

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	遺伝子発現の季節解析にもとづく植物気候応答の機能解明と予測技術開発
研究機関・ 部局・職名	京都大学・生態学研究センター・教授
氏名	工藤 洋

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	127,000,000	127,000,000	0	127,000,000	127,000,000	0	0
間接経費	38,100,000	38,100,000	0	38,100,000	38,100,000	0	0
合計	165,100,000	165,100,000	0	165,100,000	165,100,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	60,935	19,160,730	26,370,557	11,822,728	57,414,950
旅費		2,027,590	3,154,906	2,460,520	7,643,016
謝金・人件費等		12,827,616	17,449,227	13,033,166	43,310,009
その他		884,891	5,263,548	12,483,586	18,632,025
直接経費計	60,935	34,900,827	52,238,238	39,800,000	127,000,000
間接経費計	48,000	138,897	5,270,679	32,642,424	38,100,000
合計	108,935	35,039,724	57,508,917	72,442,424	165,100,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
QIAgility System	HEAP/UV(incl.PC)	1	4,009,950	4,009,950	2011/5/23	京都大学
人工気象器	特注:生物環境調節装置 CfER仕様	2	2,257,500	4,515,000	2011/12/26, 2012/3/26	京都大学
多検体細胞破碎機本体・マルチ ビーズショッカー・サンプルホルダー	MB901AG(96 wellx2枚架け 対応)・SH9- 256AG(2mlx 56本架け)	1	1,871,100	1,871,100	2011/5/30	京都大学
メタルヒューズ マルチビーズ ショッカー用遠心機	(MBG101C 卓上型・冷凍 機付)プレート 用ローター 付	1	623,700	623,700	2011/5/30	京都大学
IonPersonal GenomeMachine	ライフテクノロジー 社製 PGM-400 シ ステムプレート調 整自動化システ ム	1	10,773,000	10,773,000	2012/7/5	京都大学
超音波ホモジナイザー	米国Qsonica 社製 Q700	1	812,700	812,700	2012/7/10	京都大学

様式20

超低温フリーザー	パナソニック MDF-U384- PJ	1	999,600	999,600	2012/12/14	京都大学
----------	---------------------------	---	---------	---------	------------	------

5. 研究成果の概要

野外において植物の遺伝子の働きを通年測定することで、複雑な環境変化のもとで巧みに生育する仕組みを明らかにすることを目的とした。最新の遺伝子発現定量技術(RNA-seq)を導入することにより、野外に生育する植物について、網羅的に遺伝子の発現状態を調べることができるようになった。特筆すべきは、ハクサンハタザオの自然集団において、約2万の遺伝子について2年間にわたる季節変動のデータが得られたことである。この大規模データセットを用いて、多くの遺伝子について気象条件と遺伝子発現との関係をモデル化した。本課題では、遺伝子の働きを測る最先端技術を導入することにより、植物季節を予測・制御する技術が高度化した。

課題番号	GS013
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	遺伝子発現の季節解析にもとづく植物気候応答の機能解明と予測技術開発
	Functional dissection and prediction of plant climate response by seasonal gene expression analysis
研究機関・部局・職名 (下段英語表記)	京都大学・生態学研究センター 教授
	Kyoto University・Center for Ecological Research・Professor
氏名 (下段英語表記)	工藤 洋
	KUDOH, HIROSHI

研究成果の概要

(和文): 地球温暖化とともに世界各地で植物季節の乱れが報告され、農業生産の低下や生態系の崩壊が懸念される。これに対処するには、植物季節の予測技術に、遺伝子の働きを測る最先端技術の導入が急務である。本研究では、網羅的遺伝子発現を野外植物で解析可能とし、さらに、多検体を迅速に解析する方法に改良した。特筆すべきは、ハクサンハタザオの自然集団において、約2万の遺伝子について2年間の季節変動データを得たことである。これにより、多くの遺伝子について気象と遺伝子発現との関係をモデル化することができる。この基礎技術は、植物応答の初期診断、温暖化の波及効果予測、それに対応する設計的育種などの様々な応用技術に貢献する。

(英文): Disturbances in plant phenology by global warming have been reported in many locations in the world. Their negative effects on crop productions and ecosystem functions are expected. It is necessary to improve the prediction methods of plant phenology by incorporating gene expression analyses. In the project, we developed a high-throughput RNA-seq method to apply it on the time-series samples from a natural plant population. The most prominent data set obtained was 2-year seasonal transcriptome of *Arabidopsis halleri* that covered 20,000 genes. The data allowed us modeling many genes against meteorological data. The developed method can be applied to various technologies, including early report of plant phenology, predictions of plant responses to global warming, and designed breeding of crops.

