

ノリの色彩いろいろ I

ノリ養殖との出会いと「色落ちノリ」

南信州の山里に生まれ育った私が初めてノリ養殖の現場に出てノリと出会ったのは1960年秋で、三河湾のノリ漁場であった。当時、愛知県宝飯郡御津町の海苔問屋「丸上」の社長の依頼を受けてノリ漁場の環境調査をアルバイトで引受けていた東京教育大学の大学院生であった横濱康繼さんの手伝いとして、ノリ養殖漁期に何度か三河湾のノリ養殖場を訪れて水温調査などを行なった。これがその後のノリ養殖との長い付き合いの始まりであった。この時に船を出して漁場をまわってくれたのが長木一さん(後に全国海苔貝類漁業協同組合連合会の会長を務めた)で、6年後に東京水産大学の故三浦昭雄先生と学生を連れて三河湾のノリ養殖現場を見学するため訪れた下佐脇漁業協同組合で奇しくもばったり出会い、長木さんも私も大変びっくりしたのであった。

私が東京水産大学に赴任したのは1966年で、最初はノリの生理学ということで養殖ノリの生長の基礎である光合成活性の研究に着手し、神奈川県水産試験場金沢分場のお世話になったが、後に色落ちノリの研究も行うことになった。



写真1 松島湾で養殖されたアサクサノリの健全な葉状体(右)と色落ち葉状体(左)。

典型的な色落ちは、宮城県松島湾で養殖されているアサクサノリで水温が著しく低下する1~2月に見られるということで、松島湾で色落ちしたアサクサノリを採集し、その色と色彩の基になるクロロフィル α やフィコビルン(フィコエリスリンとフィコシアニン)などの光合成色素を調べた。色落ちし始めたノリは緑色ないし黄色みを帯びてくるが、著しく

色落ちしたノリ葉状体はノリとは思えないほど退色して白っぽくなり、極端な場合には新聞紙の上に広げると下の新聞の文字が透けて読めるほどであった(写真 1)。光合成色素含量を測定すると共に、エンドオン型の自記分光光度計を用いて生の葉状体の可視部の吸光度を連続記録し、得られた吸光曲線を比較した。

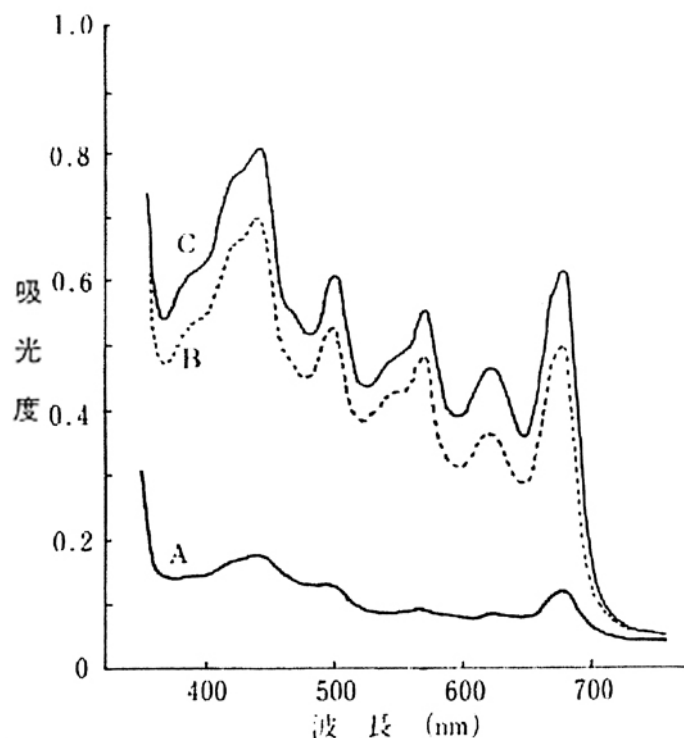


図1 色落ちノリ(A)と健全なノリ(B, C)の生の葉状体の可視部吸光曲線の比較。吸光度が高いほど色素含量が多い。(有賀 1974)

