

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2009～2014

課題番号：21114001

研究課題名（和文）植物の高CO₂応答を徹底解明する分野縦断コンソーシアム研究課題名（英文）Comprehensive studies of plant responses to high CO₂ world by an innovative consortium of ecologists and molecular biologists

研究代表者

寺島 一郎 (TERASHIMA, Ichiro)

東京大学・理学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：40211388

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 57,900,000円

研究成果の概要（和文）：大気CO₂濃度の急増が地球環境や食糧生産におよぼす影響を予測し、適切な対策を講ずるためには、まず、植物の高CO₂応答をよく理解しなければならない。本領域研究では、生態学・農学と分子生理学の研究者が緊密なコンソーシアムを形成し、植物高CO₂応答の徹底的解明に取り組んだ。総括班は、各種のプラットフォームの運営支援や分野間相互理解のための場を設けることを通じて学際的コンソーシアム研究を活性化した。また、分野間ギャップをものとしめない若手研究者の育成に務めた。さらに、研究成果や本課題の重要性を、研究者、大学生、高校生や市民に周知するよう努力した。

研究成果の概要（英文）：To secure crop production and keep ecosystems properly functioning in the high CO₂ era, we should examine plant responses to high CO₂. In this program, molecular biologists, crop scientists, and ecologists studied various plant CO₂ responses together through forming a tight consortium. The starting team tried to activate this consortium through supporting omics platforms, encouraging collaborations, and organizing various workshops and symposia. We organized four retreats for young scientists to expose them to interdisciplinary environment. We also tried to publicize not only the results our studies but also importance of the studies in relation to the global climate changes to a large audience including citizens, high school students, university students, as well as plant scientists.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：コンソーシアム 地球環境変化 分野縦断型

1. 研究開始当初の背景

大気CO₂濃度の上昇をはじめとする地球環境変化にともない、食糧の確保、環境の保全のために植物科学の役割が重要であるという認識が広まりつつあった。また、分子生物学の言葉が生物科学の共通語として広く通用するようになる一方で、見識ある分子生物学者は、個体のふるまいを分子生物学の言葉で理解する必要性を強く感じるようになってきていた。したがって、分子レベルから生態系レベルまでの分野縦断型のコンソーシアム研究を行う機は熟していたと言えよう。

2. 研究の目的

植物個体レベルの高CO₂応答を分子機作に基づいて深く理解するためには、個々の遺伝子の機能を詳細に追及する研究や網羅的オミックス研究だけではなく、植物個体レベルの現象を分子生理学的に解明することを目的とした、対象レベル縦断型研究を強力に推進しなければならない。本新学術領域研究では、植物の高CO₂応答およびそれに深く関係する分野において顕著な成果をあげている分子生理学者と生態学者がコンソーシアムを形成して緊密な共同研究を行い、この課題に挑戦した。総括班は、このコンソーシアムを効率的に運営することを第一の目的とする。また、分野縦断型の研究を経験することを通して、分野間の垣根にとらわれない若手研究者を育成する。

3. 研究の方法

総括班はコンソーシアムの活性を最大に保つよう努力した。具体的な方法は以下のとおりである

- ① 新学術領域ブレインストーミング：採択直後に、分子生理学者と生態学者が、各分野の最前線を把握し地平を共有するための徹底的で忌憚のない **critical review** を行った。
- ② ホームページ開設・運営：九州大学射場班にサーバーを置き、運営を支援した。
- ③ ターゲテッドオミックス、植物栽培プラットフォームの開設と支援：トランスクリプトーム、メタボローム、ホルモノームの他、自由大気CO₂増加実験 (FACE, Free Air CO₂ enrichment) や、オープントップチェンバーの維持に協力した。
- ④ ワークショップと成果発表会：オミックス解析をはじめとするさまざまな課題のワークショップを、年1回程度開いた。成果発表会を年1回開いた。

- ⑤ ニュースレターの刊行：学術領域研究の単なる広報としてではなく学問的価値のあるニュースレターの発行を目指した。
- ⑥ 大学院・研究者向け日本語単行本の刊行
- ⑦ 英文論文集の刊行
- ⑧ 成果報告書
- ⑨ アウトリーチ活動：高校生や市民を対象とした領域研究の説明会を行った。

