

下田での29年をふりかえる

横濱康繼

伊豆半島の先端に近い下田市の郊外に下田臨海実験センターは位置しているが、下田湾の支湾である小さな入江を前にした、大変恵まれた環境にある。1933年に東京文理科大学付属臨海実験所として発足し、戦後の学制改革に伴って東京教育大学理学部付属臨海実験所へ、さらに筑波大学開学後の1976年に筑波大学下田臨海実験センターへと名称が変わったが、施設も開設時以来木造だった研究棟および宿泊棟が1968年に鉄筋コンクリート建てへと改築され、さらに1979年には宿泊棟の別棟と第二研究棟が新築され、現在18,000平方メートル余の敷地に合計延面積3,000平方メートル余の諸棟が建ち、実習や研究のために利用する学生や教官の延人員は年間5,000-6,000に達している。

1965年4月に筆者は東京教育大学助手として理学部付属臨海実験所に赴任した。同大学の大学院理学研究科博士課程在学中は種子の光発芽現象について研究したが、臨海実験所への赴任を機に海藻の光合成へとテーマを大転換させた。光が信号として作用する光発芽現象を研究しながら、光エネルギーを蓄積する反応である光合成に関心を抱いていたのであるが、種子の呼吸測定のために考案した装置を海藻の光合成測定に利用することにした。

呼吸では酸素が吸収されて二酸化炭素が発生するのに対して、光合成では二酸化炭素が吸収されて酸素が発生する。考案した装置で種子の呼吸による酸素吸収の速度を測定したのであるが、海藻の光合成による酸素発生速度も簡単に測定することができる。差働式検容計の一種と言えるのであるが、現在ではプロダクトメーターと呼ばれ、高校の生物部などの活動に利用されたり、簡易型は高校の生物の教科書に登場しているほどの簡便な装置である。容積30ミリリットルほどの三角プラスチック型反応容器に5円硬貨ほどの大きさの海藻葉片を10ミリリットルほどの海水とともに入れ、底から光を照射して、葉片から発生する酸素の量を数分刻みで20分間ほど読みとると、酸素の発生速度が求まるのである。それはいわゆるみかけの光合成速度にあたるが、このような測定が簡単に行えるのは、二酸化炭素が空気中には0.03%しか存在しないのに対して海水1リットル中には90ミリグラムも存在する一方、空気中に21%存在する酸素の海水中の溶存量は無視できるほど少量であるため、反応容器内では海藻葉片の吸収する二酸化炭素のほとんどは海水中的のものであり、発生する酸素はほとんど海水に溶けず気相に放出されるからである。空気中から二酸化炭素を取り込み酸素を空気中へ放出する陸上植物の光合成を測定するには、空気中の二酸化炭素濃度を検知する高価な赤外線ガス分析装置を用いた複雑な操作が必要となるが、海藻の光合成は、プロダクトメーターという安価で簡便な装置で正確に測定できるのである。

さらに生理生態学的な研究で海藻を対象とした場合の有利な点は、海では時間的空間的に大きく変化する環境要因が光と温度だけであることである。陸上では光や温度のほか降雨量や土壌の質など多くの要因を考慮しなければならないが、きわめて均質な海水にとりまかれて体の下端を岩礁に

附着させて生活する海藻の生育を左右する環境要因としては、ほとんどの場合、光と温度だけに注目していればよいのである。

下田に赴任した直後、筆者はまず温度のほうに注目することにした。海藻は緑藻・褐藻・紅藻に大別されるが、各群から数種づつを選び、光合成速度および呼吸速度と温度との関係について実験を行なったのであるが、下田という同一地点に生育していてもかならずしもすべての種の光合成最適温度が一致するというわけではなく、同一種でも光合成の最適温度が季節的にかなり変化し、また一般に光合成最適温度は生育現場の海水温より5-10°Cほど高いことなどが明らかとなった。今から30年ほど前の当時、海藻の光合成に関するこのような基礎的研究もまだ目新しかったのである。

光と温度という2つの環境要因のうちまず後者に注目したのは、温度のほうをより重要な要因とみなしたためではなく、海藻の光合成を測定する場合に温度のほうを制御しやすいと考えたからである。海の場合、太陽光は海水中を透過すると赤色成分をより急速に減じ、青緑色になってゆく傾向があるために、光を測定する最も手軽な計器である照度計は海中光を測定するには適さず、せめてエネルギーの単位で、さらに理想的には光量子の単位で光の強度を測定できる計器が必要なのであるが、助手に就任したばかりの私にとって、高価な計器を購入することなど全く不可能であり、光合成測定の場合に海中の光条件を再現することが無理だったのである。

しかしやがていろいろの算段によって、光エネルギーの計測器、多彩な海藻の色彩の解析が可能な自記分光光度計、さらには海中光のスペクトル分布まで解析できる分光光量子計などという、かなり高価な計器が購入され、光要因についての実験も可能となった。私にとって最も画期的な成果は、緑藻のうちの深所に生育する種のほとんどが緑色光を捕獲する光合成色素を保有しているという事実を見出したことである。その色素はシホナキサンチンというカロテノイドで、従来は緑藻のあるグループの指標的物質とみなされていたのである。この成果が発表された1977年より以前は、緑藻は本来浅所に分布するものとされ、実際には深所にも多くの緑藻が分布しているにもかかわらず、それらは例外的存在として、教科書などでも無視されていた。深所性の緑藻が深所に卓越する緑色光を捕獲する光合成色素を保有するために深所で生育できるのであるという解釈が成り立って、それまでそれこそひかげ者扱いであった深所性緑藻はようやく認知されたというわけである。