ノリ葉状体から色素を抽出して定量した場合は勿論、分光光度計による吸光曲線でも、色落ちノリは光合成色素含量が著しく低下していることが分った(図 1)。色落ちしてもノリは伸びると言われ、細胞分裂は進行していることが推測された。すなわち、細胞分裂は行われるが、光合成色素の合成が抑制または阻害される(葉状体の単位面積または単位重量当たりの色素含量が低下する)ために、ノリ葉状体の色が薄くなっていくものと考えられる。このような退色現象は生理学的にはブリーチング(白化または黄化)と呼ばれる現象の一つであるが、その原因は、色素合成が細胞分裂に追いついていけないことによるものであろう。であるとすれば、色素合成を制限しているのは何かということになる。直接的には、色素合成に必要な栄養塩の吸収が十分に行われていないことがまず考えられる—海水中の栄養塩濃度が低下しているか、ノリの栄養塩

吸収速度が低温のために低下しているかのどちらかであろう。当時は、日射が強すぎるために色素が減少して色落ちになると考える人が多く、色落ち対策としてノリ網をある深度まで沈めたりノリ網の上に遮光ネットなどを張って日射を制限することが試験的に行われていたが、実質的な効果は上がらなかったようである。色落ちはブリーチング現象であるから、確かに強光が原因である可能性は無きにしも非ずであるが、私はもっと単純に栄養塩不足または低温による栄養塩吸収速度の低下が主な原因ではないかと考えた。

色落ちノリの移植試験と栄養塩添加培養実験

松島湾から色落ちしたアサクサノリの着生する網や、京都府のノリ漁場(日本海)から色落ちしたスサビノリの着生する網を東京に運び、栄養塩豊富な東京湾のノリ養殖場に移植して、色調の回復の経過を観察した。また、色落ちしたノリ葉状体を実験室内で栄養塩を添加した海水あるいは栄養塩を添加しない海水で培養し、色調の回復と光合成色素含量の変化を調べたりした。

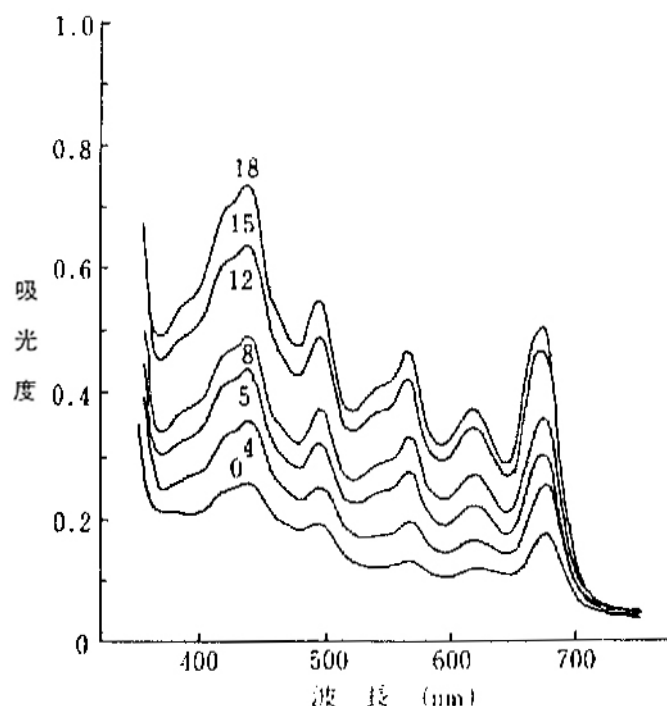


図 2 色落ちノリを富栄養漁場へ移植した時の色調の回復経過を生の葉状体の可視部吸光曲線の変化で示す。曲線上の数字は移植後の日数。(有賀 1974)

ノリ網の移植試験では、移植後1~2日は顕著な変化は見られなかったが、その後の

1週間には色調の急速な回復が見られ、さらにその後の1週間では回復速度は遅いものの色調は徐々に確実に回復し、移植後2週間ほどが経過すると色落ちしていないノリと変わりないくらいにまで色調が回復した(図2、図3-左)。また、室内培養実験では、栄養塩添加海水で培養したノリの色調はほぼ直線的に急速に回復したが、栄養塩無添加海水で培養したノリは色調の回復は認められず、むしろ色落ちの更なる進行が見られた(図3-右)。野外試験と室内実験のいずれでも栄養塩が利用できればノリの色調は正常なノリと変わらない程度まで回復するが、著しく色落ちしたノリ葉状体は色調が回復してもごわごわの硬いノリになってしまうことが明らかになった。こうしたことから、色落ちが著しく進行する前に何らかの形で栄養塩が利用できるように対策を講じることが肝要であると考えられる。

