

# 北里大学水産学部だより

No.34

平成20年 3 月

学部名称変更について

ー水産学部から海洋生命科学部へ……………緒方武比古

光に対する魚の本能……………水澤 寛太

The Abyssー深海……………三宅 裕志

海をもっと知るためにープランクトンの生態と生産…山田雄一郎

自然界の物質循環を解析する道具ー安定同位対比分析…山森 邦夫

細胞培養の30年……………渡 邊 翼

移動回遊を続けた研究生活～サケの降海回遊の謎に迫る～…岩田 宗彦

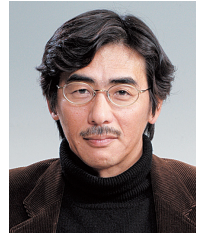
水産学部での13年を振り返る……………酒井 隆一



「漁火祭で行われたマグロ解体ショー（平井昭生撮影）」

# 学部名称変更について

## — 水産学部から海洋生命科学部へ —



水産学部長 緒方 武比古

水産学部は1972年、北里大学の5番目の学部として「水産増殖学科」と「水産食品学科」の2学科をもって設立され、今年で35年目を迎えています。学部は開設当初から三陸という地域特性も相俟って私学唯一の水産学部として特色ある教育・研究を進めました。しかし、時代の経過とともに水産業を巡る情勢は大きく変化し、水産物消費形態の変化、流通形態の多様化、国際分業化の進行などにより、水産技術者には水産学の幅広い基礎的ならびに専門知識が強く求められるようになりました。2000年度に行われた改組はこの変化に対応したもので、それまでの2学科を「水産生物科学科」に再編し、水産生物資源の有効利用に貢献する生物科学領域の統合的教育・研究を目指す体制を整えました。この改組以降、学部は水産学を「多様で豊かな海洋生物資源を永続的かつ有効に利用するための知見の蓄積および技術開発を使命とする“応用生命科学”」と捉え、この理念に基づいた教育・研究を展開してきました。

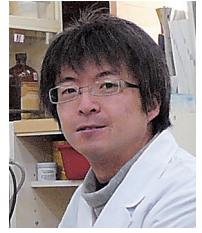
国民の動物性タンパク質摂取量の40%をまかなう海洋生物資源は食品の中できわめて重要な位置を占めています。人類の将来にとって海洋生物資源の重要性が大きいことは万人が認めるところでしょう。しかし最近では海洋生物の食品としての機能性が再認識されるなど、その消費は世界的に拡大し、近い将来無秩序な漁獲による海洋生物資源の激減さえも予測されています。水産業は国際的視野の下に海洋生物の生息環境を保全して生物資源を管理し、その持続的かつ有効な利用を図る必要があります。この課題の最終的解決には国際的、経済的、政治的対処が必要でしょう。しかし、これを支えるものは水圏生物の生命現象に関する基礎的、生命科学的な学術情報の集積に違いありません。一方、最近本学問分野はさらなる広がりを見せており、新しい産業分野の開拓も期待されています。卒業生に対する社会の要請も多様化し、水産業の伝統的技法に加えて生命科学の先端技術を活用した海洋生物資源の利用や海洋生物の生命過程を活用した資源管理、生物生産の技術が求められています。現在掲げる学部の教

育・研究理念は、海洋生物資源の利用に係わる社会の要請をいち早く認識し、領域の将来像を他に先駆けて提唱したものといたします。

学部は2008年度入学生以降、その名称を海洋生命科学部に改めます。この名称変更は、これまでに築いてきた学部の理念と特色をより鮮明化し、社会、とくに次世代を担う人々に向けて海洋生命科学教育・研究の重要性、将来性を啓発することを目的としたものです。新名称の下でも学部は生命科学や生物工学の考え方や技術を積極的に取り入れながら海洋生物の生理生態、およびその生命過程に関わる基礎研究を進め、その成果の応用を目指します。また、学生には①多面的思考能力、②自然科学の基礎知識・理論、③専門分野の知識・技術（水圏生物の生理生態・環境・化学的特性に関する広範な生命科学の基礎知識）、④コミュニケーション能力、⑤実務能力、⑥問題解決能力、⑦技術者倫理、⑧継続的学習能力という8つの学習・教育目標の達成を支える教育を実践し、水圏生物の利用に関わる多様な分野で活躍できる人材を育成します。教育課程については学習・教育目標の効率的達成を図るため科目間の連携を強化するとともに、水生動物行動学、食品微生物学、深海生物学などの新たな科目を導入した新しいカリキュラムを展開します。また、充実した教育・研究の推進を支える施設・設備についても整備を進めます。2008年度からは学生実験棟の新設やキャンパスアメニティの充実などの事業に取り組む予定です。

今、学部はこれまで歩んできた歴史とその過程で蓄積された多大な財産を礎にさらなる発展を目指そうとしています。“健康・環境・食の連携により、生命科学と医療科学を学ぶ総合大学”を目指す北里大学にあって今後も重要な役割を担うべく、また同系の大学・学部とはひと味違うユニークな学部を発展するべく、学部は前進を続ける所存です。学部名称の変更はその一つの契機です。この新たな船出に際し、皆様の厚いご支援をお願い申し上げます。

# 光に対する魚の本能



講師 水澤 寛太

魚は私たちにとって食料として、また時には鑑賞用として身近な動物です。とはいえ、犬猫や鳥と違って何を考えているのかよくわからないところがあります。もしかしたら何も考えていないのかもしれませんが。それでも餌を探して見つけたら食べますし、危険が迫れば逃げたり隠れたりします。繁殖期には求愛行動を示す魚もいます。私の興味は生き物が本能的に示す行動がどのような仕組みによって突き動かされているかということにあります。本能とは、最近あまり使われなくなった言葉ですが、感情や理性などの働きがなくても自然に生じる行動のことを指しています。もっとも、目にゴミが入ると瞼が瞬時に閉じるような行動（反射）は本能とは呼ばれないようです。空腹になったら餌を探して食べるというのは本能といっても良いでしょう。私は平成19年の春から本学の三陸キャンパスにおいて、魚の摂餌行動とその背後で働く分子の研究を行っています。学部・大学院時代には魚類の体内時計を研究していたのですが、このことは現在のテーマと少なからず関わっています。本稿では魚類の体内時計、そして食欲に関わる分子の研究について紹介します。

## 概日時計

人間の睡眠や体温の変動、ホルモンの働きの変化などには1日周期のリズムが見られます。リズムは光の変化や規則正しい食事のような、時刻情報となるような刺激がなくても続きます。しかもその周期は約25時間で一定です。まるで時計が体内に存在するかのようです。この時計は体内時計あるいは生物時計と呼ばれますが、特に24時間に近い周期を持つことから「概日（がいじつ）時計」（「概」は「おおよそ」という意味）とも呼ばれます。概日時計の基本的な性質は1）恒常的な（変化のない）環境において約24時間周期のリズムが継続して観察されること、2）温度変化に対して周期がほとんど変化しないこと、3）光などの環境刺激によってリズムがリセットされることです。2）の性質は「温度補償性」と呼ばれます。大抵の化学反応は温度が高ければ高いほど速く進みます。概日時計はこの直感に反しています。では概日時計がどのような分子によって動いているのか？この謎に大きな答えを与えたのはシアノバクテリアやショウジョウバエを用

いた遺伝学でした。人工的に遺伝子を傷つけたショウジョウバエを使って、行動のリズムを詳しく調べたところ、ある遺伝子が損傷すると概日時計の周期がおかしくなったり、時計がなくなったりしてしまうことがわかったのです。1971年のことです。その後、判明したこの遺伝子はperと名づけられました。この遺伝子によって作られるタンパク質PERと結合するタンパク質TIMもまたショウジョウバエの概日時計に重要な分子でした。単細胞生物のシアノバクテリアではKaiA, KaiB, それからKaiC というタンパク質が概日時計を動かしていることがわかりました。概日時計に必要なこれらのタンパク質をコードしている遺伝子は時計遺伝子と呼ばれます。では概日時計が体のどこに存在するのか？この謎を解くために哺乳類においては脳の一部を破壊して行動リズムがどのように変化するかを調べる、という手法がとられました。その結果、視交叉上核という小さな神経核に概日時計が存在することがわかりました。1997年になって、哺乳類において初めて時計遺伝子Clock, Per1が発見されました。これらの遺伝子は視交叉上核において特に強く発現していました。またPer1の発現は概日リズムを示すことがわかったのです。哺乳類において概日時計の構成分子と場所が明らかになったことによって、初めて概日時計が体の中の「部品」として捉えられるようになりました。これ以降、哺乳類を中心として概日時計の実体が急速に明らかになっていきました。

