

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22405013

研究課題名(和文) 周極要素植物の緯度傾度に伴う環境適応と進化多様性形成

研究課題名(英文) Adaptation and evolution along latitudinal cline of circumpolar element plants

研究代表者

瀬戸口 浩彰 (Setoguchi, Hiroaki)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：70206647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光受容色素タンパク質(フィトクロムなど)の花成に關与する遺伝子が、高緯度～低緯度の環境傾度の中で、機能分化をどのように起こしているか解析した。アブラナ科の *Cardamine nipponica* と *C. bellidifolia* を主体にして用いて、計画通りに知見を得た：高緯度の個体は種を超えて PHYE を特化させており、*C. nipponica* の低緯度個体は独自の PHYE アリルを保有していた。また、ツツジ科のツガザクラ属においては、周極要素植物の起源が北にあるという従来仮説を否定する知見を得た。以上の研究はロシア科学アカデミーやノルウエーのオスロ大学との共同研究体制にて遂行した。

研究成果の概要(英文)：Photoreceptors such as phytochromes and cryptochromes regulate germination and flowering via light signals, and play essential roles for plants by sensing surrounding environments and being able to present appropriate responses are essential for both survival and reproductive success of plants. We investigated PHYE alleles in Japanese endemic *Cardamine nipponica* and its sister taxon, *C. bellidifolia*, in higher latitude. PHYE alleles of *C. nipponica* from Northern Japan formed a robust clade with those of *C. bellidifolia*, while *C. nipponica* in central Japanese harbored isolated PHYE gene alleles. This study demonstrates that persistence of ancestral alleles can be attributed to the intraspecific variation in PHYE, representing a notable evolutionary process of phytochromes according to the environment factors in each latitude. These studies were conducted under collaboration between the Russian Academy of Sciences and/or Oslo University.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：6806

キーワード：系統地理学 周極高山植物 適応 環境 フィトクロム 緯度 開花 起源

1. 研究開始当初の背景

日本で「高山植物」と言われる植物群は、高緯度地域では周極要素植物という。ノルウエーなどの高緯度地域では、植物が育つ夏季には朝3時頃から夜10時過ぎまで真昼並みに明るいなど、低緯度にある日本とは光環境が大きく異なっている。我々はそれまでの研究で、日本列島のような狭小な島国の中でさえ、中部山岳 vs. 東北北海道の2地域に、植物が分化していることを明らかにしてきた。そこで、この調査範囲を地球規模に広げてみることを構想した。

2. 研究の目的

(1) 幅広い緯度に沿って、同一種あるいは姉妹種から構成される単系統群が光受容体の分化を起こしていることを明らかにする。
(2) 周極高山要素植物群のなかにおける日本列島固有種の位置づけを明確にする。

3. 研究の方法

日本列島、サハリン、カムチャッカ半島、アラスカ、スカンジナビア半島などから周極高山植物を採集し、様々な核ゲノム上の遺伝子とフィトクロムE遺伝子(PHYE)の塩基配列を解析した。

4. 研究成果

日本固有種 *Cardamine nipponica* とその姉妹種である *C. bellidifolia* の系統を各遺伝子マーカーで調べたところ、それぞれの単系統性と姉妹性が確認できた。ところがPHYEの全長(ca. 3700 bp)の解析では、東北北海道の *C. nipponica* と *C. bellidifolia* が強固なクレードを作り、*C. nipponica* の中部日本のPHYEが別系統のものになった。このことから、これらの植物は種の異同に関わり無く生育地の緯度に適したPHYE遺伝子を保有することが明らかになった。高緯度と低緯度のPHYE遺伝子の間には多数のアミノ酸置換があり、機能的にも大きな相違があると思われる。そこで調査範囲を網羅するようにして採取した種子が、同一条件下で光発芽する割合を比較した。その結果、低緯度(日本の中部山岳)の個体の種子が発芽できる程度の光強度では、高緯度になるほど発芽率が顕著に低下することが明らかになった。高緯度の個体は、光発芽においてより強い光(長い日長)を必須としていると考える。

