



岡市友利先生の赤潮研究—私の想い

九州大学 名誉教授 香川大学 客員教授
本 城 凡 夫

私は瀬戸内圏研究センターの特任教授として 11 年間、香川大学に在籍しました。センター職を辞する前、岡市先生とふたりで食事をしました。その折に、奥様の病状の進行を心配なさる気弱さが漏れて心配でしたが、先生の声にはとても張りがありました。それから6年ほどを経過した今年の 10 月に御逝去の知らせを香川大学からいただき、誠に寂しい限りです。ここに、岡市友利先生のご冥福をお祈り申し上げます。

岡市先生の研究は多岐にわたり、沢山の論文と総説を書かれておりますので、とても全てを網羅することはできません。私に強い想いが残っている先生の赤潮研究とそれに関わる余話に絞らせていただくこととお断りして、先生の足跡を偲ばせていただきたいと思います。

岡市先生の職歴は東京大学農学部橋本芳郎先生の研究室助手に始まっています。助手の後半期に、岡市先生は「1962 年から 64 年にかけて発生した相模湖の淡水赤潮 (*Peridinium polonicum*) 有毒成分の化学的研究」に携わっておられ、これはわが国で赤潮の毒成分を扱った最初の研究論文であると先生自身が記されています。1964 年、香川大学農学部助教授として赴任されたその翌年の夏、長崎県大村湾に大規模な *Karenia mikimotoi* 赤潮が発生して主要水産物であるアカガイ他に当時で数億円という大被害が生じました。早速、日本水産資源保護協会は 1966 年に水産庁の協力の下、官公庁の研究者に呼び掛けて全国的な研究協議会を開催し、国は研究班を組織して速やかに研究にあたるべきとの勧告を出しました。新しい赤潮研究班の研究リーダーは九州大学花岡 資先生で、長崎大学入江春彦先生と飯塚昭二先生、三重大学上野福三先生、広島大学岩崎英雄先生に加えて、岡市先生は最も若い研究者としてこの班に参画されています。ここから岡市先生の赤潮に関する本格的な研究が開始されたと言って良いでしょう。

この班の研究が進捗し始めた頃、先生方から九州大学は大学院を有しているにも関わらず、研究に携わっていないのはおかしいという発言があったと、花岡研究室の当時助手をなさっていた松浦修平先生から聞いたことを思い出します。困られた花岡先生は放射性同位元素 ^{14}C を使って珪藻類の光合成研究を既に修士論文にまとめ終わっていた私に白羽の矢をたてられました。数年後、花岡先生のカバン持ちとして会議の末席に座し、成果の発表を興味深く聞いていましたところ、岩崎先生と岡市先生との間で増殖制限因子がビタミン B_{12} か B_1 かで熱い議論が交わされ始めて、仰天したことを思い出します。岡市先生の強烈な印象が私に刻まれた時でした。赤潮研究班の先生方達は限られた技術と労力で、研究の遅れを気にかけながら懸命に赤潮発生機構を探求されていた時期であったと思います。

特筆すべきことはこの研究組織の成果を取りまとめた「内湾の赤潮発生機構(1972 年)」の中で、岡市先生は「瀬戸内海ではし尿投棄が中止され、富栄養化を促進する各種の廃水を規制することが赤潮防止の第一歩で、社会全般の赤潮に対する理解と赤潮防止のための熱意によってはじめて防止方策が生まれると思われる」と述べておられ、同時に富栄養度指数も提示されるなど、瀬戸内海の富栄養化を押しとどめる必要性を強調されていることです。その後、窒素・リンの排水規制法が施行されて、これらの栄養元素濃度が減少し、少なくとも大規模な *Chattonella* 属赤潮の発生件数は減少し、被害の低減につながりました。また、トルコで開催されたエメックス国際会議に岡市先生が参加される際に、貝類養殖に被害を与える