このようにして哺乳類の概日時計は一躍学界のホットトピックとなりました。一方、魚の概日時計の場所は実は今もよくわかっていません。魚では哺乳類の視交叉上核にあたる部分がはっきりしていないのです。視交叉上核の役割が明らかになっていなかった頃、概日時計が存在する場所ではないかと思われていた器官があります。松果体です。松果体は脳の一部で、ヒトでは大脳に覆われていますが、魚類、両生類、爬虫類、鳥類においては頭蓋骨のすぐ下、両目のちょうど中間地点に存在します。松果体からは夜間にメラトニンというホルモンが合成・分泌され、血流に入って体の各部に運ばれて、昼夜の生理機能リズムをつくっています。このメラトニンの合成・分泌量は概日リズムを示します。さらに鳥類以下の脊椎動物では松果体は光を感じることができます。魚においては少なくとも松果

体に概日時計があることは間違いありません。学部・大学院時代、私は聖マリアンナ医科大学の飯郷雅之先生（現、宇都宮大学准教授）のご指導の下、メラトニンが生体内で合成されるために必要なある酵素を同定する研究を始めました。メラトニンの合成は概日時計によって制御されています。メラトニンはトリプトファンというアミノ酸から、いくつかの酵素によって段階的に修飾を受けて合成されます。それらの酵素の中でも特にアシルアルキルアミン*N*-アセチルトランスフェラーゼ（AANAT）という酵素は夜間に急激に活性が高まることが知られていました。メラトニンが夜間に合成されるのはAANATの活性が夜間に高まるからです。つまりAANATの活性を高めているのは概日時計であることとなります。そこで魚類松果体の概日時計の実体を調べるためには、概日時計が制御しているAANATの分子を明らかにすれば良いと考えました。当時、哺乳類で始めてAANAT分子が単離されたばかりで魚類ではまだAANAT分子の実体が明らかになっていませんでした。私は哺乳類AANATと良く似た構造を持つタンパク質をコードする遺伝子を突きとめようと思いました。残念ながら魚類松果体で働くAANATは海外のライバルによって先に発見されてしまったのですが、私は目の中の網膜で働くAANATを発見することができました。この網膜AANATは松果体AANATとは異なる分子でしたが、どちらのAANATも夜間に多く発現することがわかりました。またメラトニン合成が強い概日リズムを示すアユではAANAT発現量も概日リズムを示すことがわかりました。これらのAANATをコードする遺伝子に働きかけて発現量を制御している分子が何なのか？そしてそれは果たして時計遺伝子とどう関わりがあるのか？という問題が次の課題です。しかし遺伝子工学レベルの問題になると、当時はまだ魚類を使って解明することは困難でした。

## 光と食欲

我々人間は1日のうち決まった時間に食事を摂る傾向があります。それは、社会的な習慣だからということもあるのですが、生物学的には概日時計に関係しています。魚類についても食欲は概日時計によって制御されていることがわかっています。魚類の食欲は自発摂餌という方法を使って調べることができます。水面にスイッチを垂らして、魚がそれを引っ張ったり傾けたりしたら餌を落としてやる、ということを繰り返します。そうすると魚はスイッチの仕組みに気がついて、積極的にスイッチを動かすようになります。満腹になればスイッチ起動をやめます。スイッチ起動の頻度を調べることで魚の空腹状態の変化を知ることができます。ニジマスに自発摂餌をさせると朝方と夕方にスイッチ起動を盛んに行います。魚が朝と夕方に餌を食べる

ために活発になることを釣りの用語で「朝まずめ」、「夕まずめ」と言います。自発摂餌の結果はこの現象をよく反映しているといえるでしょう。私はとてもユニークな魚類の自発摂餌に惹かれて、大学院卒業後に食欲と光の関係を調べ始めました。その結果、ニジマスの食欲がルクスという極めて暗い光条件で高まることがわかりました。またニジマスの自発摂餌は光の変化がない条件では概日リズムを示します。どうやら魚類の食欲は概日時計と光の明るさの両方によって調節されているようです。概日時計をリセットするのは朝の光ですから、光は様々なシステムを通じて食欲を複雑に制御しているといえるでしょう。

食欲は脳の働きによって生じます。特に脳の一部である視床下部には食欲中枢と呼ばれる部分があり、摂餌行動に深く関わっています。食欲の調節に関わる分子として、様々なホルモンが知られています。これらのホルモンは体内の栄養やストレスに応じて視床下部や消化管、脂肪細胞などから分泌されます。哺乳類に比べると魚の食欲調節機構についての知見は非常に少ないのですが、哺乳類の食欲関連ホルモンとよく似たホルモンが魚類でもいくつか発見されています。また食欲ホルモンを脳に注射したり、ホルモンの働きを抑えたりすることによって魚類の摂餌活動が影響を受けることがわかってきています。つまり魚類と人間の食欲調節は大体同じようなシステムだと思われます。しかし、まったく同じというわけではありません。メラニン凝集ホルモン（MCH）は本学において、川内浩司先生（現、北里大学名誉教授）によってシロザケから発見されたペプチドホルモンです。MCHは魚の皮膚にある色素胞に働きかけて体色を明るくすることが知られています。魚は周囲の明るさや海底の色の違いに応じて体色を変化させますが、これにはMCHが関わっています。魚類のMCHは光環境に応答するホルモンであるといえます。近年、哺乳類においてもMCHが存在することがわかりました。さらに哺乳類においてMCHは食欲を増進する働きを持つことが明らかになりました。哺乳類では体色変化は起こりませんが、MCHは体色調節とはまったく異なる働きを持っていたのです。さらに最近になって、魚類においてもMCHが食欲調節に関わるということが明らかとなりました。魚類のMCHは光と食欲の間をつなぐ分子である可能性があります。しかし、これを明らかにするのは簡単ではありません。食欲に関わるホルモンはたくさんありますが、それらの多くはストレスや栄養代謝などさまざまな生理現象にも関わっている多機能ホルモンです。また食欲は概日時計システムによる支配も受けています。

このシステムの全貌を明らかにするためには、オーソドックスなやり方ですが、関係する分子（あるいは

遺伝子)について一つ一つ調べることが必要です。一昔前までは、このような研究はマウスのような哺乳類やショウジョウバエでは可能でも魚では困難でした。しかし、近年、魚類の中でもメダカやゼブラフィッシュのような小型魚類を用いた遺伝学的研究が国内外で盛

んに行われるようになってきました。現在、私は三陸キャンパスでゼブラフィッシュを用いた実験に取り組んでいます。分子のレベルで魚の本能を司るシステムを明らかにする、という目標に向かってユニークな研究を展開したいと考えています。

## The Abyss—深海



講師 三宅裕志

はじめて研究紹介を書きます。しばらくすると、また研究紹介が回ってくると思いますので、私の研究テーマにはクラゲ類の研究と深海生物の研究の2つの柱があるのですが、その中でも、特に皆さんが最も興味を持たれると思われる深海生物研究の1つをお話します。

### 深海生物?。。。

おそらく普通はチョウチンアンコウやリュウグウノツカイなどを思い浮かべ、そんなのを研究できるの?と思われると思います。これは私もできたらやってみたいテーマですが、まだまだ採集が難しいのでなかなかそれらの研究は難しいです。それではどんな生物を対象にしているのかというと、つい30年前に見つかった生物学上20世紀最大の発見ともいわれる化学合成生態系の生物を対象にしています。それらの生物がどんなものなのかを紹介していきますが、そのまえに深海の基礎知識についてお話します。

### 深海

地球はよく考えてみると2階建てになっています。飛行機に乗って、海の上を飛んでいるとそれがよくわかります。飛行機に乗ると富士山がよく見え、そして海の上にはたくさんの船が浮いています。もし、海が透明で海底まで見るとしたら、船からも深海底にある海山や海底火山がよく見えて、飛行機で富士山を見るのと同じになります。だから、海面を隔てて、海面より上が2階、海面より下が1階になります。我々は2階の住人で、海の生き物たちは1階の住人になるのですが、水というとても不思議な生命の源が、我々が1階に行くことを拒んでいるので、1階には何かあるのかはほとんどわかっていません。地球上の7割は海で、その海の99%は水深が200m以上の深海になります。だから、深海は地球上で最も大きな生物生息圏なのです。しかし、その1階の深海の世界は高圧、暗黒、低温という壁を我々に押し付けて、その全貌を

簡単には現してくれません。この壁を少しでも取り除こうとこれまでの先達たちは知恵を絞って、徐々に深海の世界がわかってきました。1870年代にイギリスのチャレンジャー号によってドレッジや底引き網で深海生物が採集されその存在が明らかになり、その後プランクトンネットの開発、改良で中・深層の生物研究も進み、その後、音波探査により深海底の構造や生物の存在が明らかになってきました。そして最終的には潜水船の登場でいままで見えていなかったもの、見ることでできなかったものが見えるようになってきました。その代表が深海化学合成生態系の生物たちなのです。この生物研究は潜水船があってはじめて研究が進んだ分野なのです。