また、この他にも、日本固有種が周極高山植物の中で比較的原始的な位置づけにあることをツツジ科のツガザクラ属において見いだした。このことは、低緯度に分布する周極要素植物が派生的なものであると考える従来の見解を覆すことになった。

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18件)

- . Higashi, H., Ikeda, H., Setoguchi, H.. Molecular phylogeny of *Shortia sensu lato* (Diapensiaceae) based on multiple nuclear sequences. *Plant Systematics and Evolution* (in press). 査読あり
- . Wakabayashi, T., Oh, H., Kawaguchi, M., Harada, K., Sato, S., Ikeda, H. Setoguchi, H. Polymorphisms of *E1* and *GIGANTEA* in wild populations of *Lotus japonicus*. *Journal of Plant Research* (in press). 査読あり
- . Ikeda, H., Barkalov, V., Yakubov, V.V., Setoguchi, H. 2014. Molecular evidence of ancient relicts of arctic-alpine plants in East Asia. *New Phytologists* (in press). 査読あり
- . Higashi, H., Setoguchi, H. Reclassification of *Schizocodon sildanelloides* var. *minus* (Diapensiaceae). *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* (in press). 査読あり
- . Ohtsuki, T., Shoda, T., Kaneko, Y., Setoguchi, H. 2014. Development of SSR markers for *Vitex rotundifolia* (Verbenaceae), an endangered coastal plant isolated in Lake Biwa, Japan. *Applications in Plant Sciences* 2(4)1300100 DOI:10.3732/apps.1300100 査読あり
- . Aoki, K., Ueno, S., Kamijo, T., Setoguchi, H., Murakami, N., Tsumura, Y. 2014. Genetic differentiation and genetic diversity of *Castanopsis* (Fagaceae), the dominant tree species in Japanese broadleaved evergreen forests, revealed by analysis of EST associated microsatellites. *PlosOne* 9: e87429. DOI: 10.1371/journal.pone.0087429 査読あり
- . Ohtsuki, T., Murai, S., Iwashina, T. Setoguchi, H. 2013. Geographical differentiation inferred from flavonoid content between coastal and freshwater populations of the coastal plant *Lathyrus japonicus* (Fabaceae). *Biochemical*

