

クロロフィル合成から見た光合成生物の環境適応と多様化に関する研究

生態環境科学専攻 生物適応機構学講座
博士課程1年 永田 望 (指導教官: 田中 歩)

背景

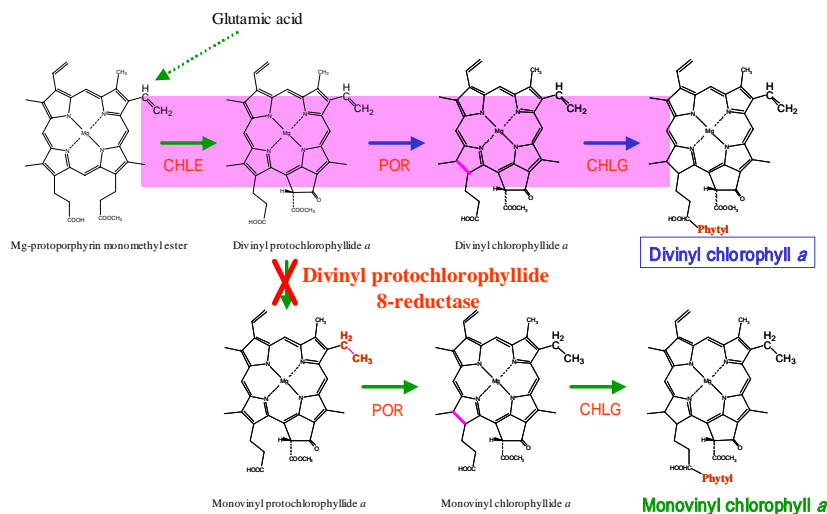
酸素発生型光合成生物は約 27 億年前に誕生し、現在の地球環境の成立に大きく関わってきた生物である。地球の7割を占める海洋で、光合成生物は光合成細菌、シアノバクテリア、原核緑藻、緑藻など多岐にわたる。そして、これらの光合成生物は、生息領域の光環境に応じて集光色素を多様に变化させ、効率の良い光合成を行っている。

海洋産のピコプランクトンである原核緑藻プロクロロコッカスは温暖な外洋域で 1mL あたり 10^4 から 10^5 cell 存在し、 CO_2 固定を担う基礎生産者として非常に重要な位置にある生物である。プロクロロコッカスは株によって生息領域を海面から水深約 135m までの多様な光環境に適応している。海中での光の波長は長波長側から減衰し、プロクロロコッカスが主に生息する水深 70m 付近では短波長側の青色の光しか到達しない。プロクロロコッカスの光合成色素はジビニルクロロフィルであり、中でもジビニルクロロフィル *b* は青色の光を利用するために適している。

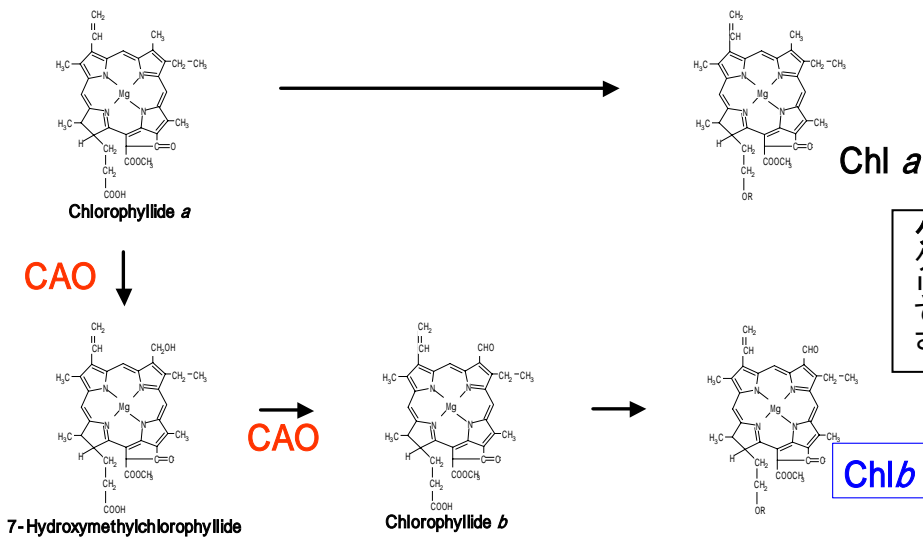
プロクロロコッカスが海洋に広く分布している理由は、青色の光を利用することのできるジビニルクロロフィル *b* を光合成色素として利用しているからであると考えられる。これは、プロクロロコッカスの水深の浅いところに適応した種のクロロフィル *a/b* 比が高く (ジビニルクロロフィル *b* が少ない) 水深の深いところに適応した種のクロロフィル *a/b* 比が低い (ジビニルクロロフィル *b* の量が多い) ことから考えられる。

プロクロロコッカス以外の生物はモノビニルクロロフィルを利用していることから、プロクロロコッカスはジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼを光環境に適応することで失ったと考えられる。しかし、この遺伝子は単離されておらず、プロクロロコッカスがこの遺伝子を失い、ジビニルクロロフィル *b* を獲得した過程は明らかにされていない。プロクロロコッカスがジビニルクロロフィル *b* を持つためには、ジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼを失い、ジビニルクロロフィル *a* を *b* へ変換するクロロフィリド *a* オキシゲナーゼが働くことが重要である。