1. 執行金額 165,100,000 円
(うち、直接経費 127,000,000 円、 間接経費 38,100,000 円)

2. 研究実施期間 平成 23 年 2 月 10 日～平成 26 年 3 月 31 日

3. 研究目的

野外集団を対象に遺伝子発現の季節解析を行い、植物の気候応答を予測するモデルをメカニズムに準拠して構築する。自然生育地および圃場環境下での解析によって、複雑に変動する環境下で植物の生育を可能にしている頑健性のメカニズムを明らかにする。

そのために、以下の 3 課題を設定した。

- (1) 地球環境変化への植物の応答を予測する遺伝子発現を利用したモデルの開発
- (2) 野外植物集団を用いた季節トランスクリプトーム解析と遺伝子発現モデリングを実施
- (3) アブラナ科複数種の遺伝子の野外発現解析による植物季節応答の多様性解析

4. 研究計画・方法

- (1) 地球環境変化への植物の応答を予測する遺伝子発現を利用したモデルの開発

開花時期を調節する 2 つの遺伝子に着目して圃場実験と遺伝子発現解析を実施した。ハクサンハタザオの 2 系統(兵庫産・北海道産)を整備した大規模圃場において栽培し、遺伝子発現データを得た。環境条件と遺伝子発現をモデル化し、温暖化後の開花応答を推測した。

- (2) 野外植物集団を用いた季節トランスクリプトーム解析と遺伝子発現モデリングを実施

遺伝子発現を用いた植物季節解析方法を汎用化するために、非モデル植物に適用可能な多検体・時系列解析を可能にするハイスループット PNA-seq 法を確立した。これに関しては、当初の計画ではマイクロアレイ法を用いる予定であったが、当該分野の急速な技術発展に対応して方法を変更した。これにより、シロイヌナズナだけでなく他の近縁種でも研究が可能となった。それにより、トランスクリプトーム解析による季節モデリングの中心的研究対象をシロイヌナズナよりハクサンハタザオに移行させた。これは、ハクサンハタザオが多年草であるために、植物気候応答の長期モデリングにより適した材料であるためである。ハクサンハタザオの自然集団から 2 年間にわたり毎週 RNA サンプルを取得し、開発したハイスループット PNA-seq 法を用いてトランスクリプトームの季節データを得た。このデータを気象データに対してモデリングした。さらに、春分・夏至・秋分・冬至について 48 時間の時系列トランスクリプトームデータを得た

- (3) アブラナ科複数種の遺伝子の野外発現解析による植物季節応答の多様性解析

圃場に普通区、温暖化区を設置し、アブラナ科 9 種(ナズナ、スズシロソウ、ミチタネツケバナ、ハクサンハタザオ、スカシダゴボウ、コンロンソウ、ジャニンジン、マメゲンバイナズナ、イヌガラシ)の遺伝子発現解析により、開花制御遺伝子の発現モデリングを行った。さらに、開発したハイスループット RNA-seq が非モデル植物で適用可能であることを評価するため、シロイヌナズナ属でないアブラナ科植物コンロンソウ(タネツケバナ属)で de-novo アセンブルを完了し、対照的な発育段階のメリステム間の RNA-seq 比較した。

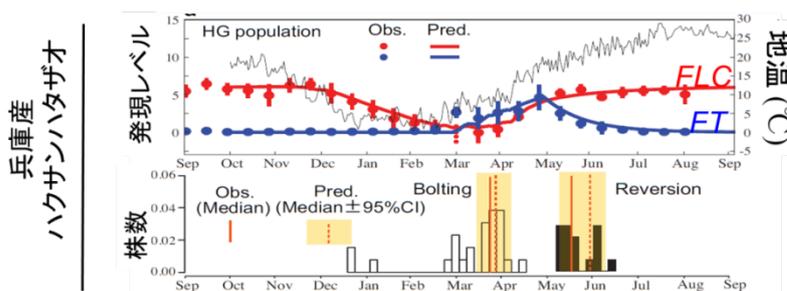
5. 研究成果・波及効果

(1) 地球環境変化への植物の応答を予測する遺伝子発現を利用したモデルの開発

成果の概要: 環境と遺伝子発現の関係をモデリングし、温暖化後の植物の応答を予測した。温暖化により気温が上昇すると開花期間が短縮することを予測した。

成果の詳細: 遺伝子間の相互作用を取り入れた季節応答モデルを、ハクサンハタザオで構築した。このモデルは、気温と日長から遺伝子発現を予測し、また、遺伝子発現から開花の開始と終了を予測するものである。室内実験で発現の温度依存パラメータを遺伝子ごとに推定し、圃場に移植した北海道・兵庫県系統の遺伝子発現と

FLC, FTの季節的発現と開花の開始と終了
 遺伝子発現と開花時期のモデルによる予測と観察値(共通圃場実験)