4. 研究成果

- ① 新学術領域ブレインストーミングおよびシンポジウム：コンソーシアム結成当初だけではなく、分野の異なる研究者が議論する機会を設け、相互理解の促進に努力した。学会で積極的にシンポジウムを企画した（5業績欄参照）
- ② ホームページ開設・運営：2009年7月に開設以来、研究期間内にアクセス数が20,000回を超えた。
- ③ ターゲテッドオミックス、植物栽培プラットフォームの開設と支援：メタボロームやホルモノームを用いた多くの共同研究が生まれた。また、班員のみでなく、多くの研究者が、花田班（公募）の作成したトランスクリプトームのデータを利用した。
- ④ ワークショップと成果発表会：数理モデリング、メタボローム解析、気孔、植物生理学の今昔などのワークショップを開いた。伊東、支笏湖畔、三浦海岸、蔵王で合宿形式の若手の会を開いた。
- ⑤ ニュースレターの刊行：A4、2段組、20-30ページのニュースレターを毎年2巻作成し、HPからダウンロードできるようにした。
- ⑥ 大学院・研究者向け日本語単行本の刊行：雑誌「化学と生物」に、2013年4月からほぼ毎月領域のメンバーが計12編の総説を公表した（内容については5の業績欄参照）。
- ⑦ 英文論文集の刊行：2014年2月に、日本植物生理学会の英文誌 *Plant and Cell Physiology* の特集号を刊行した（内容については5の業績欄参照）。
- ⑧ 成果報告書：最終年度の予算を繰越した班が多かったため、最終報告書は2016年6月刊行予定である。
- ⑨ アウトリーチ活動：高校生や市民を対象とした多くの講演会を行い、領域研究や地球環境変化に関連した研究の重要性をアピールした。さらに一般向けの書籍を講談社ブルーバックスの一巻として出版すべく執筆中である（2015年5月段階）。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件、全て査読あり)

① Plant and Cell Physiology の Special focus issue “Plant Response to CO₂” として、巻頭言、総説 1 編、原著論文 12 編を刊行した。寺島一郎、柳澤修一、榊原均が編集を担当した。

Terashima I, Yanagisawa S, Sakakibara H (2014) Plant Responses to CO₂: Background and Perspectives. *Plant Cell Physiol.* 55(2):237-40. doi: 10.1093/pcp/pcu022

Negi J, Hashimoto-Sugimoto M, Kusumi K, Iba K (2014) New Approaches to the Biology of Stomatal Guard Cells. *Plant Cell Physiol* doi: 10.1093/pcp/pct145

Mori IC, Rhee J, Shibasaka M, Sasano S, Kaneko T, Horie T, Katsuhara M (2014) CO₂ Transport by PIP2 Aquaporins of Barley. *Plant Cell Physiol.* 55(2):251-7. doi: 10.1093/pcp/pcu003.

Tsutsumi K, Konno M, Miyazawa S, Miyao M (2014) Sites of Action of Elevated CO₂ on Leaf Development in Rice: Discrimination between the Effects of Elevated CO₂ and Nitrogen Deficiency. *Plant Cell Physiol.* 55(2):258-68. doi: 10.1093/pcp/pcu006

Hachiya T, Sugiura D, Kojima M, Sato S, Yanagisawa S, Sakakibara H, Terashima I, Noguchi K (2014) High CO₂ Triggers Preferential Root Growth of *Arabidopsis thaliana* Via Two Distinct Systems Under Low pH and Low N Stresses. *Plant Cell Physiol.* 55(2):269-80. doi: 10.1093/pcp/pcu001

Takatani N, Ito T, Kiba T, Mori M, Miyamoto T, Maeda S, Omata T (2014) Effects of High CO₂ on Growth and Metabolism of *Arabidopsis* Seedlings During Growth with a Constantly Limited Supply of Nitrogen. *Plant Cell Physiol.* 55(2):281-92. doi: 0.1093/pcp/pct186.

Aoyama S, Huaranca Reyes T, Guglielminetti L, Lu Y, Morita Y, Sato T, Yamaguchi J (2014) Ubiquitin Ligase ATL31 Functions in Leaf Senescence in Response to the Balance Between Atmospheric CO₂ and Nitrogen Availability in *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.* 55(2):293-305. doi: 10.1093/pcp/pcu002.

Sato S, Yanagisawa S (2014) Characterization of metabolic states of *Arabidopsis thaliana* under diverse carbon and nitrogen nutrient conditions via targeted metabolomic analysis. *Plant Cell Physiol.* 55(2):306-19. doi: 10.1093/pcp/pct192.