私はジビニルクロロフィル *b* の出現に深く関わる、ジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼとクロロフィリド *a* オキシゲナーゼ (CAO) を研究することが、光合成生物の進化と地球環境の変化の歴史を知るための、重要な基礎研究となると考えている。



ジビニルクロロフィル合成経路
ジビニルクロロフィルはジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼの欠損によって出現すると考えられる



クロロフィル b 合成経路
 クロロフィル b はクロロフィリド a オキシゲナーゼによってクロロフィリド a から合成される。

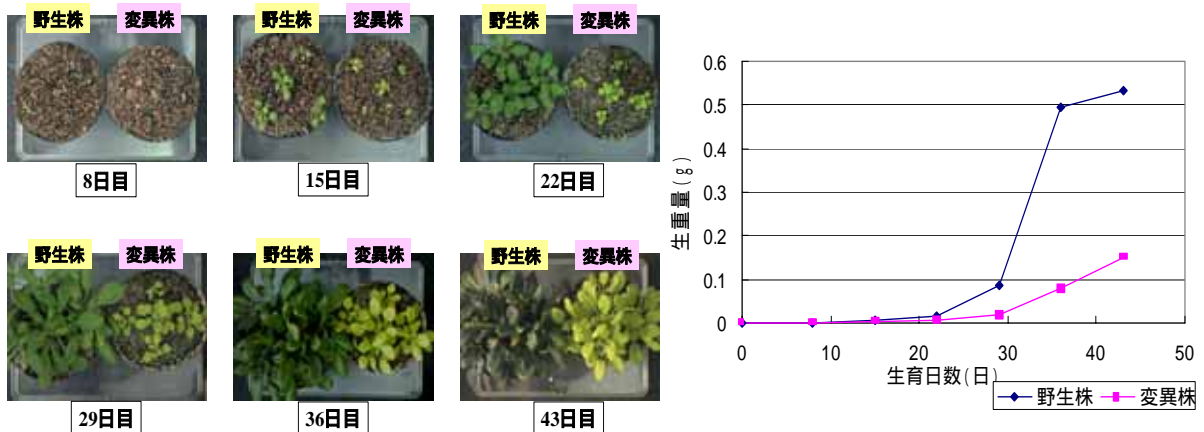
結果

<ジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼに関する研究>

ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の解析。

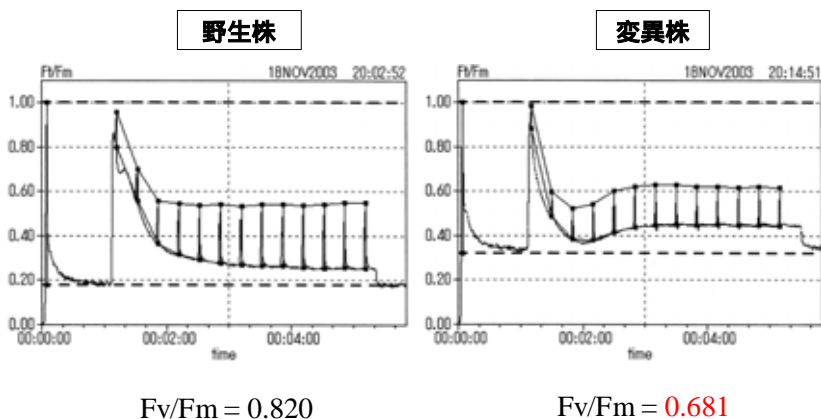
I. 成長記録

本年度 4 月に単離された、ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の成育を、モノビニルクロロフィルを利用している野生株と比較した。変異株の成長は 2 週間程度野生株よりも遅く、6 週目には生重量の差が 4 倍近くになった。



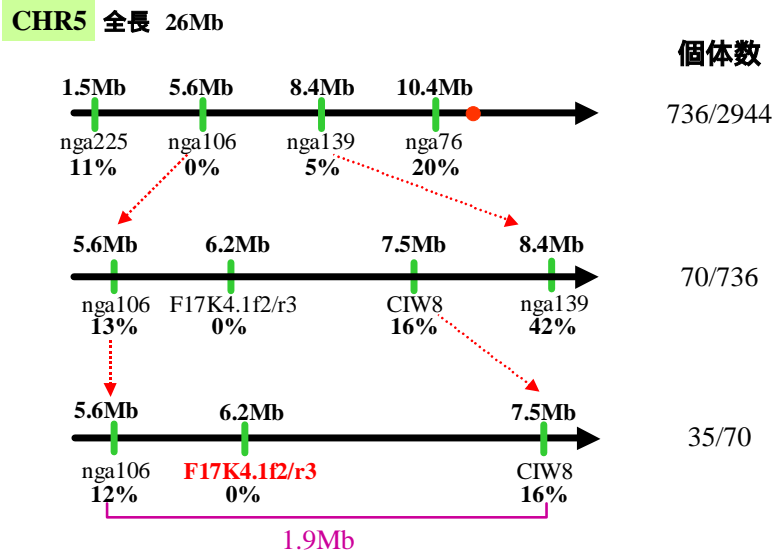
II. 光合成能力

ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の光合成能力を、野生株と比較した。変異株は Fv/Fm が野生株より低く、光合成効率が悪くなっていた。



ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の原因遺伝子の同定。

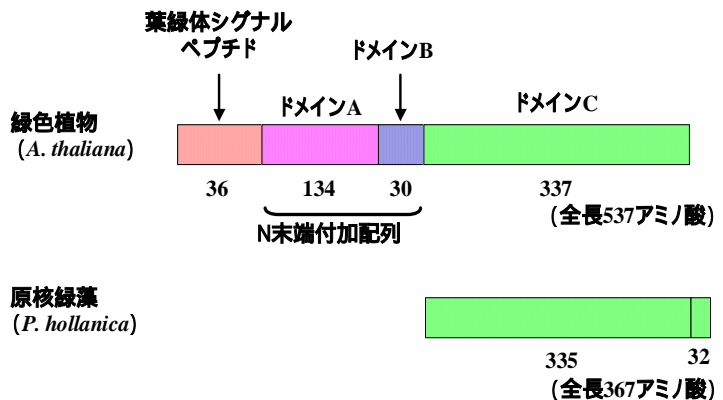
変異株の原因遺伝子はシロイヌナズナの5本ある染色体のうち5番染色体にあることが決定した。現在までのマッピングで、原因遺伝子は5番染色体のセントロメアよりも上流側にあった。また、全長26Mbのうち5.6Mbから8.4Mbの間にあることが確定している。そのなかでも、F17K4.1マーカーの組換え価から、6.2Mb付近に存在していると推測している。



<クロロフィリド a オキシゲナーゼに関する研究>

原核緑藻プロクロトリックスと緑色植物のCAOの構造。

プロクロロコッカスと同じ原核緑藻だが、モノビニル型のクロロフィルを利用するプロクロトリックスから、CAO遺伝子を単離した(2003年修士論文)。原核緑藻のCAOには緑色植物のN末端側の配列が存在しなかった。プロクロロコッカスのCAOはまだ単離されていない。ゲノムのデータベースから一部相同性のある配列は見ついているが、プロクロロコッカスの形質転換系がまだ確立していないこともあり、ジビニルクロロフィルbを合成するかは明らかになっていない。



考察と展望

<ジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼに関する研究>

ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株は成長速度が遅く、光合成の効率が悪くなっていた。しかし、野生型と比較して、変異株の生重量や種数は変わらなかった。このことは、光合成生物が進化の過程で急激な色素組成の変化が生じても、適応する能力があることを示唆している。そしてプロクロロコッカスも同様に、急激なジビニル型クロロフィルへの転換が行われた可能性が考えられる。

今後、変異株の原因遺伝子を同定し、ジビニルプロトクロロフィリド 8-レダクターゼをコードしていることを変異株への相補実験で決定する予定である。また、この遺伝子がプロクロロコッカスに存在しないことを確認し、この遺伝子を失ったことによってジビニルクロロフィルbが出現したことを証明する。

<クロロフィリド a オキシゲナーゼに関する研究>

プロクロロコッカスのクロロフィリド a オキシゲナーゼを単離し、他の生物のものと構造の比較を行う。

この研究を進めることで、プロクロロコッカスの誕生と、ジビニルクロロフィルbの獲得の過程を明らかにすることができると考えている。また、光合成生物の地球環境への適応と進化を理解する上で重要な基礎研究となると考えている。

論文

1. 著者 : N. Nagata, R. Tanaka, S. Satoh, J. Minagawa, A. Tanaka

題名 : Isolation and characterization of a gene for chlorophyllide *a* oxygenase from *Prochlorothrix hollandica*

掲載紙名 : ENDOSYMBIOSIS AND EUKARYOTIC ORGANELLES Proceedings of the 8th International Congress on Endocytobiology and Symbiosis (Endocytobiology VIII)

年月 : In press

2. 著者 : N. Nagata, S. Satoh, R. Tanaka, A. Tanaka

題名 : Domain structures of chlorophyllide *a* oxygenase of green plants and *Prochlorothrix hollandica* in relation to catalytic functions

掲載紙名 : Planta

年月 : Online First, 2004, January, 10

発表

1. 永田望、佐藤壮一郎、田中亮一、田中歩

題名 : 触媒活性に関わる緑色植物と原核緑藻プロクロトリックスのクロロフィリド *a* オキシゲナーゼのドメイン構造

学会名 : 第4回 クラミドモナスワークショップ

場所 : 北海道大学 遠友学舎

年月 : 2003年9月5日

発表形式 : ポスター発表

2. 永田望、田中亮一、田中歩

題名 : ジビニルクロロフィルを蓄積するシロイヌナズナ変異株の解析

学会名 : 2004年度 植物生理学会

場所 : 東京都立大学 教養部

年月 : 2004年3月29日

発表形式 : 口頭発表 (予定)