### 化学合成生態系

化学合成生態系は海底火山や海洋プレートの沈み込む部分に形成されます。海底火山のあるところには、300℃にも達する熱水が噴き出て、その熱水には地球内部から溶かし出された硫化水素やメタンなどが含まれています。それらを身体の中で燃焼させて出てくるエネルギーを利用してバクテリアが“化学”合成して有機物を作り、そこから食物連鎖が始まる生態系である化学合成生態系が形成されます(図1)。太陽の光があるところでは、太陽の光エネルギーを利用して植物が“光”合成をして有機物作り、そこから食物連鎖が始まる生態系を作るので、光合成生態系といえます。私たちはこの光合成生態系生物の一員で、「太陽を食べる生物」になります。一方、化学合成生態系の生物は地球内部の熱エネルギーによって噴き出す熱水の化学物質(硫化水素やメタンなど)から得られる化学エネルギーで生きているので、「地球を食べる生物」とも言われます。また、地震の巣になる海洋プレートの沈み込む部分では、プレートが沈み込むときに堆積物中の有機物の分解によりできた硫化水素やメタンが絞り出されます。そこは湧水域と言われ、熱水周辺と

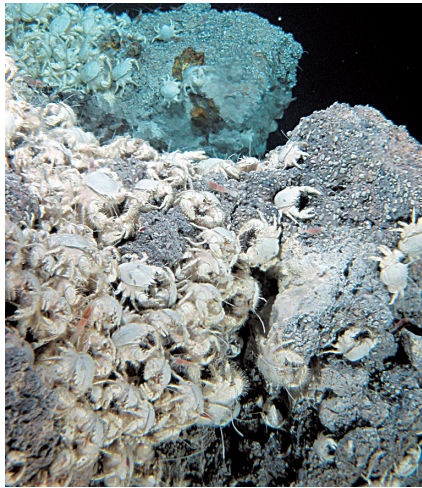


図1. 沖縄トラフの鳩間海丘（1500m）の熱水噴出口に群がるゴエモンコシオリエビ

同じく化学合成生態系が形成されるのです（図2）。そしてもうひとつ、新しい化学合成生態系があります。それは生物起源の化学合成生態系といわれるもので、その代表に鯨骨生物群集といわれるものがあります。これは死んだクジラが海底に沈んで、他の生物に肉質が食べられ骨だけになると、骨に含まれる大量の脂が腐り、そこから硫化水素やメタンが出てきます。それを利用して化学合成生態系が形成されるというものです。これらの3つの化学合成生態系は、広い深海底の中にピンポイント的にあるものであり、ドレッジなども引くことができない場所にあるので潜水船でしかアプローチできない特殊な場所にあります。

### 化学合成生態系の研究

私の研究のスタンスは基本的に野外に出て生物の生きている様子を観察し、さらに野外では観察困難なことを実験室で飼育観察、実験観察をして、その結果をまた野外で検証するというものです。ですから深海生物についても同様です。

私が深海生物に関わるようになった頃、高圧力にしないと生物は活かせないという先入観があり、深海の生物を活かして実験するというようなことは思いもありませんでした。でも、実際に潜水船で採集した深海生物を見たとき、まだごそごそと動いているものがた



図2. 相模湾初島沖（850m）の湧水域のシロウリガイ

くさんいました。その時に、これまでほとんど誰も手を付けていない深海生物の飼育観察研究ができると確信しました。その後はできるだけ航海に参加し、生物が生きている場所の環境を観察、解析し、さらには状態よく採集して船上に上げる方法、深海化学合成生態系を再現する方法などを少しずつ開発しては改良していきました。採集したい生物がいる場所へは年に1回いけるかどうかというような状態ではありましたが、熱水から湧水域、そして通常の高圧海底などさまざまな場所で潜航して観察したことは、総合的に深海生物の飼育技術を確認するのに非常に役立ちました。いまとなつては航海に出ている生物研究者しか見ることができなかつた深海化学合成生態系生物が気軽に水族館で見ることができるようになりました。新江ノ島水族館にはその集大成といべき深海化学合成生態系水槽があり、実際に潜水船で研究者が見ている光景を目の当たりにできます。現在は無脊椎動物が中心ですが、今後も深海生物の飼育技術の向上や他の種にも手を広げて深海生物の飼育技術の開発をしていきたいと思っています。このような深海生物の採集や飼育に関しては、本研究室だけでは大変ですので、海洋研究開発機構や新江ノ島水族館の協力を得て研究を進めています。

飼育技術の開発に並行して、ユノハナガニ、ゴエモンコシオリエビ、オハラエビ類、シンカイヒバリガイ類、シロウリガイ類、ハオリムシ類、鯨骨に付着してくる生物などを飼育してそれらの生活史解析を行っています。生活史には発生、変態、成長、繁殖、老化というサイクルがあり、そのなかには共生や寄生、捕食、被食、競争など種内、種間関係、環境との関係などさまざまなイベントがありますが、これらの生活史のなかで特に面白い事柄は2つあります。

まず1つは上に挙げた生物は化学合成細菌と細胞内外で共生しているということです。特にハオリムシ類（図3）の共生細菌との共生開始、着生、変態の過程は非常に面白いテーマです。シロウリガイ類は卵の中にすでに共生細菌がはいっており、親から垂直伝播すると言われていたのですが、ハオリムシ類は水平伝播で幼生自らが環境中から獲得しなければならないのです。ハオリムシの幼生（図4）はいつ、どうやって共生細菌と出会い、それをどうやって細胞内に異物であるはずの細菌を取り込むのか？、取り込んだ後も、どうやって硫化水素のあるところを探して、着生して変態するのか？まだその過程を見た人はいません。生きたハオリムシ類を長期に飼育できて、さらに採集した時には幼生も確保でき、しばらく飼育することができるのは私たちの研究グループだけです。これがわかれば、ハオリムシの生活史の最も重要な部分が明らかにできるのはもちろんですが、細菌という異物を自分のものとしてしまうという免疫学的にも非常におもしろい結果



図3. 相模湾初島沖 (850m) の湧水域のハオリムシ2種



図4. ハオリムシの幼生 (トロコフォア)

を導くことができるでしょう。

2つ目としては、ハオリムシの話にもつながりますが、化学合成生態系に住む生き物たちの幼生の分散についてです。熱水の噴出はプレートが動くため100年ももちません。また、湧水域も地殻の変動で硫化水素やメタンが出なくなってしまう。そうするとそこにいた生物は全て死に絶えてしまいます。そうならないためにも新しい場所へ子孫を分散移動させてしまわないといけません。熱水域や湧水域に住む生物のほとんどは幼生の時はプランクトン生活をします。また、卵も浮遊卵を生むものがほとんどです。そうすることによって他の場所に子孫を移動させることができるのですが、深海砂漠のなかにピンポイントに存在する熱

水や湧水域を探すには至難の技です。鯨骨が次の熱水域や湧水域を見つけるまでの間のオアシスになるともいわれていますが、どうやって生息場所を見つけるのか？まだまだ謎です。でも、この問題も深海生物を飼育して繁殖させ、幼生を得ることでわかってきます。

いま、ようやく深海の化学合成生態系生物を飼育できるようになりました。深海生物研究の壁がようやく打ち破られようとしています。研究はまだまだこれからです。やればやるほど新発見が生まれてきます。この分野の研究は始まって30年しか経っていません。宝の山がそこに眠っています。この宝を深海生物研究を志してくれる皆さんと一緒に探しに行きたいと思っています。

## 海をもっと知るために —プランクトンの生態と生産—



講師 山田 雄一郎

### はじめに

平成19年4月より水産学部に着任しました、山田雄一郎と申します。今から11年前、学部4年生の時以来、私は海洋のプランクトンについて研究しております。今回の研究紹介では、私がこれまでに観察した北里大学水産学部周辺に出現するプランクトンを紹介した上で、プランクトンを研究することの意義、さらに今後の研究の展望について書き記してみたいと思います。

### プランクトンとは？

プランクトンとは、ギリシャ語の「πλανκτοσ=浮遊、漂流する」に語源があり、「海流に逆らって泳ぐことができず、受動的に運ばれる生物」の総称です。したがって「これがプランクトンだ」という明確な定義付けはなく、エチゼンクラゲやマンボウのような、波間に漂う巨大な生き物もプランクトンと考えることもできます。しかし一般的には、大きさ20mm以下の微

小な生き物を指す場合がほとんどです。魚卵や稚魚、またはカキ、ナマコ、フジツボなど底生生物の幼生もプランクトンに含まれますが、これらは「一時性プランクトン」と呼ばれ、生涯を通して浮遊生活を送る「真性プランクトン」とは区別されています。普通、「プランクトン研究者」とは後者を研究対象としている人を指す場合が多く、私もその内の一人です。