Kaneko K, Inomata T, Masui T, Koshu T, Umezawa Y, Itoh K, Pozueta-Romero J, Mitsui T (2014) Nucleotide Pyrophosphatase/Phosphodiesterase 1 Exerts a Negative Effect on Starch Accumulation and Growth in Rice

Seedlings under High Temperature and CO₂ Concentration Conditions. *Plant Cell Physiol.* 55(2):320-32. doi: 10.1093/pcp/pct139

Takagi D, Inoue H, Odawara M, Shimakawa G, Miyake C. (2014) The Calvin Cycle Inevitably Produces Sugar-Derived Reactive Carbonyl Methylglyoxal During Photosynthesis: A Potential Cause of Plant Diabetes. *Plant Cell Physiol.* 55(2): 333-40. doi: 10.1093/pcp/pcu007

Watanabe CK, Sato S, Yanagisawa S, Uesono Y, Terashima I, Noguchi K (2014) Effects of Elevated CO₂ on Levels of Primary Metabolites and Transcripts of Genes Encoding Respiratory Enzymes and Their Diurnal Patterns in *Arabidopsis thaliana*: Possible Relationships with Respiratory Rates. *Plant Cell Physiol.* 55(2):341-57. doi: 10.1093/pcp/pct185

Duan Z, Homma A, Kobayashi M, Nagata N, Kaneko Y, Fujiki Y, Nishida I (2014) Photoassimilation, assimilate translocation and plasmodesmal biogenesis in the source leaves of *Arabidopsis thaliana* grown under an increased atmospheric CO₂ concentration. *Plant Cell Physiol.* 55(2):358-69. doi: 10.1093/pcp/pcu004

Adachi M, Hasegawa T, Fukayama H, Tokida T, Sakai H, Matsunami T, Nakamura H, Sameshima R, Okada M (2014) Soil and Water Warming Accelerates Phenology and Down-Regulation of Leaf Photosynthesis of Rice Plants Grown Under Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) *Plant Cell Physiol.* 55(2):370-80. doi: 10.1093/pcp/pcu005.

Chen CP, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Hasegawa T (2014) Do the Rich Always Become Richer? Characterizing the Leaf Physiological Response of the High-Yielding Rice Cultivar Takanari to Free-Air CO₂ Enrichment. *Plant Cell Physiol.* 55(2):381-91. doi: 10.1093/pcp/pcu009.

② 2013 年 4 月から 2014 年 3 月にかけて、日本農芸化学会和文誌「化学と生物」に総説を連載した。彦坂幸毅と小池孝良が編集を担当した。 http://www.jsbba.or.jp/pub/journal_kasei/

伊藤昭彦, 飯尾淳弘, 羽島知洋 (2014) 地球環境変動と植物の応答 化学と生物 52: 172-178.

彦坂幸毅 (2014) 高二酸化炭素濃度に対する植物の長期的な応答 化学と生物 52: 113-120.

唐 艶鴻, 富松 元, 深山 浩 (2014) 光合成誘導反応 化学と生物 52: 106-112.

溝上祐介, 寺島一郎 (2014) 葉肉コンダクタンス 化学と生物 52: 54-58

橋本(杉本) 美海, 祢宜淳太郎, 楠見健介, 射場厚 (2013) 気孔の CO₂ 応答機構 化学と生物 51: 831-839.

三宅親弘 (2013) 植物は, なぜ糖尿病を患わないのか? 化学と生物 51: 821-830.

佐藤長緒, 山口淳二 (2013) C/N バランス調節による植物の代謝・成長戦略 化学と生物 51: 763-772.

深山 浩 (2013) 植物の高 CO₂ 応答における遺伝子発現変化 化学と生物 51: 710-716.

白井靖浩, 常田岳志, 酒井英光, 林 健太郎, 長谷川利拡 (2013) FACE 実験による水田生態系の気候変動応答研究 化学と生物 51: 628-633.

小池孝良, 渡辺 誠, 渡邊陽子, 江口則和, 高木健太郎, 佐藤冬樹, 船田 良 (2013) 高 CO₂ 環境に対する落葉樹の応答 化学と生物 51: 559-565

牧野 周 (2013) 高 CO₂ と光合成の生化学 化学と生物 51: 326-332.

彦坂 幸毅, 寺島 一郎 (2013) 植物と二酸化炭素 化学と生物 51: 250-256.