開花フェノロジーの関係からモデルを組み立てた。このモデルは、現在の環境下における開花の開始と終了を正確に予測した(図)。さらに、このモデルにより、地球環境の変化に対する植物の応答を予測した。その結果は、温暖化すると開花の開始が早まるが、それを越えて開花の終了が早まるために開花期間が短くなり、状況によっては開花ができなくなることを示していた。これは、温暖化が単に開花の時期を早めるだけでなく、開花そのものを阻害する可能性があることを示している。本研究の結果は、Nature Communications (IF 10.015)に掲載された(Satake et al. 2013)。

波及効果: 開花予測モデルを構築するには、従来、数十年にわたる気象データと植物季節データが必要であった。本研究では、遺伝子発現を導入することにより、制御環境下での実験と1年間の野外遺伝子発現データにより、開花予測モデルを構築することに成功した。この技術はさまざまな植物に応用可能である。構築したモデルは、現環境下でのハクサンハタザオの開花の開始と終了を正確に予測することができる。温暖化後の応答予測に関しては、今後、予測の検証実験が必要であるが、それに基づいて、より頑健で予測性の高いモデルへと改良していくことも可能である。また、本研究は、温暖化によって植物の開花期間が単純にシフトするだけでなく、開花そのものの攪乱が起こることを予測した。このことは、穀物の急速な減収の原因ともなるので、温暖化への対抗策の策定の際に、本研究の結果が参照されるべきである。

(2) 野外植物集団を用いた季節トランスクリプトーム解析と遺伝子発現モデリングを実施

成果の概要: 野外植物のハイルーブットRNA-seq解析法を確立し、ハクサンハタザオの自然集団において、約2万の遺伝子について2年間の季節変動データを得た

成果の詳細: ①ハイスルーブットライブラリ調整法を開発 分子生物学における次世代シーケンサRNA-seqでは、検体数が少ないために、ライブラリ調整の処理速度やコストが大きな問題となることはない。しかし、野外圃場条件における遺伝子発現解析のモデリングを汎用性のある技術とするためには、ライブラリ調整の高速化と低コスト化が必須である。例えばハクサンハタザオの年間サンプル1セットは(毎週6検体)は300検体に達する。様々な工夫で、ハイスルーブットライブラリ調整法を実現した(次ページの図)。

様々な工夫の積み重ねで
RNA-Seqライブラリ調製を高速・低コスト化



純正キット	本研究
12サンプル/週	768サンプル/週
5万円/サンプル	2000円/サンプル

64倍 (Sample throughput increase)
1/25 (Cost reduction)

② 非モデル種のRNA-seqパイプラインの構築 RNA-seq de-novoアセンブル、多検体インフォマティクスの工夫、モデリングのためのプラットフォーム整備など、非モデル植物のRNA-seqを実施するためのパイプラインを構築した(右図)。ハクサンハタザオにおいては近縁種の *Arabidopsis lyrata* のゲノム配列が発表されたことを利用し、この情報をハクサンハタザオから得られた配列情報に置き換えて参照配列とした。コンロンソウにおいては、より長い配列断片を読むことができる次世代シーケンサを用いることで、RNA-seq de-novoアセンブルを実施した。また、多検体に対応したタグ配列の設計、エラーの扱いなどについてのノウハウを蓄積した。

非モデル生物でのトランスクリプトミクス
パイプラインを確立した



③ 世界初、トランスクリプトーム季節データの取得 ハクサンハタザオの自然集団において、約 2 万の遺伝子について 2 年間の季節変動データを得た。また、春分・夏至・秋分・冬至のトランスクリプトーム日内変動データをも取得した。これらのハクサンハタザオの 2 年間発現データの 1 次解析を終え、発現量上位の数千遺伝子について遺伝子発現のモデリングを実施した。その結果、季節応答をする遺伝子をリストアップした。例えば、開花タイミングの制御に関連する約 200 の遺伝子のうち、季節応答をしている遺伝子が 22 であることが明らかになった。また、開花応答遺伝子だけでなく、様々な遺伝子の季節応答が明らかになった。例えば、時計遺伝子の季節変化パターンも初めて明らかとなり、冬に発現が上昇することを発見した(右図:各遺伝子の左のグラフが 2 年間の季節変動、右が春分 48 時間の変化、未発表のため非公表)。遺伝子発現のトランスクリプトーム変化、日変動の季節変化とともに、世界初のデータセットである。

波及効果: 非常に多くの遺伝子について応答を予測する道が開かれた。季節応答を示す遺伝子のうち多くが、まだ十分に機能解析が進んでいない遺伝子である。本研究により、機能の明らかな遺伝子の野外における動態を調べる研究アプローチに加えて、季節応答を示す遺伝子の機能と制御メカニズムを研究するという双方向の研究アプローチが可能になった。このことは、遺伝子機能を理解するための研究の速度と効率を高める。

