

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21114009

研究課題名(和文)植物機能の高CO₂応答のモデル構築と検証研究課題名(英文)Modeling of CO₂ response of plant functions

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 75,000,000円、(間接経費) 22,500,000円

研究成果の概要(和文)：世界各地のシロイヌナズナエコタイプを異なるCO₂濃度で育成し、エコタイプ間で成長速度のCO₂応答に大きな差があることを見出した。さらに、その違いの原因が窒素あたりの光合成の違いに由来することを明らかにした。落葉樹と常緑樹の間には成長や光合成のCO₂応答に有意な差がないことを明らかにした。イネFACE実験に参画し、イネにおける葉群動態や窒素動態は、栄養条件には強く依存するが、CO₂上昇には応答しないことを明らかにした。最適葉群動態のモデルにゲーム理論を導入し、新しい葉群動態を構築した。このモデルにより、葉面積指数などの群落構造の環境応答(CO₂上昇を含む)を定量的に説明できるようになった。

研究成果の概要(英文)：44 ecotypes of *Arabidopsis thaliana* were grown at two CO₂ levels. We found that there was a large variation in CO₂ response of growth rates among the ecotypes. The variation in photosynthetic nitrogen use efficiency was the main cause of the variation in the growth rates. 5 pairs of deciduous and evergreen woody species were grown at two CO₂ levels. We found that CO₂ responses of growth and photosynthesis were not significantly different among deciduous and evergreen plants. We studied leaf and nitrogen dynamics in rice canopy grown under the field CO₂ enrichment experiment. We found that nitrogen availability significantly affected leaf and nitrogen dynamics whereas elevated CO₂ did not. We constructed a new model of leaf dynamics in a leaf canopy introducing a game theory. The model successfully predicted environmental response of canopy structure, including CO₂ responses.

研究分野：基礎生物学

科研費の分科・細目：生態・環境

キーワード：地球環境変化 植物 CO₂上昇 モデル化

1. 研究開始当初の背景

CO₂ 上昇は、光合成速度の促進や気孔コンダクタンスの低下といった短期的応答だけでなく、光合成のダウンレギュレーションや成長促進の低下などの順化応答を引き起こす。CO₂ 上昇に対する植物の順化応答は、地球環境や生態系の変化を予測する上で重要であるが、その多様性と複雑さのため理解は進まず、地球環境変化予測シミュレーションでは事実上無視されている。

2. 研究の目的

本計画研究では、光合成・成長速度・繁殖量など生態系の環境応答を予測する上で重要な表現型パラメータと環境要因の関係を定量的に表す数理モデルを構築することを目的とする。最初はモデル植物シロイヌナズナを用いて基礎となるモデルを構築し、次に異なる機能型の種との比較研究を行い、普遍性・特異性を明らかにする。さらに、この結果を CO₂ 噴出地生態系や開放系 CO₂ 増加 (FACE) 実験などの野外実験で検証する。また、伊藤班と協力して領域全体の実験結果をとりまとめ、生態系シミュレーションに利用する植物の環境応答モデルの構築を推進する。

3. 研究の方法

- (1) 世界各地のシロイヌナズナエコタイプを異なる CO₂ 濃度で育成し、その成長を解析する。さらに、ゲノム・トランスクリプトーム・メタボロームなどのオミックス解析と組み合わせ、成長速度やその CO₂ 応答のばらつきをもたらす分子メカニズムを明らかにする。
- (2) 落葉樹と常緑樹など、特徴的な機能型間における、成長速度や光合成特性を比較する。様々な分類群に共通な違いを見出すため、複数の分類群から落葉種と常緑種のペアを作り、比較を行う。
- (3) イネ FACE 実験に参画し、イネにおける葉群動態・窒素動態を解析する。
- (4) 以上の結果を統合し、葉群成長のモデル化を行う。

4. 研究成果

- (1) 世界各地のシロイヌナズナエコタイプを異なる CO₂ 濃度で育成し、エコタイプ間で成長速度の CO₂ 応答に大きな差があることを見出した。さらに、その違いの原因が窒素あたりの光合成の違いに由来することを明らかにした。
- (2) 落葉樹と常緑樹の間には成長や光合成の CO₂ 応答に有意な差がないことを明らかにした。
- (3) イネ FACE 実験に参画し、イネにおける葉群動態や窒素動態は、栄養条件には強く依存するが、CO₂ 上昇には応答しないことを明らかにした。
- (4) 最適葉群動態のモデルにゲーム理論を導入し、新しい葉群動態を構築した。このモ