[学会発表] (計 7 件)

総括班のメンバーが中心となって学会において 7 件のシンポジウムを企画した。

① 国際シンポジウム「Responses of the photosynthetic systems to spatio-temporal variations in light environments: scaling and eco-devo approaches」(オーガナイザー: 村岡裕由・寺島一郎): 第 78 回日本植物学会大会 明治大学生田キャンパス 神奈川県川崎市 (平成 26 年 9 月 12 日-14 日)

Terashima I “The leaf photosynthetic system: its heterogeneous nature”

Kono M, Noguchi K, Terashima I “Effects of fluctuating light on regulation of the photosynthetic electron transport system”

Yamori W “Regulation of CO₂ assimilation under a fluctuating light environment”

Tomimatsu H, Tang Y “Photosynthetic response and leaf carbon gain under dynamic light“ sunfleck” in natural habitat”

Hikosaka K “Nitrogen distribution within a leaf canopy revisited”

Noda H, Muraoka H “Spatial and temporal scaling of forest canopy photosynthesis by ecophysiological remote sensing”

Niinemets Ü “Worldwide patterns in within-canopy acclimation of photosynthesis”

Evers J “3-D modelling of leaf, plant and canopy photosynthesis in a heterogeneous light Environment”

② シンポジウム「植物の三大栄養素 (N-P-K) の感知と利用の新理解」(オーガナイザー: 榊原 均、小俣 達男、柳澤 修一): 第 55 回日本植物生理学会年会 富山大学五福キャンパス 富山県富山市 (平成 26 年 3 月 18 日-20 日)

榊原均, 木羽隆敏, 信定知江「窒素栄養に応答したサイトカイニン生合成調節機構は複数存在する」

柳澤 修一, 小西美穂子, 鈴木渉「植物の硝酸応答機構研究の新展開」

早川俊彦, 山谷知行「イネ根におけるアンモニウム態窒素吸収の負の制御の新理解

小俣達男, 高谷信之, Chang Yajun, 上坂一馬, 前田真一, 井原邦夫, 木羽隆敏, 伊藤卓朗, 兼松璃々子, 愛知真木子「光合成生物の窒素過剰に対する応答の新理解」

三村徹郎, 大西美輪, 姉川彩, 栗田悠子, 岡田和哉, 益田陽平, 菅野里美, 深城英弘, 馬場啓一「植物におけるリン環境認識とリン利用の新しい視点」

岡咲洋三, 斉藤和季「リン欠乏条件下に誘導される新規の植物脂質の同定とその生理学機能の解明」

魚住信之, 浜本晋, 七谷圭「植物生存を支えるカリウム輸送」

③ シンポジウム「CO₂ 応答の生態学」(オーガナイザー: 伊藤昭彦、彦坂幸毅、コメンテーター: 寺島一郎) 日本生態学会第 61 回全国大会 広島国際会議場 広島県・広島市 (平成 26 年 3 月 14 日-18 日)

渡辺誠, 原悠子, 伊藤寛剛, 及川聞多, 毛 巧芝, 王曉娜, 渡辺陽子, 船田良, 高木健太郎, 佐藤冬樹, 小池孝良「開放系大気 CO₂ 増加

に対するカバノキ属 3 種の成長・光合成応答」

常田岳志, 酒井英光, 林健太郎, 臼井靖浩, 中村浩史, 長谷川利拡「水田生態系の高 CO₂ 応答-イネ-土壌系の炭素・窒素フローとメタン発生に着目して~」

彦坂幸毅, 上田実希, 長田典之, 小野田 雄介「CO₂ 噴出地の生態学」

伊藤昭彦, 安立美奈子, 野田響, 仁科一哉, 千田昌子, 中河嘉明, 飯尾淳弘, 羽島知洋「植物高 CO₂ 応答の広域スケール評価」

④ シンポジウム「環境変動への植物の呼吸の応答: ミクロからマクロまで縦断的な理解に向けて」(オーガナイザー: 野口 航、伊藤 昭彦): 日本植物学会第 77 回大会 北海道大学札幌キャンパス北海道・札幌市(平成 25 年 9 月 13 日-15 日)

伊藤菊一「ミトコンドリアにおけるシアン耐性呼吸酵素 (AOX) の構造と機能」

宮澤真一「アンモニア分析からわかってきた植物の窒素利用と光呼吸との関係」

飯尾淳弘「落葉広葉樹の枝呼吸の空間的なバラツキと、梢端部の葉特性との関係について」

森茂太「根を含む実生から巨木までの植物個体呼吸スケリング」

斎藤琢「群落スケールの生態系呼吸-炭素循環および熱循環の視点から-」

伊藤昭彦「地球環境研究のための植物呼吸モデルの高度化」日本植物学会第 77 回大会 北海道・札幌市(平成 25 年 9 月 13 日-15 日)