### 水産学部周辺にはどのようなプランクトンがいるのか？

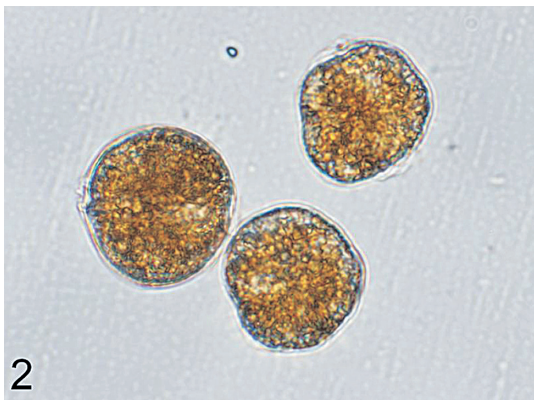
真性プランクトンはさらに、光合成により無機炭素から有機物を生産できる独立栄養（植物）プランクトンと、他者により生産された有機物に依存する従属栄養（動物）プランクトンとに分けられます。全海洋を通して、最も普通に見られる植物プランクトンは珪藻で、三陸周辺などの中～高緯度海域では春先に大增殖（ブルーミング）を行い、この時期に合わせて多くの動物プランクトンが再生産を行うことから、海洋にお



1

ける生物生産の原動力と考えられています。水産学部周辺では*Skeletonema costatum* (写真1) という種が年間を通して多く出現しています。珪藻に次いで多く見られるグループは渦鞭毛藻で、水産学部では長年にわたり特に詳しく研究されています。沿岸域においてはある一定の時期に特定の種が大増殖し、赤潮や貝類の毒化を引き起こすことは皆さんもご存知のことと思います。三陸沿岸では*Alexandrium tamarense* (写真2) が春～夏場にしばしば増殖し、養殖貝類が出荷停止になることがあります。渦鞭毛藻の中には光合成を行う独立栄養性種以外にも、他の微小藻類等を捕食する従属栄養性種、また光合成と捕食の両方を行う混合栄養性種も含まれています。水産学部周辺においては、これら珪藻、渦鞭毛藻の他にも、藍藻、クリプト藻、ハプト藻などの微小植物プランクトンが見られ、どのグループがいつ頃増えるのか研究中です。

動物プランクトンで最も多く見られるのはカイアシ類というグループです。地球の表面積の7割は海であり、しかも海洋環境の容積は陸地と淡水を合わせた環境圏の300倍にも達するので、カイアシ類はおそらく全地球で数量的に一番多い動物群であろうと思われています。学部周辺では*Acartia hudsonica*, *Paracalanus parvus* (写真3, 4) など体長1mm前後の小型カイアシ類が多く出現します。カイアシ類に次いで多いのは枝角類、いわゆる「ミジンコ」です。ミジンコは池や湖に生息しているイメージが強いのですが、沿岸域にも多く、ここ周辺では*Podon*, *Evadne*, *Penilia* (写真



2



3

5～7)の3種が主に生息しています。写真8の生き物はオタマジャクシのような形をしていますが、実はホヤと同じ尾索動物の仲間、オタマボヤという生物です。体の回りに「ハウス」と呼ばれるゼラチン質の膜を作り、尾のような部分を動かして水流を起こし、ハウス内のフィルターに引っかかった微細な粒子を捕食します。さらにフィルターが目詰まりを起こしたらハウスを脱ぎ捨て、体内からゼラチン質を分泌して新たにハウスを作る、といったユニークな捕食行動を示します。写真9も同じく尾索動物の仲間、樽のような形から「ウミタル」と呼ばれています。帯のように見える筋肉を使ってゼラチン質の体を収縮させて水流を起こし、尾虫類と同様、体内のフィルターに引っかかった微細な粒子を捕食しています。海洋には様々な原生動物も生息しており、その中でも写真10に示した繊毛虫類は数量的にかなり多く、バクテリア等のごく微小な粒子を捕食できることから、この後に述べる「微小食物網」において重要な役割を果たしていると考えられています。

**プランクトンは生態系内でどのような位置を占めているのか？**

海洋においては、植物プランクトンが光合成により無機炭素(二酸化炭素)から有機炭素を合成して増殖を行い、これら植物プランクトンを消費することにより動物プランクトンの成長、再生産が促進され、さらに自身が餌となり魚類等の上位栄養段階に属する生物



4



に有機物を供給します。このようにプランクトンは海洋における生物生産過程の最も基礎的な役割を担っています。この植物プランクトンから始まる物質の流れを「生食食物連鎖」と言い、長いあいだ海洋における生物生産過程のメインであると考えられてきました。しかし海水中の細菌は、他の生物が利用できない溶解態有機炭素を直接取り込んで増殖することができ、その量は以前考えられていた以上に多いことが分かりました。さらにこれを捕食する繊毛虫などの原生動物プランクトンもかなりの生物量に達することが明らかになってきました。これらが動物プランクトンに捕食されることにより、細菌が固定した有機炭素が高次の栄養段階へ移送されることとなります。さらに様々な生物から溶解態有機炭素が放出され、細菌の増殖を促します。海洋におけるこのような物質の流れは「微生物食物網」と呼ばれ、貧栄養海域や生物量が減少する時期においてこの経路を通して運ばれる物質が増加することが近年の研究により明らかになりました。三陸内湾域においても細菌や微小プランクトンの生物量を正確にとらえ、微小食物網を経由する物質量を評価する試みが始まっています。

の様に、難病の治療に応用できる等、プランクトン研究を直接人類のために役立てるということは難しいでしょう。しかし、現在人類が直面している環境や食糧に関する多くの問題を解決する糸口を見出せる可能性を秘めています。

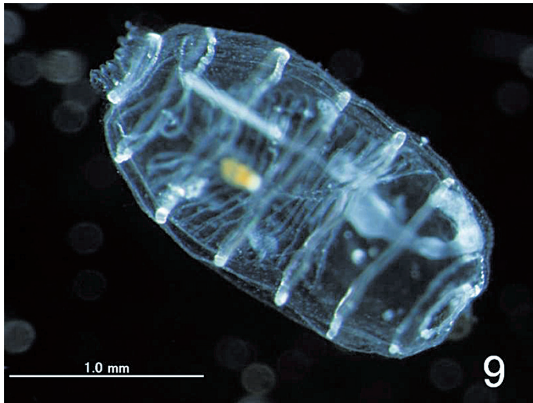
例えば、高緯度海域や赤道海域の一部では栄養塩濃度が高いにもかかわらず植物プランクトン（特に大型の珪藻類）が少なく、これには海水中の鉄の不足が関係していることが知られています。そこでこれらの海域に鉄を散布して植物プランクトンの増殖を促し、地球温暖化の原因となっている余分な二酸化炭素を海洋中に吸収させようという案が検討されています。しかし鉄の散布による環境への影響はまだ分らないことが多く、日本、アメリカ、カナダなどの研究者が中心となって実際に海洋中に鉄を散布して環境の変化を調べる研究が行われています。

### プランクトン研究はどんなことに役立つか？

私が初対面の人に「プランクトンの研究をしています」と話しかけると、多くの方から「あんな小さなものを見て、何か役に立つことがあるのですか？」と聞かれます。確かに、今話題の「ヒトES細胞」の研究

わたしたちの住む三陸沿岸に目を向けると、その沿岸総延長は700km近くにもおよび、特有の海岸形状を利用することにより内湾域におけるワカメ、カキ、ホタテ等の養殖漁業が盛んに行われています。これら水産資源は海洋環境の変動に大きく影響を受けることが知られており、赤潮の発生、および貝毒原因生物や食害をおよぼす寄生性生物の動態によって生産量は大きく左右されます。安全な水産物の安定した供給を維持するためには、内湾域における生態系と、その主な構成要素であるプランクトンについて理解を深める必要があります。これまでは水温、塩分、栄養塩などの無





機的環境要因の変化、赤潮や貝毒原因生物を含む微小藻類、動物プランクトン等の研究がそれぞれ個別に行われてきました。しかしこれら低次生態系の構成要素を体系的に扱った研究はまだ行われていません。この問題を解決するために、私は(1)どんなプランクトンが、どの季節に、どれくらい出現するか、(2)プランクトンがどれだけの物質(有機物)を生産するか、(3)プランクトンの被食-捕食関係はどうなっているのか、について明らかにしていく事を考えています。その初期段階として、現在は大船渡湾と越喜来湾において定期的にサンプリングを行い、主に(1)について詳しく調べており、写真10の繊毛虫が減ると写真2の渦鞭毛藻が増えること、また写真3~9の動物プランクトンの組成が季節によりかなり異なる事などが明らかになりました。