Heterocapsa 赤潮の情報を世界に紹介したい旨の要望があり、水産研究教育機構の松山幸彦博士とで発表の準備のお手伝いをさせていただいたこともありました。

先生は相模湖の淡水赤潮研究を振り返って、研究には組織体制の構築が必要であることを痛感したと書かれています。新たに始まった先述の赤潮班の研究プロジェクトが終わった時にも、1969 年代までは環境の分析技術が未熟で、赤潮発生に関する化学的要因を明らかにすることが困難であったことに加えて、赤潮鞭毛藻の種の同定と分離・培養があまり行われず、赤潮生物の生理・生態学的研究に欠ける点が多かったと研究の苦労を回顧されています。先生が個々に行われている研究成果を集大成しようと思われたのはこのような苦労を礎に始まっているのではないかと思います。先生は日本の赤潮研究者が分担執筆した「赤潮の科学(初版、第二版)」を編纂されました。執筆・出版にあたり編集委員会が開催され、「赤潮の科学」という本の題名は委員会では決まらず、委員会後の懇親会で決まったことを憶えています。また、私は外国留学のために参加できませんでしたが、先生は 1987 年に『国際赤潮シンポジウム』を高松市で主催され、プロシーディングを発刊されました。

1980 年代中期でしたでしょうか、岡市先生と門谷先生はセファデックスを駆使して海水や泥間隙水中の鉄の物理・化学的性状を研究されていました。また、大分県佐伯湾におけるパルプ排水に含まれる有機物が鉄をキレートする力を有することも報告されています。岡市先生は *Chattonella* 細胞表面のグリコカリックスの存在と鉄取り込みに強い関心を持たれていましたので、先生との会話から思い出すことを以下に書かせていただきます。

可溶鉄から変化して間もない若いコロイド鉄を *Chattonella* が利用できる可能性があったので、東海区水産研究所荒崎庁舎の横手元義さんに相談したところ、魚の腸の表面の微絨毛にはグリコカリックスがあり、この存在を確かめるのにコロイド鉄法がある。もし、*Chattonella* 細胞表面にグリコカリックスが存在するならば、魚の微絨毛のように細胞から供給された物質が鉄を溶かして、利用できるのではという仮説に始まり、数年後に私たちは *Chattonella* と *Heterosigma* のグリコカリックスに関する論文を発表しました。丁度その頃、「赤潮の科学」で鉄の細胞内摂取機構の執筆担当者であった米国ウッズホール海洋研究所に留学中の門谷 茂先生から要望があり、グリコカリックスの情報を送りました。また、横手元義さんは淡水区水産研究所時代に「コイのセコケ病は糖尿病」であるという内容の、後に水産学会奨励賞に繋がる博士論文を完遂するために東京大学農学部日比谷 京先生の研究室に内地留学されており、岡市先生もまた橋本研究室で「コイのセコケ病の発生とビタミン E の予防効果」を研究されていました。この間にお二人には接点があったようで、私が横手さんと共著でグリコカリックスの論文を発表したことで岡市先生には特別な興味と懐かしさを持っていただけたようです。私は 1) *Chattonella* 細胞の入った培地の中に、予め培地と混合した薄いアルシアン青液を加えて息を吹きかけ、染色液が細胞に接触したと同時に細胞表面が鮮明に青く染まり、粘液層の存在を確認できました、しかし、2) 二重の膜から成る *Chattonella* 細胞(写真1)は脆弱で、グリコカリックスを有する外膜と細胞内容物が含まれる内膜に分かれた後(写真2)に崩壊し、存在の証明と組織化学的性状を検査するに耐えうる写真を得るためには固定液の開発が必要でした、3) グリコカリックスは主に酸性糖と中性糖からなり、タンパク質も少量含まれていてコロイド鉄も吸着する、ことなどを岡市先生に説明しました。その後、コロイド鉄の細胞内への取り込みはまだ分かっていないことに先生は大変興味を持たれ、「赤潮の科学」で門谷先生と一緒に海水中の鉄の植物プランクトンの利用に関する Harvey 以来の研究が懸濁態鉄—グリコカリックス—サイデロフォアのラインに集約され、鉄吸収のメカニズムが解き明かされるであろうと締めくくっておられます。その後、先生たちは未発表ながら *Chattonella* 細胞から抽

