮光がプランクトン・水草・底生生物を含む池生態系に及ぼす影響を調べるフィールドワークと、観測されたパターンを説明する数理モデルの解析を行った。この結果は、2016年8月のアメリカ生態学会で口頭発表を行い、論文として発表することを目指している。

カリフォルニア大学デイビス校では、Schreiber 教授と Sharon Y. Strauss 教授（植物生態学）と、近縁種の間で花粉を介して干渉し、正の頻度依存がもたらされる「繁殖干渉」に注目して共同研究を行った。繁殖干渉に加えて、資源競争と環境変動を考慮した数理モデルによって、2種共存が起こる条件について調べた。

カリフォルニア大学バークレー校では、Boots 教授と、寄生者と宿主の共進化と多様化において、迅速な進化・有性生殖・量的形質が及ぼす影響を調べる数理モデル解析を行った。

学会・シンポジウムとしては、7月に Mathematical Models in Ecology and Evolution (MME) 2015 (フランス) に、10月には Experimental Evolution and Community Dynamics

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

(EECD) Minisymposium 2015 (フィンランド) に、1月に American Society of Naturalists Meeting (カリフォルニア州) に参加して研究発表を行い、多くの研究者と議論し親交を深めることができた。

その他、ナチュラリス生物多様性センター (オランダ) ・マックス・プランク進化生物学研究所 (ドイツ) ・トロント大学 (カナダ) ・コーネル大学・スタンフォード大学・カリフォルニア大学デイビス校・カリフォルニア大学バークレー校でセミナー発表を行った。カリフォルニア大学デイビス校では、日本人の研究者が集まるセミナー (Japanese San Francisco Bay Area Seminar 主催 UCD セミナー) で、分野外の研究者に向けて研究発表を行った。

上記の交流の中から、特に Lutz Becks 博士 (マックス・プランク研究所) と行った打ち合わせをもとに、平成 27 年度の科学研究費若手 B に申請し、採択された。また、Peter Abrams 博士 (トロント大学) と化学量論に基づく迅速な進化モデル解析を共同で行う予定である。さらに、カリフォルニア大学サンタクルーズ校を訪れた際に、Eric Palkovacs 教授と議論し、今後 Mike Kinnison 教授 (メイン大学) も含めてさらなる議論を行う予定である。

・国際共著論文の投稿・発表等の状況、国際学会等での発表状況 [予定を含む]

渡航期間中、コーネル大学での共同研究をもとに、以下の論文を発表した。

Yamamichi M., Miner BE (2015) Indirect evolutionary rescue: prey adapts, predator avoids extinction. *Evolutionary Applications* 8(8): 787-795.

Yamamichi M., Ellner SP (2016) Antagonistic coevolution between quantitative and Mendelian traits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283(1827): 20152926.

また、カリフォルニア大学サンタクルーズ校での打ち合わせをもとに以下の論文が受理された。Adachi T, Costa D, Robinson P, Peterson S, **Yamamichi M.**, Naito Y, Takahashi A (in press) Searching for prey in a three-dimensional environment: hierarchical movements enhance foraging success in northern elephant seals. *Functional Ecology*.

上記以外にも、複数の論文を執筆中である。

渡航期間中、以下の国際学会発表を行った。

Yamamichi M., Hosono M. "Effects of genetic architectures on polymorphism dynamics under negative frequency-dependent selection". Mathematical Models in Ecology and Evolution (MMEE) 2015. フランス パリ. 2015年7月10日.

Yamamichi M. "Modeling adaptation processes in eco-evolutionary feedbacks". Experimental Evolution and Community Dynamics (EECD) Minisymposium 2015. フィンランド ハンコ. 2015年10月14日.

Yamamichi M., Ellner SP. "Antagonistic coevolution between quantitative and Mendelian traits". American Society of Naturalists Conference 2016. 米国 カリフォルニア州 アシロマ. 2016年1月11日. (M28)

さらに、以下の招待講演も行った。

Yamamichi M. "Adaptation, speciation, and extinction in land snails". (organized by Menno Schilthuizen). Naturalis Biodiversity Center, オランダ ライデン 2015年7月15日

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

Yamamichi M. "Modeling eco-evolutionary dynamics in predator-prey systems". (organized by Lutz Becks). Max Planck Institute for Evolutionary Biology, ドイツ プレーン 2015年7月20日.

Yamamichi M. "Effects of adaptation processes on eco-evolutionary feedbacks". (organized by Peter A. Abrams). University of Toronto, カナダ オンタリオ州 トロント 2015年10月30日.

山道真人. "数理モデルから、ヘビとカタツムリの左右性を介した共進化を考える". BAS 主催 UCD セミナー. University of California, Davis, 米国 カリフォルニア州 デイビス 2016年4月1日.