根気よく、少しずつ~海をもっと知るために

私がこの地に来てからまだ1年も経っておらず、三陸沿岸周辺のプランクトン研究はまだ始まったばかりです。ある海域に生息するプランクトンの生態を理解するためには、少なくとも2~3年間にわたる現場での調査を続ける必要があります、しかもその先にはプランクトンを1細胞、1個体ずつ計数するという地道な作業が待っており、プランクトン研究はとにかく根気との勝負です。海へ行くと魚類や海藻などの比較的大型の生物がまず目につきますが、これらの生産を支えているものは目に見えない微小なプランクトンなのです。豊かな三陸の海をもっと知るために、根気よく、少しずつプランクトンの研究を進めていきたいと思います。

(写真提供: 小倉絢子, 勝又大介, 坂本あづさ, 平山貴之)

## わかりやすい水産学講座

# 自然界の物質循環を解析する道具 — 安定同位対比分析 —

魚類生理学研究室・教授 山森邦夫



フグは猛毒テトロドトキシン(TTX)を体内に保有している。TTXは分子量319, Naチャンネルをブロックする非ペプチド性の神経毒で、結晶化すると白色の粉末になる。人に対する経口致死量は2mgといわれ、青酸カリの経口致死量150-300mgと比較して約100倍も高い毒性を持つ。それではフグにおけるTTXの起源は何か。これに関して1981年に東大の松居隆博士らは、養殖トラフグには毒がないこと、無毒の養殖トラフグにTTXを含む餌を与えて飼育すると毒化することを報告した。さらにフグ以外に脊椎動物としてカリフォルニアアイモリ、ツムギハゼ、ヤドクガエルなど、無脊椎動物としてヒョウモンダコ、ボウシュウボラ、トゲモミジガイ、スベスベマンジュウガニ、ウモレオウギガニ、カブトガニ、オオツノヒラムシ、ミドリヒモムシ

など様々な動物がTTXを保有することが明らかになってきた。またTTX産生細菌の存在も明らかになった。これらのことから、細菌が作り出したTTXが様々な動物のTTXの起源であり、フグは食物連鎖を介してTTXを吸収・蓄積して毒化するとので外因説が支配的である。しかしフグが何を食べて毒化するのかについて具体的な証拠を示した研究はない。またフグの毒性には著しい個体差があるが、毒性の著しく高い個体は毒性の高い餌を選択的に食べ続けなければそのような高い毒性に至らない計算になる一方、そのような毒性の高い餌がフグの周囲に常に存在することは考えにくい。このように単なる食物連鎖説では説明しにくい部分がある。そこでフグの毒化機構を真に解明するためには自然環境下でフグが成長し毒化する過程をじっくりと観察す

る必要がある。そうである。

夏を過ぎると三陸沿岸にもマフグ、クサフグ、コモンフグ、ヒガンフグなどのフグ科魚類の稚魚が出現する。本研究室では2000年頃からフグ稚魚に着目した研究を開始した。まず採集したフグ稚魚の毒性を調べると著しい地域差があることが分かった。同じ魚種でも採集地が数km離れると毒性がかなり違うのである。越喜来湾の湾奥に位置する鬼沢漁港は毒性の高いフグ稚魚が採集できる場所である。体重が0.1gに満たない小さいころから著しく高い毒性を持つフグ稚魚もいる。数日間隔で繰り返し採集して稚魚の成長と毒性を調べてみると、成長とともにTTX量がどんどん増える時期もあれば、停滞する時期も、また逆に減少する時期もありそうである。したがって時期によっても毒性は違うことになる。TTX量が増える時期には毒化原因餌生物がたくさん存在するのだろう。

そこで無毒の養殖クサフグ稚魚をカゴに収容して鬼沢漁港内に吊るしておき、カゴの目から入り込む餌生物を食べさせ、半月間程度飼育後、クサフグ稚魚の毒性を調べ、毒化するかどうか調べる実験を繰り返し行ってきた。このカゴ飼育実験から毒化する時期とそうでない時期があることが分かった。毒化する時期には毒化原因餌生物が存在することがますます疑われた。稚魚の口に入るような餌生物ならプランクトンのような小型の生物にちがいない。しかし、それが何であるかはわからない。そこで毒化原因餌生物を絞り込むために、鬼沢漁港の岸壁から水中ポンプで海水とともにプランクトンを吸い込み、プランクトンネットでプランクトンを濾して濃縮し、濃縮後のプランクトンを魚に与えて飼育する実験装置を組み立てた。その装置で養殖クサフグ稚魚を半月間飼育し、飼育後の毒性を調べる実験も繰り返し行ってきた。するとやはり毒化する時期とそうでない時期があることが分かった。毒化する時期に与えたプランクトンの中に毒化原因餌生物が含まれている可能性が高い。一方、クサフグ稚魚が食べ残した餌は毎日回収して保存してある。その中に毒化原因餌生物が含まれているはずなのであるが、しかし、この食べ残しの毒性を調べてみてもほとんど毒性がないのである。毒化原因餌生物はどこに消えてしまったのだろうか。もしかしたら、その餌生物はTTXを含んでいるのではなく、TTXになる前の物質、前駆物質を含んでいて、フグがそれをTTXに変換している可能性もある。そうだとすれば、それをどうやって探せば良いのだろうか。

#### 同位体とは

前置きが大変長くなってしまった。実際、上記のようなことで悩んでいる。私の場合はフグがどんな餌生物を食っているのか、その中でTTXを含んでいる餌生

物は何か、あるいはTTXの前駆物質となるような物質を含んでいる餌生物は何かというようなことを明らかにしたいのである。物質の起源を探る場合、その物質に目印があれば探しやすい。TTXにもそのような目印がついていないだろうか。それが、全くないわけではなさそうである。TTXは、分子式が $C_{11}H_{17}N_3O_8$ で、アミノ酸程度の低分子物質であり、炭素、水素、酸素、窒素などの元素から構成されている。これらの元素に何か他と区別できるような目印があれば起源を探る手がかりになる。しかし、物質を構成する元素はどこにあっても同じであるというようなことを習った覚えが誰にもあると思うが、ものごとには例外が付き物である。同位体の存在がそれである。各元素はそれぞれ固有の原子番号をもっており、原子番号は原子核の陽子数に一致する。一方、元素には原子核の中性子数が異なるため、質量数の異なる同位体（アイソトープ）が存在する。同位体には放射能を持つ放射性同位体と放射能を持たない安定同位体の2種類が存在する。放射性同位体は時間とともに電子・陽子・中性子を放出して原子番号が変わってゆくが（放射性崩壊）、安定同位体は自然界で一定の割合をもって安定的に存在している。

#### 安定同位体の性質と変化する安定同位体比

本稿の主役は放射能をもたない安定同位体の方である。最近の研究には大型研究機器が欠かせないが、3年前に本学部にはサーモエレクトロン社の拡張型安定同位体比質量分析計（Finnigan DELTA plus XL）が導入された。この測定装置は大変高価でメンテナンスにも手間がかかるため、生物系に関係する研究機関で導入しているところはあまり多くはないそうである。岩手県では本学部だけである。安定同位体比は「食う・食われる」食物連鎖や生態系の研究に役立つことから水産分野の研究者も注目している。昨年9月に北海道大学で開催された水産学会においても「水産動物の生態研究における安定同位体比分析の現状と展望」という題目のシンポジウムが開催されたばかりである。

それでは元素に目印がついているとはどのようなことであろうか。例えば炭素原子にはいろいろな重さのものがある。質量数が12と13（ $^{12}C$ と $^{13}C$ ）の炭素はいくら時間がたっても質量が変化しないので、安定同位体とよばれている。炭素の安定同位体のほとんどは $^{12}C$ で、 $^{13}C$ は1%程度しか含まれていない。したがって安定同位体 $^{13}C$ の安定同位体 $^{12}C$ に対する存在比は1%程度で小さいものの、興味深いことにこの比は安定とは限らないのである。 $^{12}C$ と $^{13}C$ は、化学的性質は同じだが、大気中や水中を拡散する速度や化学反応の反応性が違う。軽い $^{12}C$ のほうが拡散する速度は速く、一般的に化学反応に対する反応性も高い。例えば植物は

気孔からCO<sub>2</sub>を取り込んで炭素化合物を合成する。大気中のCO<sub>2</sub>から炭素化合物が作られるまでにはさまざまな化学反応プロセスがある。そのため大気中CO<sub>2</sub>の炭素と植物に含まれる炭素化合物の炭素の重さを比べると、植物の炭素化合物の炭素の方が少しだけ重い安定同位体が少なくなる。このように同位体の比率が変わることを、「同位体分別（どういたいぶんべつ）」といい、このような効果を「同位体効果」という。生体内では消化や同化などの化学反応プロセスのたびに同位体効果が作用し、結果として個々の安定同位体比はかなり変化することになる。安定同位体比を厳密に測定することで、この変化を明らかにし、これによって物質循環の解明、生態系での位置づけ、あるいは物質の生成経路などに関する知見を得ることができる。自然界に存在する安定同位体比の割合とその変動は非常に小さいので、通常、同位体天然存在比を表わす場合は特定の試料（標準試料）に対する千分率（ $\delta$  値、単位は‰）で表わす。

$$\delta^{13}\text{C} = (\text{R}_{\text{Sample}} / \text{R}_{\text{std}} - 1) \times 1000$$