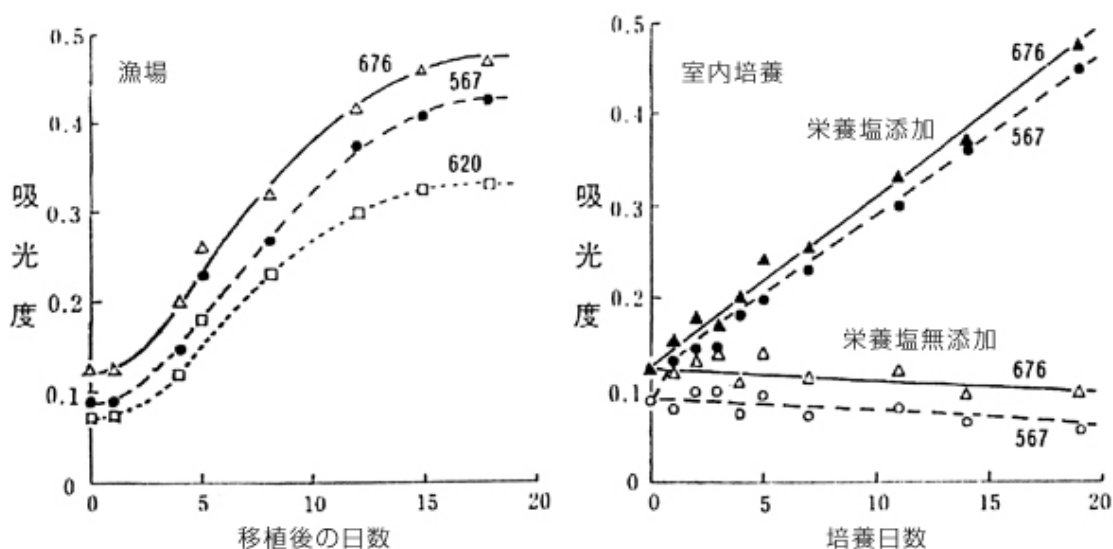


図3 色落ちノリを富栄養漁場へ移植した時(左)、および栄養塩添加または無添加の濾過海水で培養した時(右)の生の葉状体の吸光度(色素含量)の変化。クロロフィル α (676)、フィコエリスリン(567)、フィコシアニン(620)の増加または減少を示す。(有賀 1974)

以上のような経過から、ノリの色落ちは光合成色素含量の減少によるものであることが明らかになったので、光合成色素の形成に関わると考えられる元素(窒素、リン、鉄、マンガン)について室内培養実験で検討を行なった。その結果、いずれの元素も色落ちに関係しているが、最も大きな影響を及ぼしているのは窒素とリンで、特に窒素欠乏の影響は最も大きく、鉄やマンガンの影響は軽微または殆んどなかった(写真2)。これ

らの元素すべてを欠く培養液中での培養では典型的な色落ちが生じたが、窒素とリンを欠く培養液中でもほぼ同じ程度の色落ちが認められた。従って、窒素やリンの欠乏が色落ちの主要な要因であると結論づけることができる。また、アンモニア態窒素と硝酸態窒素を用いた比較培養実験では、アンモニア態窒素の方が色落ち回復には速効性があることが明らかになった。