(3) アブラナ科複数種の遺伝子の野外発現解析による植物季節応答の多様性解析

成果の概要: アブラナ科複数種について、大規模圃場実験を実施し、遺伝子発現の季節モデリングに成功した。

成果の詳細: アブラナ科 9 種についての遺伝子発現の季節データが得られ、開花応答の共通性と多様性が明らかになった。実験に用いたアブラナ科の複数種において、開花制御の主要遺伝子の発現が、共通の構造をもつモデルで記述できることが明らかとなった(右図、未発表のため非公表)。花成抑制因子 FLC(図の赤)と花成促進因子 FT(図の青)についてのモデリングをおこなった。多様性は FLC 遺伝子の制御に関するパラメータにより説明できることが明らかになった。このパラメータの値は、多年草、一年草という生活環の違いに対応していることが明らかとなった。これらの結果は、遺伝子発現モデリングの汎用性を示唆している。

また、開発したハイスループット RNA-seq が非モデル植物で適用可能であることを評価するため、シロイヌナズナ属でないアブラナ科植物コンロンソウ(タネツケバナ属)で de-novo アセンブルを完了し、対照的な発育段階のメリステム間の RNA-seq 比較した。その結果、発生学的にはシュートメリステムと同じ由来を持つ地下茎メリステムが、トランスクリプトームプロファイルとしては、根に近いことが明らかとなった(左図、未発表のため非公表)。光合成関連遺伝子の発現が低いことがその一因ではあったが、むしろこれまで、根特異的と考えられてきた一群の防御関連遺伝子群の発現が高いことが大きな原因であった。それにとどまらず、遺伝子発現データに基づいて、シロイヌナズナで根特異的な防御に役割を持つ細胞小器官と考えられてきた ER Body がコンロンソウの地下茎にも存在することを明らかにした。つまり、植物の組織がどのような防御を必要とする環境に置かれているかが、トランスクリプトームパターンをきめる主要因である。

波及効果: 非モデル植物について、遺伝子発現を用いた開花応答の予測モデルをはじめとする研究が可能であることを示した。特に野外の多様性研究において、今後、RNA-seq などのオミクス技術を用いた研究が増加することが予想されるが、その先鞭をつけた。また、この方法は、野生植物だけでなく、作物にも応用可能であり、こういった遺伝子発現の季節データが、今後の育種設計において重要になると考えられる。

