

“未来の生態系”天然二酸化炭素噴出地を利用した 植物の高二酸化炭素適応の研究

A study of plant adaptation to elevated CO₂
using CO₂ springs as a future ecosystem

彦坂 幸毅 (HIKOSAKA KOUKI)

東北大学・大学院生命科学研究所・教授



研究の概要

将来の地球環境変化に対する植物の進化的応答を予測するため、CO₂噴出地周辺の植物を利用した生理生態的・進化生態学的研究や、モデル植物シロイヌナズナの遺伝的変異を利用した生理生態的・分子生物学的研究を行い、高CO₂環境でどのような形質が有利なのか、どのような進化プロセスが起こるのかを解明する。

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学 生態・環境

キーワード：地球環境変化・進化・適応・将来予測

1. 研究開始当初の背景

植物はCO₂を吸収し有機物を生産する。地球環境変化が植物に及ぼす影響は様々な学問領域で重要な疑問である。これまでの研究では、現生の植物の環境応答をもとに予測を行っているが、環境変化によって進化が引き起こされ、将来の植物は現生の植物とは異なる性質をもつかもしれない。

2. 研究の目的

進化応答は世代をまたぐ時間が必要となるため、実験は容易ではない。本研究では、長期間高CO₂環境にさらされてきたと考えられる、CO₂噴出地周辺の植物の生理生態的特性や集団遺伝学的特性を解析し、高CO₂環境への適応の有無を調べることを第一の目的とした。さらに、モデル植物シロイヌナズナのエコタイプを多数収集し、高CO₂環境で育成し、どのような性質が高CO₂環境での成長や競争を有利にするのかを研究することを第二の目的とした。これらの結果から、数理モデルを構築し、将来の高CO₂環境でどのような進化応答が起こるのかを予測する。

3. 研究の方法

1) CO₂噴出地周辺の高CO₂域と低CO₂域に生育している植物を共通環境で育成し、成長や

生理などどのような性質にどのような違いがあるかを明らかにする。さらに集団遺伝学的解析を行い、分化の程度や分化が起こるしくみを探る。

2) 世界各地に分布するシロイヌナズナエコタイプを収集し、人工気象室で育成し、成長を解析する。さらに光合成や呼吸などを解析することにより、高CO₂環境による成長促進の大きさの違いの原因を探る。さらに自然界を模した競争実験を行い、高CO₂環境で勝ち残るにはどのような性質が鍵となるかを調べる。

3) 変異処理したシロイヌナズナ株から、光合成のCO₂応答に変異がある株を単離し、CO₂応答の分子基盤を探る。

4) 以上の結果をもとに、植物の高CO₂環境への適応進化をモデル化し、植物機能の将来予測を行う。

4. これまでの成果

1) CO₂噴出地周辺の植物を用いた研究

CO₂噴出地周辺の植物については、現地により自然環境下での植物に対する高CO₂影響の解析を行った。その結果、葉窒素濃度や光合成系タンパク質のバランスなど様々な特性にCO₂濃度が影響していることを明らかにし

た (Osada et al. 2010)。

3つのCO₂噴出地周辺の高CO₂域と通常CO₂域から植物を実験圃場に移植し、同一条件で育成し(共通圃場実験)、葉特性に違いがあるか否かを調べた。3つのCO₂噴出地に共通した違いはなかったが、それぞれの噴出地でいくつ葉特性に有意な違いが見られ、それぞれのCO₂噴出地で高CO₂環境に適応している可能性が示唆された (Onoda et al. 2009)。

次に山形県丹生鉱泉周辺のオオバコに焦点をあて、成長特性について共通圃場実験を行った。移植元のCO₂濃度に依存して地上部/地下部重量比や気孔コンダクタンスなどに有意な違いが見られた。さらに集団遺伝学的解析を行ったところ、高CO₂域の集団と通常CO₂域の集団の間で若干遺伝的距離が離れていることが見出され、高CO₂環境への進化が起こっていることが示唆された (Nakamura et al. 2011)。

さらに、他のCO₂噴出地周辺に生育するオオバコについても詳細な解析を行った結果、丹生鉱泉で起こっているような成長特性や葉形態の違いが存在し、遺伝的な隔離が起こりつつあることを明らかにしつつある。これらの結果は、独立した集団間で、高CO₂環境に対する進化応答に共通点があることを示唆する。これらの知見は将来のCO₂上昇に対する植物の進化的応答の予測に大きく貢献するであろう。

2) シロイヌナズナエコタイプ比較

シロイヌナズナについては、世界各地に分布する40以上のエコタイプの高CO₂応答を解析した。高CO₂は全てのエコタイプで成長を促進したが、その促進率は1.5~3.1倍とエコタイプ間で大きく異なった。この違いは葉面積あたりの成長速度の違いに由来し、おそらく光合成能力の違いを反映していると考えられる。現在は光合成測定結果を解析している途中である。

3) 変異体スクリーニング

また、シロイヌナズナについては、光合成の高CO₂応答に異常がある変異体のスクリーニングを行っている。現在10数株の候補があり、うち2株について変異部位の遺伝子マッピングを行っている。

5. 今後の計画

CO₂噴出地のオオバコについては、主要なデータをとり終えつつあり、結果をまとめて高CO₂環境に対するオオバコの適応進化についての論文を発表する予定である。

シロイヌナズナについては、エコタイプ間の成長・光合成比較の結果をまとめて論文発表を行う予定である。さらに、エコタイプ間の競争実験を行い、どのような性質が高CO₂

環境での競争に有利かを明らかにする。

変異体の解析を行うことにより、光合成のCO₂応答の変化をもたらす分子的背景を明らかにするとともに、表現型解析を行い、その適応度への影響を明らかにする。

これらの結果をまとめ、高CO₂環境への適応進化の数理モデルを構築し、将来環境への植生応答を予測する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

代表的な論文 5編

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.

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.

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.

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.

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.

ホームページ等

研究代表者のページ

<http://hostgk3.biology.tohoku.ac.jp/hikosaka/index.html>

CO₂噴出地を利用した研究紹介ページ

<http://hostgk3.biology.tohoku.ac.jp/hikosaka/CO2spring/CO2spring.html>