デルにより、葉面積指数などの群落構造の環境応答 (CO₂ 上昇を含む) を定量的に説明できるようになった。

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 42 件)

Kinugasa T, Suzuyama Y, Tsuchihashi N, Nachinshonhor G.U. (2014) Colonization and expansion of grassland species after abandonment of dirt roads in the Mongolian steppe. *Landscape and Ecological Engineering*, in press.

10.1007/s11355-013-0230-y 査読あり

Watari R, Nagashima H, Hirose T (2014) Stem extension and mechanical stability of *Xanthium canadense* grown in an open or in a dense stand. *Annals of Botany*, in press 査読あり

Hikosaka K (2014) Optimal nitrogen distribution within a leaf canopy under direct and diffuse light. *Plant, Cell and Environment*, in press.

10.1111/pce.12291 査読あり

Kinugasa T, Oda S. (2014) The effect of vehicle track formation on soil seed banks in grasslands with different vegetation in the Mongolian steppe. *Ecological Engineering* 67:112-118

10.1016/j.ecoleng.2014.03.078 査読あり

Iio A, Hikosaka K, Anten NPR, Nakagawa Y, Ito A (2014) Global dependence of field-observed leaf area index on climate in woody species: a systematic review. *Global Ecology and Biogeography*, 23: 274-285.

10.1111/geb.12133 査読あり

Oikawa S, Okada M, Hikosaka K (2013) Effects of elevated CO₂ on leaf area dynamics in nodulating and non-nodulating soybean stands. *Plant and Soil*, 373: 627-639.

10.1007/s11104-013-1826-6 査読あり

Hirose T, Oikawa S (2012) Mean residence time of leaf number, area, mass and nitrogen in canopy photosynthesis. *Oecologia* 169: 927-937

10.1007/s00442-012-2266-3 査読あり

Hirose T (2012) Leaf-level nitrogen use efficiency: definition and importance. *Oecologia* 169: 591-597

10.1007/s00442-011-2223-6 査読あり

Hikosaka K, Anten NPR (2012) An evolutionary game of leaf dynamics and its consequences for canopy structure. *Functional Ecology*, 26: 1024-1032.
10.1111/j.1365-2435.2012.02042.x 査読あり

Nagashima H, Hikosaka K (2012) Not only light quality but also mechanical stimuli are involved in height convergence in crowded *Chenopodium album* stand. *New Phytologist*, 195: 803-811.
10.1111/j.1469-8137.2012.04218.x 査読あり

Akita R, Kamiyama C, Hikosaka K (2012) *Polygonum sachalinense* alters the balance between capacities of regeneration and carboxylation of ribulose-1,5-bisphosphate in response to growth CO₂ increment but not the nitrogen allocation within the photosynthetic apparatus. *Physiologia Plantarum*, 146: 404-412.
10.1111/j.1399-3054.2012.01631.x 査読あり

Kinugasa T, Sato T, Oikawa S, Hirose T (2012) Demand and supply of N in seed production of soybean (*Glycine max*) at different N fertilization levels after flowering. *Journal of Plant Research* 125:275-281
10.1007/s10265-011-0439-5 査読あり

Hirose T (2011) Nitrogen use efficiency revisited. *Oecologia* 166: 863-867
10.1007/s00442-011-1942-z 査読あり

Shimazaki M, Sasaki T, Hikosaka K, Nakashizuka T (2011) Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. *Global Change Biology*, 17: 3431-3438.
10.1111/j.1365-2486.2011.02491.x 査読あり

Nakamura I, Onoda Y, Matsushima N, Yokoyama J, Kawata M, Hikosaka K (2011) Phenotypic and genetic differences in a perennial herb across a natural gradient of CO₂ concentration. *Oecologia*, 165: 809-818.
10.1007/s00442-010-1900-1 査読あり