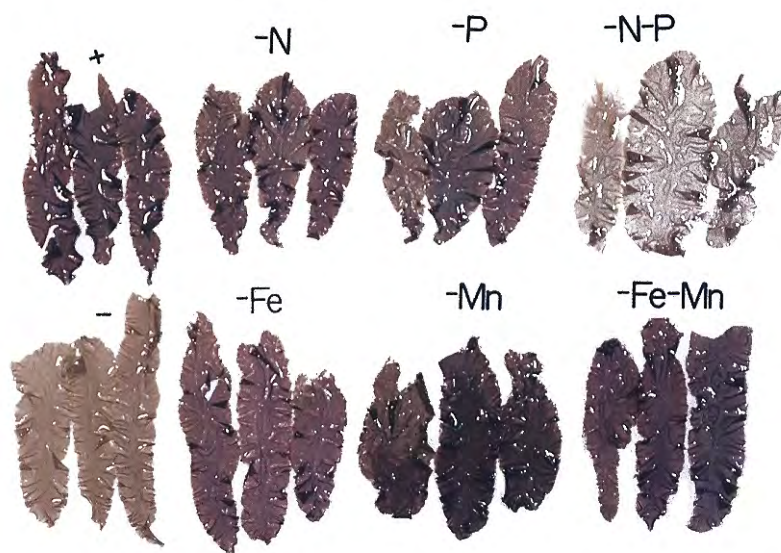


写真 2 色落ちしたスサビノリ葉状体を栄養塩強化海水 (N, P, Mn, Fe を添加または無添加) で 7 日間室内培養した時の色調の比較。+は添加、-は無添加。(cf. 岩本ほか 1972)

なお、色落ちしたノリ葉状体の顕微鏡観察により、細胞内の色素体はやせ細っており、微細構造を見るとでんぷん粒が沢山見られ、葉緑体のラメラ構造が不明瞭になっていることが明らかになっている(写真 3)。このような葉状体を栄養塩添加海水で培養すると、色調の回復に伴ってでんぷん粒が徐々に見えなくなり微細構造も徐々に明瞭になってくることが明らかになった。こうしたことを上述の栄養塩添加による色調の回復(色素含量の回復)と併せて考えると、ノリの色落ちは、色落ち後も残っている光合成色素によって光合成が行われて炭水化物合成はある程度進み細胞分裂も行われるが、栄養塩不足のため光合成色素合成が著しく低下し、蛋白質合成が進まないような状態であると考えられる。

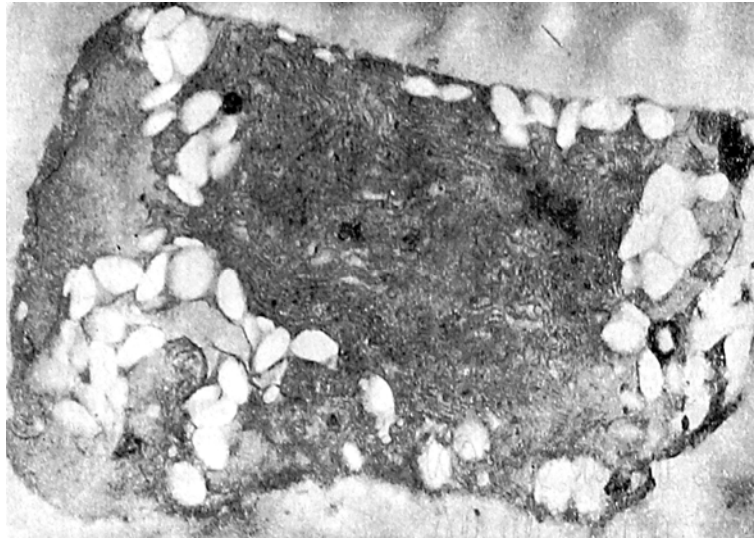


写真3 色落ちしたスサビノリ葉状体の細胞の電子顕微鏡写真。(岩本ほか 1972)

乾海苔を焼くと緑色になるのは

乾海苔(ほしのり)は黒い色をしているが、これを焼いた焼海苔(やきのり)は緑色である。漁場で育てられたノリには光合成色素として緑色のクロロフィル α 、赤色のフィコエリスリン、青色のフィコシアニンとアロフィコシアニンが含まれており、このノリが細かく刻まれて細胞が何層かに重なった形で成形・乾燥されたものが乾海苔であり、アロフィコシアニンは他の色素に比べて少ないが緑と赤と青の色素が多量に含まれているため可視部のいろんな波長の光を全波長域にわたって吸収するので、そのため乾海苔は黒く見えるのである。色素含量が多いほど深い黒味を帯びることになる。この乾海苔を焼くと、高熱によって赤色のフィコエリスリンと青色のフィコシアニンが変性(分解)し緑色のクロロフィル α だけが残るので、焼海苔は緑色になるのである(図4)。古い水産化学の教科書などに「海苔を焼くと、熱によって赤いフィコエリスリンが青いフィコシアニンに変わるので、クロロフィルの緑にフィコシアニンの青が加わって鮮やかな緑色になる」と書かれたものがあるが、これは間違いで、熱によってフィコエリスリンがフィコシアニンに変わることはない。