この研究課題を通して、分子生物学によるゲノミクス技術と野外での気象モデリングをつなぐ新分野が確立された。そのコンセプトを、Springer 社より単行本の章として発表した (Kudoh & Nagano, 2013)。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 12 件</p>	<p>(掲載済みー査読有り) 計 10 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Shimizu KK, <u>Kudoh H</u> and Kobayashi MJ. (2011) Plant sexual reproduction during climate change: genome function in natura studied by ecological and evolutionary systems biology. <i>Annals of Botany</i> 108:777-787. 2. Araki KS, Kaneko S, Isagi Y and <u>Kudoh H</u>. (2011) Isolation and characterization of microsatellite loci in a clonal herb, <i>Cardamine leucantha</i> (Brassicaceae). <i>American Journal of Botany</i> .e385-e387. 3. Momokawa N, Kadono N and <u>Kudoh H</u>.(2011) Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, <i>Rotala hippuris</i>. <i>Annals of Botany</i> 108: 1299-1306. 4. Kawagoe T, Shimizu KK, Kakutani T and <u>Kudoh H</u>. (2011) Coexistence of trichome variation in a natural plant population: a combined study using ecological and candidate gene approaches. <i>PloS ONE</i> 6:e22184 5. Matsuhashi S, Sakai S and <u>Kudoh H</u>. (2012) Temperature-dependent fluctuation of stamen number in <i>Cardamine hirsuta</i> (Brassicaceae). <i>International Journal of Plant Sciences</i> 173:391-398. 6. Satake A, Kawagoe T, Sabiri Y, Chiba Y, Sakurai G and <u>Kudoh H</u>. (2013) Forecasting flowering phenology under climate warming by modelling the regulatory dynamics of flowering-time genes. <i>Nature Communications</i> 4: article number 2303. 7. <u>Kudoh H</u> and Nagano AJ. (2013) Memory of temperature in the seasonal control of flowering time: an unexplored link between meteorology and molecular biology. Pontarotti P ed. <i>Evolutionary Biology: Exobiology and Evolutionary Mechanisms</i>, Springer: 195-215. 8. <u>Kudoh H</u>, Takayama K and Kachi N.(2013) Loss of Seed Buoyancy in Hibiscus glaber on the Oceanic Bonin Islands. <i>Pacific Science</i> 67(4) 591-597. 9. Sato Y and <u>Kudoh H</u>.(2013) Relative strength of phenotypic selection on the height and number of flowering -stalks in the rosette annual Cardamine hirsuta(Brassicaceae). <i>Journal of Ecology and Environment</i> 36(3)1-8. 10. Sato Y, Kawagoe T, Sawada Y, Hirai MY, and <u>Kudoh H</u>. (2014) Frequency-dependent herbivory by a leaf beetle, Phaedon brassicae, on hairy and glabrous plants of <i>Arabidopsis halleri</i> subsp. <i>gemmaifera</i>. <i>Evolutionary Ecology</i> 28: 545-559. <p>(掲載済みー査読無し) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. Kudoh H. (2011) Studying gene function <i>in natura</i> - robust control of a flowering-time gene in natural conditions. <i>Forefronts of Research at Kyoto University, Rakuyu</i> 19: 6-7. 12. 田村実, <u>工藤洋</u>.(2013) パナナの全ゲノム解析によって単子葉植物の系統はどこまでわかったか生物の科学 遺伝 2013年9月号 67: 601-605.
<p>会議発表 計 45 件</p>	<p>主催研究発表会 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>工藤洋</u>, 三村徹郎, 日浦勉, 中川博視, 桑形恒男, 福田弘和, 長井敏, 永野惇. 第一回分子フェノロジー研究会, 北海道大学東京オフィス, 平成 25 年 9 月 6 日(金), 主催: 京都大学学術研究支援室. 2. <u>工藤洋</u> 野外植物集団の分子フェノロジー, 日浦勉 日本列島における主要樹木の機能の地理的変異, 桑形恒男 イネのアクアポリン遺伝子発現量の日々の気象変動に対する応答特性, 能年義輝 植物フェノロジー形質の化学的制御の可能性, 柿嶋聡 周囲の一斉開花の解明に向けて, 川口亮 宇空間分布解析も用いたトマト病害発生生態解明へのチャレンジ, 長井敏 メタゲノムによるプランクトンモニタリングの実践, 酒井章子 非季節性熱帯林の一斉開花が示唆すること, 福田弘和 植物工場への期待と課題, 佐々木隆太 野外環境における/CBF/DREB/遺伝子発現の季節応答, 宮崎祐子 野外操作実験とトランスクリプトーム解析による樹木の環境変化への応答解析, 第 2 回分子フェノロジー研究会, 京都大学生態学研究センター, 平成 25 年 10 月 3 日(木), 4 日(金), 主催: 京都大学学術研究支援室. <p>専門家向け 計 41 件 学会発表</p>