また、コーネル大学での共同研究をもとに以下の学会発表を行う予定である。

Yamamichi M, Kazama T, Tokita K, Katano I, Doi H, Yoshida T, Hairston Jr. NG, Urabe J. "A shady phytoplankton paradox: Why phytoplankton increases under low light". 101st Ecological Society of America Annual Meeting. 米国 フロリダ州 フォートローダーデール. 2016年8月9日. (COS 29-3)

・在外研究経験によって習得した能力等

コーネル大学・カリフォルニア大学デイビス校・カリフォルニア大学バークレー校という、全米でも屈指の生態学／進化生物学の研究センターである3つの大学に滞在することで、アメリカの大学における研究の進め方をつぶさに見ることができた。

コーネル大学では陸水学・数理生物学の研究室ミーティングと、Department of Ecology and Evolutionary Biology のセミナーに毎週出席した。特に Department セミナーでは、発表後のピザランチや、ホストの教授の家で催される夕食会、個別に院生やポスドクと30分ずつ話す機会など、セミナー講演者と触れ合う機会を最大限に生かす工夫を感じられた。

デイビス校では、雑誌の特集号の輪読会、Center for Population Biology のセミナー（とポスドクの面接時の研究発表）、Department of Evolution and Ecology のセミナーに毎週出席した。その他に、数理生物学の3人の教授（Alan Hastings 教授・Marissa Baskett 准教授・Schreiber 教授）とポスドク・院生が週に1回、お茶の時間に集まり、気軽にさまざまなトピックについて話し合う Theory (Theory と Tea をかけている) の時間は新鮮で、アイデアを交換する良い機会になっていると感じた。

バークレー校では、Boots 教授と Britt Koskella 助教の合同研究室ミーティングおよび博物館セミナーと Department of Integrative Biology のセミナーに出席し、統合生物学に取り組むさまざまなアプローチを知ることができた。

・在外研究経験を活かした今後の展開

今回の滞在により、多くの共同研究を立ち上げることができたうえ、さまざまな研究者と知り合う貴重な機会を得ることができた。5月に帰国した後も、Skype 会議やメールを活用し、共同研究を進めている。さらに今後は、今回の滞在で知り合った研究者を日本に招いてシンポジウムを開催し、共同研究を立ち上げて国際的な外部研究資金を獲得するといった展開を考えている。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

英文成果報告書

○申請者情報

部 局 名 : Center for Ecological Research (Hakubi Center for Advanced Research)
職 名 : Program-specific Assistant Professor
氏 名 : Masato Yamamichi
研究課題名 : Effects of prey rapid evolution on population dynamics
渡 航 期 間 : May 18, 2015–May 17, 2016

○渡航先情報

国 名 : U. S. A.
研究機関名 : Cornell University
研究室名等 : Department of Ecology and Evolutionary Biology
受入研究者名 : Nelson G. Hairston Jr.

研究機関名 : University of California, Davis
研究室名等 : Department of Evolution and Ecology
受入研究者名 : Sebastian J. Schreiber

研究機関名 : University of California, Berkeley
研究室名等 : Department of Integrative Biology
受入研究者名 : Mike Boots

○渡航報告

Ever since Darwin, adaptive evolution has been regarded as a slow process. However, recent studies have revealed that adaptive evolution can occur rapidly, and such rapid evolution affects ecological dynamics. Because ecological processes can change fitness landscape and affect evolutionary dynamics, there should be feedbacks between ecological and evolutionary processes. Understanding such eco-evolutionary feedbacks is not only important for basic science, but also crucial for managing and conserving ecosystems under environmental changes.

For understanding the complex eco-evolutionary feedbacks, it is very important to combine theoretical and empirical approaches. Therefore I visited Cornell University to collaborate with Prof. Nelson G. Hairston Jr. (limnology) and Prof. Stephen P. Ellner (mathematical biology). We worked on (1) modeling eco-evolutionary dynamics with prey defense evolution in fluctuating environments and (2) rapid evolution of zooplankton (*Daphnia*) in response to seasonal changes in their food resource (phytoplankton). In addition, I published a theoretical paper about coevolution between quantitative and Mendelian traits with Prof. Ellner in *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. Furthermore, I collaborated with Prof. Hairston and Prof. Urabe (Tohoku University) on experiments about the effects of light on pond ecosystems in Cornell's Experimental Ponds.

I also visited University of California for theoretical collaboration with Prof. Sebastian J. Schreiber (UC Davis) and with Prof. Mike Boots (UC Berkeley). At UC Davis, I worked on theory of reproductive interference under environmental stochasticity with Prof. Schreiber and Prof. Sharon

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム
研究者派遣プログラム

Y. Strauss. I am planning to add rapid evolution to the reproductive interference model to see how reproductive character displacement results in evolutionary rescue. At UC Berkeley, I worked on rapid evolution and coevolutionary diversification of host-parasite systems with Prof. Boots.

During my stay, I published papers in *Evolutionary Applications*, *Current Biology*, and *Journal of Animal Ecology*. I also attended meetings in Paris, France (July), Helsinki, Finland (October), and California, USA (January), and gave seminar talks at the Naturalis Biodiversity Center (Leiden, Netherlands, July), the Max Planck Institute for Evolutionary Biology (Plön, Germany, July), the University of Toronto (October), Stanford University (January), UC Davis (March), and UC Berkeley (April).

Overall, the John Mung Program provided me a great opportunity to develop my career and international collaborations. I am still working with my collaborators in Japan by using Skype and emails. I will further expand the collaborations by obtaining research grants as well as publishing peer-reviewed journal articles. I am also planning to invite my collaborators to Japan for scientific meetings as well as further scientific discussion.