⑤ シンポジウム「植物と流れ」(オーガナイザー: 寺島一郎) 日本植物学会第 77 回大会 北海道大学札幌キャンパス 北海道・札幌市(平成 25 年 9 月 13 日-15 日)

寺島一郎「植物と流れ: Overview をかねて」

橋本(杉本)美海「H⁺-ATPase 局在化因子 PATROL1 による気孔運動と成長制御」

且原真紀「水輸送と CO₂ 輸送の分子基盤: アクアポリン」

溝上祐介「シロイヌナズナ気孔応答変異体の解析から見えてきた 気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスの制御機構」

西田生郎「原形質連絡による転流の制御」

種子田春彦「維管束による水輸送: 輸送の安全性と適応戦略」

⑥ シンポジウム「高 CO₂ な近未来環境で植物はどうなるか?—その解明のための生化学的アプローチ—」(オーガナイザー: 柳澤修一、榊原均): 日本生化学会第 84 回大会 国立京都国際会館 京都府京都市(平成 23 年 9 月 22 日-24 日)

射場厚「順遺伝学的アプローチによる気孔の CO₂ 開閉応答機構の解析」

前島正義「気孔閉口に関わる新規情報伝達タンパク質 PCaP1 の分子特性と高 CO₂ 応答」

柳澤修一「シロイヌナズナ高 CO₂ 応答のメタボローム解析」

榊原均「高 CO₂ 環境への馴化過程における植物ホルモンの役割」

野口航「高 CO₂ 条件におけるシロイヌナズナの呼吸代謝系の応答」

三宅親弘「高等植物での、糖代謝における不可避の生成物・アルドケト化合物の代謝メカニズムの全容解明に向けて~植物は、なぜ糖尿病を患わないのか?~」日本生化学会第 84 回大会 国立京都国際会館

⑦ シンポジウム「C/N バランスの研究を通して植物高 CO₂ 応答を読み解く」(オーガナイザー: 小俣達男、寺島一郎) 日本植物学会第 75 回大会 東京大学駒場キャンパス 東京都(平成 23 年 9 月 17 日-19 日)

小西美稲子、柳澤修一「高等植物の硝酸応答機構」

早川俊彦、谷合彰子「イネにおける新規タンパク質リン酸化酵素を介したアンモニウム吸収制御 と C/N バランス」

佐藤長緒、山口淳二「ユビキチンプロテアソームシステムによる C/N 応答制御-ユビキチンリガーゼ ATL31 とその標的を介した代謝調節」

木羽隆敏、榊原均「高 CO₂ 応答とサイトカイニン」

段中瑞、西田生郎「シンク／ソースの切り替えと二次原形質連絡形成」

寺島一郎「高 CO₂ 応答の理解にむけて」

〔図書〕(計 1 件)

寺島一郎 (2013) 植物の生態 — 生理機能を中心に — 裳華房 ISBN978-4-7853-5855-6

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

新学術領域

<http://plant.biology.kyushu-u.ac.jp/shinryoiki/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺島一郎 (TERASHIMA, Ichiro)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：40211388

(2) 研究分担者

射場 厚 (IBA, Koh)
九州大学・理学系研究科・教授
研究者番号：10192501

小池 孝良 (KOIKE, Takayoshi)
北海道大学・農学研究科・教授
研究者番号：10270919

柳澤修一 (YANAGISAWA, Shuichi)
東京大学・生物生産工学研究センター・
准教授
研究者番号：20222359

榑原 均 (SAKAKIBARA, Hitoshi)
独立行政法人理化学研究所・植物科学研究
センター・研究員
研究者番号：20242852

小俣達男 (OMATA, Tatsuo)
名古屋大学・生命農学研究科・教授
研究者番号：50175270

牧野 周 (MAKINO, Amane)
東北大学・農学研究科・教授
研究者番号：70181617

伊藤昭彦 (ITO, Akihiko)
独立行政法人国立環境研究所・地球環境
研究センター・主任研究員
研究者番号：70344273

廣瀬忠樹 (HIROSE, Tadaki)
東北大学・生命科学研究科・名誉教授
研究者番号：90092311

野口 航 (NOGUCHI, Ko)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：80304004