	<p>3. <u>工藤洋</u>. (2011) シンポジウム「適応進化を制限する機構：気候変動下での生物多様性研究への示唆」においてコメンテータとして発表の一部で当研究計画を紹介した。第 58 回日本生態学会大会，札幌コンベンションセンター，平成 23 年 3 月 8 日～12 日</p> <p>4. <u>Kudoh H.</u> (2011) Robust seasonal control of a flowering-time gene ‘in natura’. OBC8 (The 8th Okazaki Biology Conference), Okazaki, Japan, Mar, 18th -23th, 2012.</p> <p>5. <u>Kudoh H.</u> (2011) Studying gene function ‘in natura’: Robust control of a flowering-time gene in natural conditions. SMBE (Society for Molecular Biology), Kyoto, Japan, July 26th -30th, 2011.</p> <p>6. <u>Kudoh H.</u> (2011) Studying gene function ‘in natura’: Robust control of a flowering-time gene to detect seasons. Strategies of Plants against Global Environmental Change, Kurashiki, Japan, Dec, 8th -10th, 2011.</p> <p>7. <u>工藤洋</u>. (2011) 季節を測るメカニズム－植物の野外育成地における遺伝子発現解析－，生物リズム 若手研究者の集い 2011，岡山，岡山大学農学部，平成 23 年 8 月 6 日～7 日。</p> <p>8. <u>工藤洋</u>・相川慎一郎・佐竹暁子・小林正樹・清水健太郎. (2011) 季節を捉えるメカニズム：遺伝子発現の野外解析，阿蘇フロンティアサミット－植物の形作りの明日を語る－，熊本，阿蘇グランヴィリオホテル，平成 23 年 8 月 23 日～25 日。</p> <p>9. <u>工藤洋</u>・相川慎一郎・佐竹暁子・小林正樹・清水健太郎. (2011) イン・ナチュラ研究がもたらす遺伝子機能の包括的理解，日本植物学会第 75 回大会，東京，東京大学，駒場キャンパス，平成 23 年 9 月 17 日～19 日。</p> <p>10. <u>工藤洋</u>. (2011) 季節を測る分子メカニズム：植物における温度応答性開花調節，日本時間生物学会，愛知，名古屋大学，平成 23 年 11 月 24 日～25 日。</p> <p>11. <u>Kudoh H.</u> (2012) Studying gene function ‘in natura’: Robust control of a flowering-time gene in detecting seasons. 16th Evolutionary Biology Meeting at Marseilles, Marseilles, France, Sep 18th -21th, 2012.</p> <p>12. 佐藤安弘，川越哲博，<u>工藤洋</u>. (2012) 有毛型・無毛型の頻度がハクサンハタザオの被食防衛効果を変える，第 28 回個体群生態学会大会，東邦大学習志野キャンパス，平成 24 年 10 月 20 日～21 日。</p> <p>13. 辻本典顕，荒木希和子，<u>工藤洋</u>. (2012) クローナル植物集団におけるジェネットサイズの決定要因，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>14. 佐藤安弘，川越哲博，<u>工藤洋</u>. (2012) ハクサンハタザオの有毛型と無毛型に対するハムシの頻度依存餌選択，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>15. 山口正樹，<u>工藤洋</u>. (2012) 毎週発芽させたシロイヌナズナナコホートによる発芽時期－適応度カレンダーの作成，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>16. 西尾治幾，Diana Buzas，永野惇，<u>工藤洋</u>. (2012) 自然食物集団におけるヒストン修飾の季節解析に向けた、クロマチン免疫沈降法の最適化，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>17. 荒木希和子，永野惇，中野亮平，北爪達也，山口勝司，西村いくこ，重信秀治，<u>工藤洋</u>. (2012) トランスクリプトームからみた地下茎メリステムの特性－頂端・根端メリステムとの比較，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>18. 永野惇，辻本典顕，本庄三恵，荒木希和子，<u>工藤洋</u>. (2012) 安価で多検体処理が可能なゲノムワイド多型解析法(改良版 RAD-Seq)および遺伝子発現解析法(RNA-Seq)の開発と提供，第 44 回種生物シンポジウム，奥琵琶湖マキノセミナーハウス，平成 24 年 12 月 7 日～9 日。</p> <p>19. 佐竹暁子，佐分利由香里，千葉由香子，櫻井玄，川越哲博，<u>工藤洋</u>. (2013) 開花遺伝子を軸に植物システムの適応を考える，第 60 回日本生態学会大会，静岡コンベンションセンタ</p>
--	---