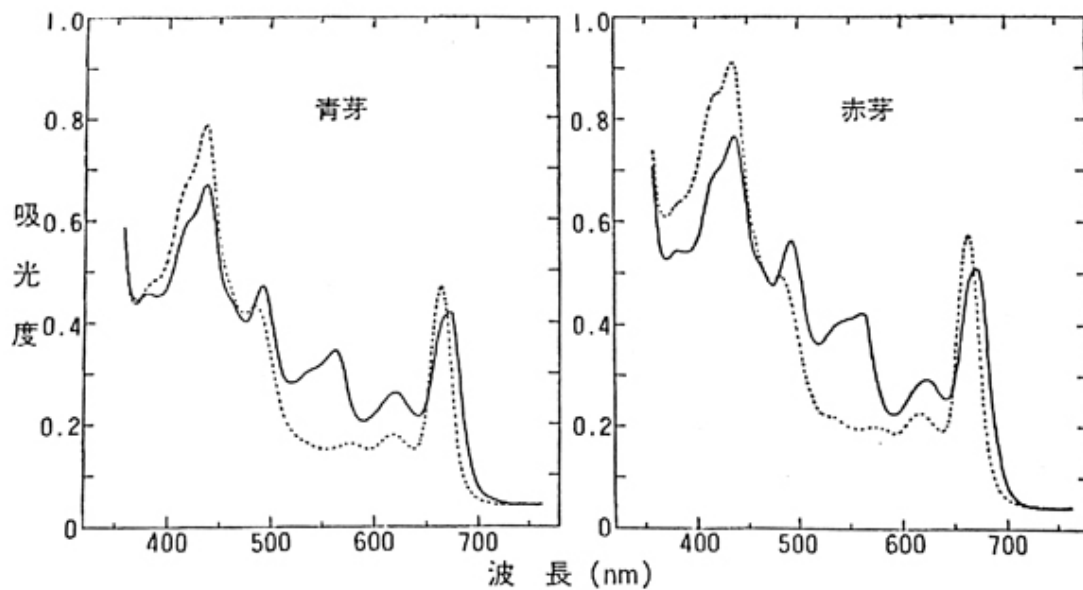


図 4 フィルム状の乾燥ノリ葉状体の可視部吸光曲線。焼く前(実線)と焼いた後(点線)の比較。野生型(青芽)のノリでも赤色型(赤芽)のノリでも、フィコエリスリンとフィコシアニンによる吸収帯の吸光度(左から3番目と4番目の吸収の山)が焼いた後では顕著に低下している。(有賀 1974)

また、乾海苔が湿気ると赤みを帯びてくる(赤紫色になる)が、これは空気中の水分によって緑色のクロロフィル α は分解されるものの赤色のフィコエリスリンと青色のフィコシアニンが分解されないで残っているからである。当然のことであるが、緑色のクロロフィル α は残っていないのだから、このようになった海苔を焼いても緑色にはならない。

上述したような生ノリや乾海苔の色調の変化は色素含量の変化に基づくものであるが、色素を定量分析しなくてもエンドオン型の自記分光光度計で可視部吸光曲線を記録し、得られた吸光曲線を比較することにより、容易に確かめることができる。(突然変異に基づく遺伝的性質の「赤いノリ」(赤色型)や「緑のノリ」(緑色型)については、次回執筆の「ノリの色彩いろいろII」で紹介する予定である。)

有賀 祐勝(あるが・ゆうしょう)

一般財団法人海苔増殖振興会理事、浅海増殖研究中央協議会会長、公益財団法人自然保護助成基金理事長、東京水産大学名誉教授、理学博士