深所に卓越する緑色光を捕獲する光合成色素シホナキサンチンを保有する型の緑藻を深所型緑藻と呼び、この色素を保有しない型の緑藻を浅所型緑藻と呼ぶべく筆者は提唱したが、文部省の指導要領改定に伴って今年発刊された高校生物の教科書にも、これらの用語が登場することになったようである。

浅所型緑藻は緑藻中で最もよく知られているアオサやアオノリの類で、陸上植物の葉と同様に鮮緑色を呈している。一方深所型緑藻は、本来黄色のシホナキサンチンが生体内では赤色に近い状態で存在しているため、褐色がかかった暗緑色を呈している。驚くべきことに、この色彩は日本の伝統色中に存在し、海松色(みるいろ)と名づけられている。まさに緑藻のミルは世界で初めてシホナキサンチンが抽出された材料だったのであり、昔の日本人は陸上植物のみどりとは異なった深所型緑

藻の謎めいた色彩に注目していたのである。しかし皮肉なことに、ミルの仲間のほとんどは深所性なのに、ミルという種そのものは浅所の陽地に典型的な浅所型緑藻アナオサなどと並んで生えていたりする。もっともミルが人の目に触れない深所にだけ生えていたら、昔の日本人の目にもとまらず、海松色という伝統色名も生まれず、またヨーロッパの研究者による色素分析の対象にもならなかったであろう。

深所型緑藻はほとんどが深所か、浅所なら陰地に生えているのに、ミルは例外的に浅所の陽地に生えるために、その変わった色彩が人の目にとまったのであるが、ミルは筆者の論文の中では例外として困った存在となり、考察で大変苦勞させられた。しかしこの例外が実はある大きな事実の氷山の一角であったことが、後にわかった。

古くから存在の知られていたシホナキサンチンというカロテノイドが緑色光を捕獲する光合成色素であるとわかったのが1970年代というごく最近になってからのことであることを筆者自身不思議に思うのだが、それはこの色素の吸収帯が溶媒中と生体内とで大幅に異なっているせいだったと言えそうである。筆者にとって幸いだったのは、高嶺の花だった自記分光光度計にダブルビームという新方式が採用され、1970年頃に廉価で発売されるようになったことである。それまで全国のどの大学の付属でも教官数が最大3名程度という臨海実験所では、自記分光光度計などという高価な装置を保有することは不可能だったのであるが、生物学の研究のフロンティアである臨海実験所に設置された自記分光光度計はその威力を十二分に発揮したのである。

光合成植物である緑藻にとって、沿岸部での生育限界深度は、光が限定要因となって、清澄な水域でも20-40メートルほどである。下田の海中の水深10-20メートルあたりまで潜水して採集したヤブレグサという不思議な色をした緑藻に対する興味から深所型緑藻の緑色光捕獲機能の発見へと仕事が発展したのであるが、この仕事はまた筆者の関心を地球規模の環境問題へ向けさせることになった。

光合成を営む植物は35億年前の海中での生命誕生直後に出現したが、緑藻は約10億年前には出現していたらしい。ところが6億年前頃までは致死量の紫外線が水深5-10メートルあたりまで到達していたと言われているので、緑藻は出現後少なくとも4億年間は深所にのみ生育し、当然深所型であったと考えられる。6億年前以降に浅所での生物の生活が可能になってから、鮮緑色の浅所型緑藻が海松色の深所型緑藻の子孫として出現したものと言える。さらに4億年前頃に生物は陸上へ進出したのであるが、緑色の葉を持つ陸上植物の先祖が浅所型緑藻であったことは、現生の緑藻と陸上植物の葉とで色素組成を比較すれば歴然となる。

植物はみどりという常識は海中では通用しない。緑藻・褐藻・紅藻という海藻の三群を表わす言葉からも納得できるが、各群内の種間にはさらに、多様な色彩の変異が見られるのである。多彩な海藻が繁茂する海中から陸上に眼を転ざると、陸上植物の葉がすべて緑色であることがかえって不思議に思えてしまうが、その不思議の解明が筆者の仕事になっていたのである。

多彩な海藻のうちなぜ鮮緑色の浅所型緑藻だけが上陸して陸上を覆うほどに進化できたのかという謎は残されているが、陸上植物の葉がなぜ緑一色なのかという謎の一部は解けたことになる。こ

の謎解きを通じて、筆者は地球の大気の歴史を学ぶことになったが、生命誕生前の地球大気中には分子状酸素は存在せず、数気圧の二酸化炭素が存在していたこと、そして海中の藻類の光合成による分子状酸素の生成とそれに伴うオゾンの発生の進行が生物の深所から浅所へそして陸上への進出を可能にしたことなどを知った。またはじめ数気圧も存在していた二酸化炭素が海中の微細藻を含む植物の光合成と生物的炭酸カルシウム生成で大気の0.03%を占めるだけに減少したのである。石油や石炭などの化石燃料を使用して二酸化炭素を放出するという私達の行為は、フロンによるオゾン層の破壊とともに、地球の大気の歴史を一挙に何億年分も逆行させかねないものと言えるが、何十億年にもわたって生物により変えられてきた地球大気がいまヒトという生物によってさらに変えられつつあるのだとも理解され、その結果ヒトという種が絶滅したとしても、それも地球の歴史のひとつまでであると、筆者のような基礎生物学者は考えることができる。そのような議論は不毛だと評する人も居るが、現状を一旦冷徹な眼で客観的に眺め、将来を予測することは、予測される破局を回避するためにも不可欠なことであろう。

29年もの間ほとんど海と海藻だけを相手の幸せな生活を送ってしまったが、最後の頃になって社会との接点が見えてきた。せめて環境問題で警鐘を鳴らすという形で社会に貢献できればと願うこの頃である。