	<p>一、平成 25 年 3 月 5 日～9 日。</p> <p>20. 松橋彩衣子, 工藤洋, 牧雅之, Angela Hay, Miltos Tsiantis, 酒井聡樹. (2013) 外来植物ミチタネツケバナにおける複数回移入の影響: 過去から現在までの集団遺伝構造の変化から解く, 第 60 回日本生態学会大会, 静岡, 静岡コンベンションセンター, 平成 25 年 3 月 5 日～9 日.</p> <p>21. 辻本典顕, 荒木希和子, 永野惇, 工藤洋. (2013) クローナル植物集団におけるジェネットサイズ決定要因のRAD-Seqを用いた解析, 第 60 回日本生態学会大会, 静岡コンベンションセンター, 平成 25 年 3 月 5 日～9 日.</p> <p>22. Aryal B, Kudoh H (2013) Altitudinal variation in leaf wettability of <i>Arabidopsis halleri</i> subsp. <i>gemmifera</i>, 第 60 回日本生態学会大会, 静岡コンベンションセンター, 平成 25 年 3 月 5 日～9 日.</p> <p>23. 荒木希和子, 永野惇, 中野亮平, 北爪達也, 山口勝司, 西村いくこ, 重信秀治, 工藤洋. (2013) 茎化? 根か? 地下茎メリステムのトランスクリプトーム解析, 第 60 回日本生態学会大会, 静岡コンベンションセンター, 平成 25 年 3 月 5 日～9 日.</p> <p>24. 佐藤安弘, 川越哲博, 工藤洋. (2013) ハクサンハタザオの有毛型と無毛型に対する食害の頻度依存型, 第 60 回日本生態学会大会, 静岡コンベンションセンター, 平成 25 年 3 月 5 日～9 日.</p> <p>25. 荒木希和子, 永野惇, 中野亮平, 北爪達也, 山口勝也, 西村いくこ, 重信秀治, 工藤洋. (2013) トランスクリプトームからみた地下ストロン(地下茎)メリステムの特性, 第 54 回日本植物生理学会, 岡山大学, 平成 25 年 3 月 21 日～23 日.</p> <p>26. Nishio H, Nagano A, Diana B, Kudoh H. (2013) Optimization of Chromatin Immunoprecipitation for Seasonal Analysis of Histone Modifications in a Natural Plant Population., 第 54 回日本植物生理学会, 岡山大学, 平成 25 年 3 月 21 日～23 日.</p> <p>27. Kudoh H. (2013) Arabidopsis wild relatives, Cardamine, Ecogenomics, Flowering-time control, Plant ecology, Phenology in gene expression. Swiss-Kyoto Symposium. 21th-22th Nov, 2013.</p> <p>28. 荒木希和子, 永野惇, 中野亮平, 北爪達也, 山口勝也, 西村いくこ, 重信秀治, 工藤洋 (2013) トランスクリプトームからみた地下ストロン(地下茎)メリステムの特性 第 54 回日本植物生理学会, 平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>29. Kudoh H. (2013) Arabidopsis wild relatives, Cardamine, Eco genomics, Flowering-time control, Plant ecology, Phenology in gene expression. THE 2ND KYOTO-BRISTOL SYMPOSIUM, 9th-10th. 2014.</p> <p>30. Nishio H, Nagano A, Diana B, Kudoh H. (2013) Optimization of Chromatin Immunoprecipitation for Seasonal Analysis of Histone Modifications in a Natural Plant Population. 第 54 回日本植物生理学会, 平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>31. 川越哲博・佐竹暁子・工藤洋. (2013) 温暖化による植物の季節記憶の変化ー開花遺伝子の発現フェノロジーからわかることー, 第 45 回種生物学シンポジウム, 平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>32. 佐藤安弘・工藤洋. (2013) となりの餌の存在が植物の植食者に対する抵抗性を変える~メタ解析による餌選択実験の結果の統合~, 第 45 回種生物学シンポジウム, 平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>33. 辻本典顕, 荒木希和子, 永野惇, 工藤洋. (2013) クローナル植物コンロンソウの生活史・繁殖形質におけるジェネット間差の検出, 第 45 回種生物学シンポジウム, 平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>34. 曾我江里・工藤洋. (2013) オオバタネツケバナの葉形態における潮汐/溪畔集団間の遺伝的分化, 第 45 回種生物学シンポジウム平成 25 年 11 月 29 日～12 月 1 日.</p> <p>35. Kudoh H. (2013) Memory of temperature in the seasonal control of flowering time: an unexplored link between meteorology and molecular biology. International Symposium for "Biodiversity & Evolution" project of Excellent Graduate Schools, Dec, 13th-14th, 2013.</p> <p>36. Nishio H, Nagano A, Diana B, Kudoh H. (2013) Quantitative memory of temperature through histone modifications in a natural plant population. International Symposium for "Biodiversity & Evolution" project of Excellent Graduate Schools, Dec, 13th-14th. 2013.</p>
--	--