出した糖を精製して、糖の中に Fe^{3+} に対して最も高い親和性を持つシデロフォアが存在を見出したと言われておられました。細胞は生命の維持に鉄を必要とします。現場のイオン鉄は低濃度ですから、EDTA 可溶鉄の利用以外に、なんらかの摂取機構を有していると思います。今や、次世代シーケンサーにより高度な遺伝子解析ができるようになってきました。岡市先生、*Chattonella* がシデロフォアを産生するのか、それが海水に含まれていて可溶化された鉄を *Chattonella* が利用しているのか、あるいは全く異なる摂取機構が隠れているのかなどを明らかにできる時代になってきています。

岡市先生は鰓損傷と粘液排出に伴って酸素利用が減少するへい死機構の解明にも尽力されました。そして、鰓を損傷した魚を過飽和酸素海水に入れると延命するというへい死防止対策を提案されています。先生の時代には *Chattonella* に強毒と弱毒株があることは判っていませんでしたから、へい死機構実験の再現には苦労されたことと思います。長崎大学の小田達也先生によればグリコカリックスの中に NADPH-oxidase が含まれていて、グリコカリックスが細胞から離脱した後もスーパーオキシド産生能を持続しているらしいです。そうであれば、グリコカリックスは鰓への刺激あるいは損傷にも関与しているのかもしれない。最近、毒に強いかわいかなの家系が魚にもありそうだとされるようになってきています。赤潮に強い魚の開発など、これから解明されるべき課題が山積しているようです。

今の生態学研究は科学技術に人間が寄り添う傾向にあり、専門化が進んだ感があります。これから蓄積される多くのデータを使用して、AI などにより赤潮発生過程を総合知として判断させる時代がすぐそこに来ているのかもしれない。先生は「研究は長い継承である」と言われていました。これからの若手研究者に期待して成果を楽しみに見守ってまいりましょう。最後になりますが、先生は一貫して富栄養化に関わる窒素・リンの規制が赤潮防止の第一歩であると指摘されておられます。地球の健康からみると窒素とリンの循環や生物絶滅の速度はすでに限界値すなわち危機的狀態に達しているのだそうです。そして、日本一美味しいコメを作り、連続して金賞を取り続けている農家さんは無農薬で水田から収穫されたコメ殻などを堆肥にした有機農法を取り入れて、生物多様性が抜群に高い水田を作りあげているという報道もありました。そのような豊かな瀬戸内海を先生は夢見ておられたのではないかと想像いたしますが如何でしょうか。

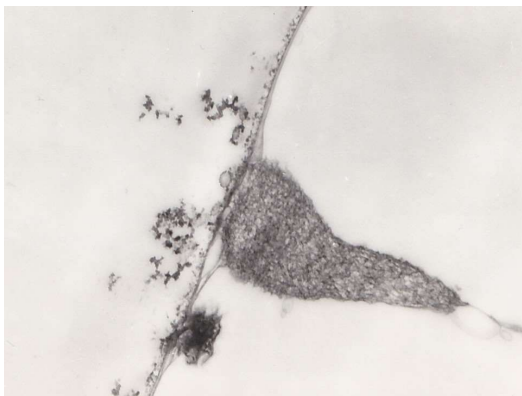


写真1
シャットネラ細胞膜の透過型電子顕微鏡写真
内膜に包まれている中央漏斗状の粘液胞。
オスミック酸固定により大半のグリコカリックスは外膜から剥離している。



写真2
アルシアン青液に触れた後の
シャットネラ細胞の光学顕微鏡写真
内膜の細胞内容物（右側）が飛び出し、外膜（左側）のグリコカリックス殻が青く染まっている。