- Systematics and Ecology 51: 243-250. DOI: org/10.1016/j.bse.2013.09.004 査読あり
- . Higashi, H., Sakaguchi, S., Ikeda, H., Isagi, Y., Setoguchi, H. 2013. Multiple introgression events and range shifts in *Schizocodon* (Diapensiaceae) during the Pleistocene. Botanical Journal of the Linnean Society 173: 46-63. DOI: 10.1111/boj.12074 査読あり
- . Ohtsuki, T., Ikeda, H., Setoguchi, H. 2013. Recent colonization by a coastal plant of inland habitats at an ancient freshwater lake, Lake Biwa: multilocus sequencing and a demographic history of *Lathyrus japonicus* (Fabaceae). Ecology and Evolution 3: 654 (1-12). DOI: 10.1002/ece3.654 査読あり
- . Ikeda, H., Setoguchi, H. 2013. A multilocus sequencing approach reveals the cryptic phylogeographic history of *Phyllodoce nipponica* Makino (Ericaceae) Biological Journal of the Linnean Society 110: 214-226. DOI: 10.1111/bij.12116 査読あり
- . Ikeda, H., Setoguchi, H. 2013. Phylogeographic study of *Phyllodoce aleutica* (Ericaceae) in the Japanese archipelago. Bulletin of the National Science Museum □ of Nature and Science, Series B 39: 87-94. 査読あり
- . Ohki, M., Setoguchi, H. 2013. New microsatellite markers for *Tricyrtis macrantha* (Convallariaceae) and cross-amplification in closely related species. Applications in Plant Sciences 1: 1200247. DOI:10.3732/apps.1200247 査読あり
- . Mitsui Y., Setoguchi H. 2012. Demographic histories of adaptively diverged riparian and non-riparian species of *Ainsliaea* (Asteraceae) inferred from coalescent analyses using nuclear loci. BMC Evolutionary Biology 12: 254 (1-14). DOI: 10.1186/1471-2148-12-254 査読あり
- . Yamada, S., Okubo, S., Miyashita, H., Setoguchi, H. 2012. Genetic diversity of symbiotic cyanobacterium *Cycas revoluta* (Cycadaceae). FEMS Microbiology and Ecology 81: 696-706. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2012.01403.x 査読あり
- . Matsuda, J., Setoguchi, H. 2012. Isolation and characterization of microsatellite loci in *Asarum leucosepalum* (Aristolochiaceae), an endangered plant endemic □ to Tokunoshima Island in the Ryukyu Archipelago. Conservation Genetics Resources 4: 579-581. DOI: 10.1007/s12686-011-9596-z. 査読あり
- . Ikeda, H., Carlsen, T., Fujii, N., Brochmann, C., Setoguchi, H. 2012. Evolution of an alpine endemic plant at the arctic-alpine range periphery following Pleistocene climatic oscillations. New Phytologist 194: 583-594. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04061.x 査読あり
- . Ishibashi, N., Setoguchi, H. 2012. Polymorphism of DNA sequences of □ cryptochrome genes is not associated with the photoperiodic flowering of wildsoybean along a latitudinal cline. Journal of Plant Research 125: 483-488. DOI:10.1007/s10265-011-0470-6. 査読あり
- . Higashi, H., Ikeda, H., Setoguchi, H. 2012. Population fragmentation caused □ randomly fixed genotype in each population of *Arabidopsis kamchatica* in the wildsoybean along a latitudinal cline. Journal of Plant Research 125: 483-488. DOI:10.1007/s10265-011-0470-6. 査読あり
- [学会発表] (計 5 件)
- . Ikeda, H., Gustafsson, L., Brochmann, C., Setoguchi, H. 2012. Molecular evolution of photoreceptor genes between sister species.

Evolution Ottawa (1st Joint Congress on Evolutionary Biology: American Society of Naturalist, European Society for Evolutionary Biology, Society of the Study of Evolution, Society of Systemic Biologist, Canadian Society of Systematic Biologists). July 6-10, Ottawa, Canada.

. Ikeda, H., Yakubov, V., Barkalov, V., Setoguchi, H. 2013. Pleistocene speciation and biogeographic history of arctic-alpine plant. ESBE 2013 XIV: Congress of the European Society for Evolutionary Biology, August 19-24, The University of Lisbon, Lisbon, Portugal.

. Higashi, H., Sakaguchi, S., Ikeda, H., Isagi, Y., Setoguchi, H. 2013. Multiple introgression events and range shifts in *Schizocodon* (Diapensiaceae) during the Pleistocene. The 11th IntEcol (The International Association for Ecology) 2013, August 18-23, London, UK.

. Ikeda, H., Higashi, H., Brochmann, C., Setoguchi, H. Unique genetic structure of an arctic-alpine plant, *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae), in the Japanese archipelago. 2013年3月5日-9日, 日本生態学会、静岡県コンベンションアーツセンター

. 池田啓, Valentin Yakubov, Viachenslav Barkalov, Marr Kendrik, 瀬戸口浩彰 ツガザクラ属 *Phyllodoce* の分子系統解析と日本固有高山植物ツガザクラ *Phyllodoce nipponica* の起源. 日本植物学会第77大会, 北海道大学, 札幌, 9月13日~15日. 2013年

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
<http://setolab.h.kyoto-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬戸口 浩彰 (SETOGUCHI, Hiroaki)
京都大学・大学院人間・環境学研究所・教授
研究者番号：70206647

(2) 研究分担者

池田 啓 (IKEDA, Hajime)
岡山大学・資源植物科学研究所・助教
研究者番号：70580405

(3) 研究分担者

藤井 紀行 (FUJII, Noriyuki)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：40305412

(3) 研究分担者

東 浩司 (AZUMA, Hiroshi)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：50362439