標準試料（Rstd）として炭素ではPee Dee Belemnite（CaCO<sub>3</sub>を主成分とする化石、海水中のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とほぼ同じ値を示す）を用いる。窒素の安定同位体のほとんどは<sup>14</sup>Nであり、<sup>15</sup>Nは0.4%ほどである。窒素では標準試料として大気中のN<sub>2</sub>を用いる。 $\delta$  値がプラスということは、標準試料より同位体の含量が多いことを、逆にマイナスなら少ないことを意味している。

### 食物連鎖研究における安定同位体比

炭素<sup>13</sup>Cの安定同位体比はその炭素を生産した植物の固有値を示すことがわかっている。そこで炭素の同位体比を横軸に、窒素の同位体比を縦軸にとり、2次元に示すことにより食物連鎖を理解しやすく表現できる（図1）。植物は食物連鎖の出発点であるが、植物の $\delta^{13}\text{C}$ は-35~-5‰と非常に大きく変動する。これは植物の種類により光合成の仕組みに違いがあるた

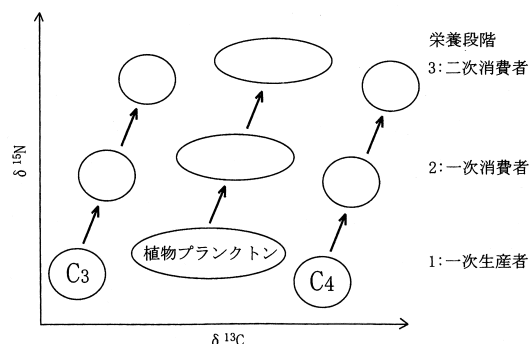


図1 食物連鎖に沿った $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ の変化を表す模式図。 $\delta^{13}\text{C}$ で一次生産者を、 $\delta^{15}\text{N}$ で動物の栄養段階を推定することができる。（培風館「生物地球化学」より引用）

めである。イネやコムギといった主要作物はC3植物といわれており、C3植物の $\delta^{13}\text{C}$ は-27‰前後であり、トウモロコシ、サトウキビ、ススキなど一部の植物はC4植物といわれ、 $\delta^{13}\text{C}$ は-12‰前後である。また植物プランクトンは-20‰前後といわれている。光合成によって生産された有機物は、食物連鎖に沿って、生態系の中を移動していく。このとき動物の $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{15}\text{N}$ 値が、餌の値に比べてほぼ一定の割合で高くなる。動物と餌のあいだで $\delta$  値の差は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の場合0~1‰程度で小さくなく、一方、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の場合は、平均して3.4‰ほど動物で高くなることが知られている。

図1には生産者とそれを消費する消費者との関係が示された。消費者は生産者より0~1‰高い $\delta^{13}\text{C}$ 値をもち、3~4‰高い $\delta^{15}\text{N}$ を持つことを手がかりに生産者を探せば良い。フグ稚魚の餌生物を探す場合にも同じ方法が使用できる。フグ稚魚およびその周囲の候補餌生物の $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定して図1にプロットして候補餌生物の中から探す。特にフグの毒化原因餌生物を探し出すには、TTXを精製してその $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定して図1にプロットし、候補餌生物の中から探す。今後はこのような方法を用いてフグの毒化原因餌生物を特定したいと考えている。

## 細胞培養の30年



教授 渡 邊 翼

30年以上前、製薬会社の研究所でウイルス性腫瘍の研究をしていた私に、水産にもどって教育と研究をしないか、と声がかかった。色々考えた末、三陸にある北里大学水産学部に行くことに決め、退職願を出した9月頃、研究所の仲間と大阪の十三（じゅうそうと読む）で一杯飲んでいたときの話し。

「渡辺さん、水産に行くんだったら、魚の細胞を培養して研究してはどうか」、10年くらい先輩の分子生物学者（当時はあまりいなかった）が声をかけてくれた。私は当時、がんと免疫に心を奪われていて、細胞培養などという辛気くさい地道な仕事に興味を持っていなかった。分子生物学は、そろそろ細菌とウイルスの仕事の成果が上がってきており、さらに進んで培養下で哺乳類の細胞を使うようになってきていた。そこから出たアドバイスである。

三陸に赴任して驚いたことに研究機器と予算がない。細胞培養するには最低限の施設が必要である。当時、サケ科魚類のウイルス病が日本中に蔓延していて、東北地方に対応できる研究機関がなかったため、私が担当することになった。安全キャビネットやクリーンベンチが所狭しと並んでいる研究機関から来た私にとって無菌箱という骨董品があったただけだった。それがあっただけでも感謝であった。私の部屋の中にビニールハウス用のビニールで無菌室を作り、その無菌箱で東京水産大学（現東京海洋大学）からもらったRTG-2（ニジマスの卵巣から作った培養細胞株）の培養を始めた。冬場は良かったが、夏に近づくとビニールハウスの中は段々気温が上がり始めた。昼間は30℃を越すので、ニジマスの細胞は扱えない。明け方にしか実験ができず、それ以来早寝早起きになった。

お金がないので、細胞培養のための試薬や器具が買えない。退職した製薬会社の援助で多額の器具と血清をもらって体制を整えた。そんなこんなで、卒論を私と組んでくれた一期生の小林直樹さんと岩手県の試験場や養殖場のウイルス病検査をしながら、釣ってきたヤマメを使って腎臓細胞の培養を行った。できた細胞株は彼の名前とヤマメnormal kidneyをひっかけてYNKと名付けて投稿した。日本で最初の魚の細胞株である。細胞を培養すると一つでも二つでも経費は同じである。魚の細胞培養は案外簡単だと認識した。科研費が通って、「これで血清が買える」と喜んだのは懐かしい思い出である。

研究に限らず、若いときは些細なことでもうまくいくと心がときめく。それが糧になって次なる挑戦ができる。年をとってくるとそのときめきを忘れ、研究の意義などというものを考え出す。特に自分で実験をし

なくなると、それがひどくなる。老害である。自戒している。

久しぶりに出戻りで北里大学に戻ってみたら、私が整えたクリーンベンチがまだ生きていた。残り11年なので、新しい研究を始めるゆとりはない。また細胞培養をやるのか、と考え、まだ在職中だった厚田先生と相談して、三陸だからとサケ科魚類の腹腔細胞の研究を始めた。なぜそれが細胞培養につながるかという、それまでマダイの腹腔マクロファージの培養をしていて、そいつがどうやら細胞間情報伝達物質（サイトカイン）を作っているらしいことを見つけかけていたのである。ニジマスの腹腔にもタイに比べれば少ないが免疫系細胞があり、マクロファージも健在だった。

早速、ニジマスの腹腔マクロファージの培養を開始した。2、3週間たつと増殖し始めたので、あとは楽だった。ただ、マダイの時に培養を続ける内にマクロファージの機能を失っていったので、ニジマスでは丁寧に液体窒素に凍結保存することを心がけた。

その頃、日野和義さんが大学院に入ってきた。渡りに船と彼の修士論文のテーマにした。ものすごい努力家で、培養マクロファージの出すサイトカイン（腫瘍壊死因子TNF- $\alpha$ というものである）が胸腺の細胞の増殖と分化にどのような影響を与えるかを猛然と調べ始めた。魚の胸腺は扱いが難しいとして今まで研究されてこなかったのである。修士2年でニジマスの培養マクロファージが出すサイトカインがTNF- $\alpha$ であることを示すデータをどんどん出してき、博士課程にも進学した。私はウイルス病や細菌病を教えているにもかかわらず分子生物学の知識も技術も持ち合わせていない。ところが彼の研究は分子生物学的方法を使う必要が出てくるほどの進展してきた。東京大学水産実験所の鈴木譲先生の好意で彼は分子生物学の技術を習得してきた。水族病理学研究室にその技術を移転して、さらにデータを積み重ね、2006年に博士の称号を取得した。私が主査をした唯一の博士である。それよりも、日野さんの努力がなければ私の得意とする細胞培養技術が私の最大の関心事だった魚の免疫学と結びつかなかったに違いない。

その内、老朽化の著しいクリーンベンチは扉が止まらなくなり、蛍光灯も1つつかなくなってきた。私も一度入院し老齢化が著しくなり、そろそろ隠居生活が待ち遠しくなっている。それにつけても、学生さん、院生さんには助けられ続けてきた30年である。2008年から水産学部は海洋生命科学部になるが、老兵が消えるちょうど良いチャンスと考えている。11年間どうもありがとうございました。