Hikosaka K, Kinugasa T, Oikawa S, Onoda Y, Hirose T (2011) Effects of elevated CO₂ concentration on seed production in C₃ annual plants. *Journal of Experimental Botany*, 62: 1523-1530.
10.1093/jxb/erq401 査読あり

Osada N, Onoda Y, Hikosaka K (2010) Effects of atmospheric CO₂ concentration, irradiance and soil nitrogen availability on leaf photosynthetic traits on *Polygonum sachalinense* around the natural CO₂ springs in northern Japan. *Oecologia*, 164: 41-52.
10.1007/s00442-010-1635-z 査読あり

Hikosaka K (2010) Mechanisms underlying interspecific variation in photosynthetic capacity across wild plant species. *Plant Biotechnology*, 27: 223-229.
査読あり

Oikawa S, Miyagi K-M, Hikosaka K, Okada M, Matsunami T, Kokubun M, Kinugasa T, Hirose T (2010) Interactions between elevated CO₂ and N₂-fixation determine soybean yield - a test using non-nodulated mutant. *Plant and Soil*, 330: 163-172.
10.1007/s11104-009-0189-5 査読あり

② Yamori W, Noguchi K, Hikosaka K, Terashima I (2010) Phenotypic plasticity in photosynthetic temperature acclimation among crop species with different cold tolerances. *Plant Physiology*, 15: 388-399.
10.1104/pp.109.145862 査読あり

② Borjigidai A, Hikosaka K, Hirose T (2009) Carbon balance in a monospecific stand of an annual herb *Chenopodium album* at an elevated CO₂ concentration. *Plant Ecology*, 203: 33-44.
10.1007/s11258-008-9502-2 査読あり

③ Onoda Y, Hirose T, Hikosaka K (2009) Does photosynthesis adapt to CO₂-enriched environments? An experiment on plants originating from three natural CO₂ springs. *New Phytologist*, 182: 698-709.
10.1111/j.1469-8137.2009.02786.x 査読あり

[学会発表](計96件)

Kouki Hikosaka. Optimizing plant traits for maximizing plant production. JST・CREST International Symposium "Productivity Improvement of Plants: From Model to Crop Plants" Nara 10 Jan, 2014

Miki U Ueda, Kouki Hikosaka. Does elevated CO2 act as a selective agent? Results of common garden experiments using *Plantago asiatica* from CO2 spring. ESA 97th annual meeting. Portland, USA. 3 Aug 2012

Soichiro Nagano, Kana Kawamura, Motoko Chiba, Hiroshi Ozaki, Nobuharu Fujii, Kouki Hikosaka, Hideyuki Takahashi, "Strategy to isolate and characterize *Arabidopsis* mutants with optimal photosynthetic efficiency under elevated CO2 conditions" Plant Biology 2012, Austin, USA, July 20 - 24, 2012

Ueda, M., Hikosaka, K. Does *Plantago asiatica* adapt to elevated CO2 concentration? Results of a common garden competition experiment using plants from CO2 spring and the control. EAFES, Ohtsu. 20 March 2012

Hikosaka, K., Anten, N.P.R. Modelling game of leaf dynamics in a leaf canopy. EAFES, Ohtsu. 20 March 2012

Ozaki, H., Oguchi, R. and Hikosaka K. Growth and carbon balance in *Arabidopsis thaliana* ecotypes grown at two CO2 concentrations. EAFES, Ohtsu. 20 March 2012

Hikosaka K. CO2 response of seed production and nitrogen use in C3 annual species. 1st International Symposium on the nitrogen nutrition of plants. Inuyama, 2010.7.29.

〔図書〕(計1件)

彦坂幸毅・長嶋寿江 (2014) 「光に対する応答」身近な雑草の生物学 朝倉書店 pp. 42-80.

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 忠樹 (HIROSE, TADAKI)

東北大学・大学院生命科学研究科・名誉教授

研究者番号：90092311

(2) 研究分担者

彦坂 幸毅 (HIKOSAKA, KOUKI)

東北大学・大学院生命科学研究科・教授

研究者番号：10272006

衣笠 利彦 (KINUGASA, TOSHIHIKO)

鳥取大学・農学部・助教

研究者番号：80403377

(3) 連携研究者

藤井 伸治 (FUJII, NOBUHARU)

東北大学・大学院生命科学研究科・准教授

研究者番号：70272002