	<p>37. Sato Y and Kudoh H. (2013) Factors responsible for plant resistance to a shared herbivore: a meta-analysis of herbivore responses between choice and no-choice conditions. International Symposium for "Biodiversity & Evolution" project of Excellent Graduate Schools, Dec, 13th-14th. 2013..</p> <p>38. Soga E and Kudoh H. (2013) Genetic Differentiation of Leaf Morphology between Tidal and Stream Populations of <i>Cardamine scutata</i> [Brassicaceae]. International Symposium for "Biodiversity & Evolution" project of Excellent Graduate Schools, Dec, 13th-14th. 2013.</p> <p>39. 荒木希和子・辻本典顕・永野惇・八杉公基・本庄三恵・工藤洋. (2014) 亜高山林床に育成するクローナル植物 <i>Cardamine trifolia</i> の RAD-seq による遺伝的変異解析, 第 61 回日本生態学会大会, 平成 26 年 3 月 14 日(～18 日).</p> <p>40. Nishio H., Nagano A.J., Kudoh H., Buzas D.M., (2014) Molecular mechanism of quantitative memory in a seasonal environment, 第 61 回日本生態学会大会, 平成 26 年 3 月 14 日～18 日.</p> <p>41. Sato Y, and Kudoh H.. (2014) The presence of substitute diets alters plant resistance to a shared herbivore: a meta-analysis of herbivore responses under choice and no-choice conditions, 第 61 回日本生態学会大会, 平成 26 年 3 月 14 日～18 日.</p> <p>42. 曾我江里・工藤洋. (2014) オオバタネツケバナの潮汐/溪畔集団間の遺伝的分化, 第 61 回日本生態学会大会, 平成 26 年 3 月 14 日～18 日.</p> <p>43. 辻本典顕・荒木希和子・八杉公基・本庄三恵・永野惇・工藤洋. (2014) クローナル植物コンロンソウ集団の遺伝構造と生活史におけるジェネット間差の解析, 第 61 回日本生態学会大会, 平成 26 年 3 月 14 日～18 日.</p> <p>一般向け 計 2 件</p> <p>44. 工藤洋 (2011) 「季節を測る分子メカニズム」京都大学附置研究所・センターシンポジウム. 京都, 京都大学百周年時計台記念館大ホール, 平成 23 年 7 月 3 日.</p> <p>45. 工藤洋 (2014) 遺伝子発現の季節解析にもとづく植物気候応答の機能解明と予測技術開発 FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」, 平成 26 年 2 月 28 日～3 月 1 日, NEXT グリーン・イノベーション・ポスターセッションにおいて、投票により銅賞に表彰.</p>
<p>図書</p> <p>計 5 件</p>	<p>1. 相川慎一郎・工藤洋. (2011) 季節を測る分子メカニズム: 遺伝子機能のイン・ナチュラ研究. 種生物学会編, 「ゲノムが拓く生態学」, p89-p108, 文一総合出版.</p> <p>2. 工藤洋. (2012) 「分子生態学」「生態ゲノミクス」, 巖佐庸・倉谷茂・斉藤成也・塚谷裕一(編), 岩波, 生物学辞典 岩波書店.</p> <p>3. 工藤洋. (2012) ミチタネツケバナの分布拡大過程をたどる, 森田竜義編著, 帰化植物の自然史 - 侵略と攪乱の生態学 -, p127-p148, 北海道大学出版会.</p> <p>4. 工藤洋. (2012) 概説: 適応の複雑さを包括的に理解する, 日本生態学会編, シリーズ現代の生態学第 7 巻エコゲノミクスー遺伝子から見た適応ー, p123-p127, 共立出版.</p> <p>5. 工藤洋 (2012) 自然環境下における遺伝子発現解析, 日本生態学会編, シリーズ現代の生態学第 7 巻エコゲノミクスー遺伝子から見た適応ー, p128-p148, 共立出版.</p>
<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>1. 井戸端サイエンス工房 サイエンス・カフェ 第 21 回 『花は、いつ咲くべきか』, 開催日時: 平成 23 年 7 月 23 日(月), 会場: 京都市カフェ進々堂, 参加者 21 名, 主催: 井戸端サイエンス工房</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 2. マイアミ浜 タチスズシロソウ観察会, 開催日時:平成 24 年 5 月 13 日(日), 会場:滋賀県野洲市マイアミ浜, 参加者:20 名, 主催:野洲川でんぐうの会 3. 岩座神あおぞら教室, 開催日時:平成 24 年 7 月 29 日(日), 会場:兵庫県多可郡多可町加美区岩座神公会堂, 参加者 20 名, 主催:岩座神まちづくり協議会 4. 6 週間の記憶:植物が季節を知るしくみ, 京都大学アカデミックディ-みんなて対話する京都大学の日-, 開催日時:平成 24 年 9 月 2 日(日), 会場:京都大学百周年記念台記念館, 参加者:100 名以上, 主催:京都大学(学術研究支援室、研究国際部研究推進課) 5. 「絶滅危惧・タチスズシロソウの生態と保全について」, 開催日時:平成 25 年 1 月 19 日(土), 会場:草津市立まちづくりセンター 3 階会議室, 参加者:41 名, 主催:滋賀植物同好会 6. 琵琶湖の環境を守る(タチスズシロソウ), 展示スタート:平成 25 年 3 月 23 日, 展示場所:大津市科学館 7. 花の中のカレンダー 京都大学アカデミックディ 2013-京都大学の研究者とあなたで語り合う日, 開催日時:平成 25 年 12 月 21 日(土), 会場:京都大学百周年記念台記念館, 参加者:100 名以上, 主催:京都大学(学術研究支援室、研究国際部研究推進課、「国民との科学・技術対話」ワーキンググループ) 8. 琵琶湖岸の絶滅危惧植物タチスズシロソウ わくわくサイエンス 開催日時:平成 25 年 12 月 22 日(日), 会場:大津市生涯学習センター, 参加者:50 名以上, 主催:大津市科学館
<p>新聞・一般雑誌等掲載計 4 件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ビーチバレー聖地の「奇跡」野洲に国内最大群生地, 京都新聞(平成 24 年 1 月 12 日), 15 版, 1. 2. 絶滅危惧種“タチスズシロソウ”野洲に大群落, 読売新聞(平成 24 年 2 月 23 日), 13S, 32. 3. 復活の花 野洲・琵琶湖岸「タチスズシロソウ」GW 見ごろ, 京都新聞(平成 24 年 4 月 20 日). 4. 春の花、平均気温5度上昇で開花せず 京大などアブラナ科で予測, 京都新聞(平成 25 年 8 月 14 日).)
<p>その他</p>	<p>絶滅危惧植物「タチスズシロソウ」保全の取組み, 「笑福亭亮瓶のほっかほかラジオ」嘶の朝ごはん, KBS 京都ラジオ(平成 24 年 4 月 30 日).</p>

7. その他特記事項