# 移動回遊を続けた研究生生活 ～サケの降海回遊の謎に迫る～



教授 岩田 宗彦

## プロローグ

北海道大学で、アイソザイム分析をツールとしてスケトウダラ系群の分類を目指していた頃、学会でハワイから帰国された藤野和男先生にお会いした。先生は三陸に建設中の北里大学水産学部へ赴任されたばかりで、帰りに寄りなさいとお誘いを受けた。浦浜から崎浜までの砂利道は、乗っているバスより幅が狭く、山側の座席にしがみついた。学部には藤野教授と病理学の厚田助手だけがおられ、学生はいない初年度だった。鉛色の空から寒風が吹き付け、F1号館の窓が悲鳴を上げた。最初で最後の訪問だろうと直感した。あのころに研究生生活が始まり、幾つかの研究分野に携わりました。その一つ、サケの研究を中心にお話します。すこし長い話しになりますが、お付き合いください。

## 研究者への道

大学院入学時に受けた指導は、魚の外部形態を比較する統計技法でした。教授は計算尺の名手で、その技にはかなわない。院生室にタイガー手回し計算機があったが、開発されたばかりのカシオ計算機（記憶容量2数値）を買っていただいた。文部省が旧帝大に大型計算機センターを設置してくれたので、統計プログラムを作って使い始めた。スケトウダラの種内系統を生態学的に分離することを目指していたが、形態分析では手詰まりだった。何か分析技法がないかと論文を読み漁っていたとき、デンプンゲルで電気泳動したアイソザイムから対立遺伝子頻度を算出するRL Hunter and C Markertの論文に出会ったのです。化学系の先生や院生と議論し、実験の技法を理解して研究室を使う許可をもらった。夏から秋までベーリング海とオホーツク海で産卵群のサンプリング、冬は北海道の水産試験場を回って産卵魚を集めた。清水の遠洋水産研究所へお願いし、水産庁の研究費をいただいた。何事も自分で解決するおらかな時代でした。病気がちの教授に学位申請論文の原稿を出したらかなり驚いておられた。アメリカにポストクの職を見つけたけれど、そんなときに北海道中央水産試験場から今のテーマで研究を続けると機会を与えられた。学費を払って研究する身分から、研究して給料をいただける。毎年給料が何十%も増額した列島改造時代が幸いし、在学中に貯まった

理化学機器会社への借金を返せることになった。無茶な生活をしているとの自覚はなかったけれど、子供を抱えていた妻の冷や冷や感は相当なものだったろうと思う。職場の余市には、所属する北海道立中央試験場と国立北海道区水産研究所が同居していたので、ここでも拾い食いの習性は改まらなかった。研究費の報告で国立研究所には毎年来ていたし、標本を集めるため試験場とは顔なじみであった。それまで利用させていただいた国立研究所の化学実験室を使わせていただくことになり、実験補佐員にお手伝いを願った。私が厚かましいのか、そんな時代であったのか。その実験室の室長は、後に水産大学校長を務められた海藻学の三本管善昭博士で、パトロンでもあった。不思議なことに、余市でも試験場に所属し、研究所で実験をした。

## 技術の習得

私より先に魚のアイソザイムを始めた研究者がいることを学会発表で知った。その東大海洋研沼地健一先生から、大槌に新設される臨海研究所で仕事をしないかと誘っていただいた。東京の生活は騒音に満ち、考えることに集中できなかつた。研究所に近い借家は公園に隣接し、家族には良い環境だが真正面に消防署があった。夜になると存在感が際だった。希望して早めに東京を脱出したが、大槌臨海研究センターは研究施設ではなく工事現場だった。年間2億円程度の工事では、東京大学営繕部は専門家を常駐させない。飛んで火にいる新米助手へ次々と指示が来るようになった。緯度経度の線が引かれていない海の上を航行する航海術と、設計図が描かれていない地面の測量は似たようなもの。あれこれ工夫している内に測量屋の真似事ができるようになった。どうせ実験はできないのだから、この機会におもしろそうな建築業へ変身である。研究施設の建設には、設計・土木・建設・建具・電気・水道・排水・塗装、屋外水槽の配管・海からの海水くみ上げ・濾過施設・ポンプ室・高架水槽・防水加工など多岐にわたる技術が要求され、さらにそれを管理する必要がある。工事に関わる技術者は、個別専門の技術を持っているが、分野の違う他業種については全くの素人。何十種類の技術者が造りあげる施設を、後で誰が管理する？大槌センターの人事計画に維持管理の専

門技術職員は予定されていない。まさかと思いつつも、戦中生まれの貧乏性である。暇をもてあまして本を読むより、職人から技を見せてもらい技術を習う方が私の性に合っていた。あの時代の経験が、実験屋としてその後の財産になったと思う。

## サケの研究

実験機材の購入が盛んになり、新しい研究のテーマを考えていた。調査用の小型船やそれを係留する専用岸壁の整備も始めた。自分で船を出して大槌湾を散策しながら、此処ぞと思うポイントに潜って魚を観察した。度重なる営繕部の要請から逃げ出して、大槌川の河口で潜っているときにサケと出会った。生態学の基本は観察であり、観察から生まれる疑問を科学的に解決する。すでに簡単な生化学の手法で生態学を見つめる経験をした後だけに、親サケや稚魚の観察を十年続けても飽きなかった。船長と潜水士は同一人物、他に乗組員はいないのだから危なっかしいことをしたものだと思う。親ザケの観察中に河口の密漁刺し網に2度絡まった。最初は簡単に脱出できたが、2度目の事故で、神様に親ザケの観察は止めますと誓った。

稚魚は、一気に川を降り河口まで来るけれど、海域には入らないことを知った。川底に入り込む塩水クサビに出会うと、群れは右往左往する。観察結果は実に多くのことを教えてくれ、研究テーマを考える幅広いアイデアを与えてくれた。こんな折りに、海洋研究所生理学部門の内田清一郎先生、平野哲也先生を知った。浸透圧生理学の専門家で、私が進めていたサケ稚魚の川下り生態を、海洋研シンポジウムで発表するよう勧めてくれた。

## 研究テーマ

北大学部生の時に、宮地伝三郎の「動物生態学」について鈴木恒由先生から個人レッスンを受けた。この勉強が、船長への道から研究へ転進する動機になった。しかし、魚の生態を思い描いても、実際の研究方法は見えない。物差しと計量器では、新しい科学を見いだせない。生態を調節する仕組みを知りたい。そんな思いから魚の内側にある生理を知るため、血中イオン濃度の調節を調べ始めた。将来、サケ稚魚が一斉に川を降る回遊開始の仕組みを研究できればと夢を見ていた。おぼろげながら、それは脳の世界であり、私が生きている間に答えを得るのは無理だろうと感じていた。航海や漁業に始まり、生態学を学んで、アイソザイム研究に進み、ついに生理学の勉強を始めることになる。

海洋研究所の生理学部門に出入りしていると、内外の多くの研究者に出会う。ホルモンを研究対象とする著名な生理学者を知ることができた。話を聞いては論文を読む。全く専門外の世界に入ったのは40歳を過

ぎてからだった。そのころ、北里大学の川内浩司先生が精力的にサケの脳下垂体ホルモンを精製され、平野先生達が浸透圧調節に関わるホルモンの生理機能を調べる。責任が重い共同研究の世界を見た。

## 甲状腺ホルモンを対象とする

タンパク質ホルモンのような高分子ホルモン類は、その構造に種特異性があり、それらの分野の研究には生化学の知識と経験豊かな技術が必須であることを知った。ホルモンとその抗体、さらに受容体まで守備範囲を拡げないと研究は進まない。このころから脊椎動物共通の甲状腺ホルモンに興味を持ち始めた。両生類や魚類で変態促進の効果がよく知られている、比較的単純なアミノ酸誘導体ホルモンである。折からアメリカ西海岸のグループが、サケ類の血中甲状腺ホルモン(チロキシン:T4と、トリヨードサイロニン:T3の2種類のホルモンがある)濃度を測定する論文を発表した。さらに、サケの銀化変態後期の新月に同調して、血中チロキシン濃度が一過性に急増するT4サージ新月説を発表した。甲状腺ホルモンもその抗体も市販品である。私にも入手可能で測定系を作ることができるはずだ。海洋研究所から留学枠を得て、カリフォルニア大バークレー校のバーン教授の研究室に行った。甲状腺ホルモン新月説の論文を出した研究室である。文部省は10ヶ月の生活費を支給してくれたが、1ドル260円の時代で、日本の給料と合わせても10ヶ月間生きられるか不安だった。到着したその週末に末娘が腕を骨折した。健康保険は申請中であるから、明らかな経済的破綻状態である。急いでデータをまとめて2年間過ごせる研究費と生活費をアメリカから取得した。研究室にある電気生理の機器、イオン量の測定機、放射性免疫測定システムなどを使い手当たり次第に実験をした。行動分野でも、サケ稚魚が淡水と海水を選択できる行動実験装置を組み上げて、冷蔵庫を独占した。空いた時間は工作室に通って、プロの機械工から旋盤やフライス盤などの機械操作を教えてもらった。

フォルクスワーゲンの修理、テニス、フリスビー・ゴルフ、キャンピング、ご近所とのBBQを楽しみ、友人家族と随分旅行にも出かけた。骨折した娘の病院関係者、州アカデミーで工芸教室を展開していた妻と、4人の子供達が誇るマンパワーで作られるネットワークから、週末や休暇の度に誘われて忙しい日々であった。2年を経て生活や言葉に慣れたのは4人の子供達で、しかも若い方から順々に上達していた。念を押すほどのことではないが、私が最も年長者である。40歳からの滞在では、残念ながら語学能力が飛躍的に発達する変態は起きなかった。

## 甲状腺ホルモンと川下り

甲状腺ホルモンの一過性上昇を発表した研究室にいたのだから、その表も裏も承知することになる。学部学生はおらず、大学院生とポスドクだけで30名近くいた。研究費獲得に必要な条件が、目新しい結果による論文の量産であることも知った。サケ科魚類で甲状腺ホルモンの研究論文を追いかけてみると、90年代に急激に減少する。期待する研究成果が得られなかったに違いない。自分自身でも海水適応には効果がないとのネガティブデータを論文にした。川下り行動の開始にも、一定した実験結果が得られない。しかし、ある種の共通点に気づいた。血中ホルモン濃度が通常の10倍以上に急増する甲状腺ホルモン・サージは確かに起きるらしいが、毎月あるいは毎週サンプリングしても必ずしもサージに遭遇するわけではない。ごく短期間の現象らしい。さらに銀化変態の初期、すなわちそれぞれの鱗の一部が銀色になり始める時期に、血中濃度は低い。甲状腺ホルモン・サージは銀化変態後期、すなわち降河期にだけ見られる。劇的な甲状腺ホルモン・サージがどんな役割を持つのかを知ろうとして、毎年サンプリングをしてもサージを確認できないことが多いのだ。甲状腺ホルモンから撤退した多くの研究者に聞いても、気まぐれな結果に疲れていることが分かった。このテーマでは研究費を確保できないとの回答ばかりであった。焦って結論を得るには適切な研究テーマではないらしい。だが、競争相手が少なくなることは歓迎しなければならない。研究費さえ確保できれば、スローペースの私に宝の山が残されることになる。

そこで、もう一つ別のストーリーを考えることにした。銀化変態後期にサージが起きても、実はこのホルモンの主要な役割が終わっているのかも知れない。何かの刺激で甲状腺から血流に分泌されたホルモンは、肝心の標的組織で必要とされず、血液中に留め置かれることでサージ現象が起きる可能性もある。このように考えると、さらに納得がいく現象がある。銀化変態が始まる時期に、甲状腺濾胞が形態的に高い活性を示す。しかし、甲状腺ホルモンの血中濃度はこの時期に低く、その後なだらかに上昇し始めるのである。甲状腺からのホルモン分泌が活発であっても、標的組織が盛んに利用していればホルモンの血中濃度は上昇せず低いレベルを保つはずだ。甲状腺ホルモンはヒラメの変態でも重要な役割を果たしているのだから、銀化変態の始まりに関与すると考えれば、変態後期のサージは別の役割を考えた方が良さそうに思えた。変態後期のサージを狙って多くの研究者がしのぎを削り、そして撤退した。連中は一度痛い思いをしたから、宝の山に近づいてこないだろう。そこで、銀化変態の初期から中期にかけて、このホルモンがどんな役割を担っているかを調べることにした。

## 研究テーマと研究環境

研究テーマと研究場所の重要な関係を理解できるようになってきた。世界は広く、それぞれのテーマに適・不適の場所があると考えれば、英語論文の表現力で何歩も遅れをとる私にとって、研究テーマの選定と研究場所の選び方に工夫する必要がある。大槌の研究所では、30cm直径の鉄管を岸から150m沖合まで延ばして海底に敷設し、毎年プラスチックの弾丸を圧搾空気で押し込んでパイプの掃除をする設計だった。沖に太いパイプが浮かび上がった時には驚いたけれど！あんなに予算を使って海水を汲み上げているのに、淡水の供給はなかった。初期設計では井戸を掘ることになっていた。実際に掘ったら海水が出てきた！海岸の埋め立て地に真水の井戸を設計するとは？あれほど仕事をさせておいて、営繕部は真水の質問に対して一切返事をしない。大槌臨海研究センターでは、サケの研究が期待されるし、全国の研究者に対する共同利用研究が設立の趣旨だ。何としても水質と水温が安定した淡水が欲しい。周辺の沢から、25mmポリエチレンパイプを何本も導いたけれど、5月になると濁水することが分かった。山が小さすぎるので無理な算段だ。ついに、数キロ離れた大槌川の元河底に掘られた井戸から100mm鉄管で導水することになった。地下60cmに埋設したため水温は10～14℃に維持できた。昨年実験をしたが、いまでも支障なく機能していることは嬉しい限りである。

淡水の供給が安定したので、考えていた実験を順次組み立てた。サケ仔魚が卵黄吸収後、砂利層から水中に泳ぎ出る成長段階を浮上期と呼ぶ。大槌川のように急峻で流程が短い河川の下流域は短い。典型的な本州河川のシロザケ稚魚が、浮上後どんな生活をして海に降るのかを調べるため、ふ化場から200万尾の無給餌群を放流した。既に日本では法律により親サケの自然産卵はなく、人工的な種苗生産ならびに飼育放流だけになっていた。すなわち、川床から泳ぎ出てきて川から海へ自然に降るサケ稚魚の生態を調べることはできないのである。こうなるとゲリラ的に半自然降河群をねつ造する以外に道はない。この群を追いかけて観察すると、群が滞泳する場所は、流速や光の当たり方、水草の群落、川底の形状などの幾つかの要素に影響されていた。そこで、これらの特徴を1つ抜き出して集群行動との関係を見るため、何種類かの水槽を工作した。思いこみで作る実験水槽に水を入れ、魚を入れると、必ずしも川で観察した行動を再現してくれるものではない。作り直しは必定である。工作ができることが便利な点は、この微調整に時間がかからないことである。この頃のお気に入り手法はプリフェレンス（お好み）実験と呼んでいた手法だ。魚に複数区画のどこでも選べるようにし、それぞれの区画に条件を与えておいて、魚に答えさせる方法である。実験水槽から再現性のあ

る観察データが得られるようになると、浮上期から成長にともなって観察をする。例えば水草に隠れる行動は浮上期に顕著で、成長にともない水草群落の外で泳ぐ時間が増加する。この観察結果が、河川で見る結果と同じになれば1つ研究テーマができたことになる。成長の過程（変態の過程）で特定の行動が現れる時期に、甲状腺ホルモンが関与しているか調べる準備ができた。これらの観察を通じて、河川生活に適する行動パターンから、集団で川下りを始め、河口に半日滞留した後に湾内へ移動していく生態が明らかになった。川があり、大量の実験魚が放流でき、屋内の自作水槽で実験ができる。環境が整わなければ生態の研究は困難だろう。

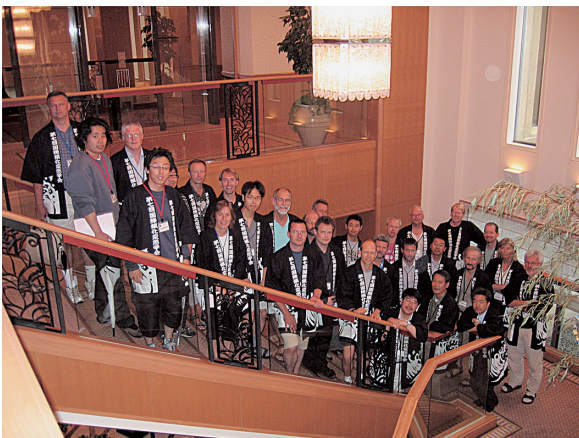
### 銀化変態の群れ行動

サケ科魚類の銀化変態は、淡水魚から海水魚に変わるための形態・生理・生態の変化をとまなう変態と考えられている。当然浸透圧調節に関わる生理変化が含まれるので、海水適応能の向上に甲状腺ホルモンが効果をもつか調べた。何年も繰り返したが結局否定的な結論になった。後年、海水適応を促進する最初の引き金が、川内先生からいただいた成長ホルモンを降海適期が過ぎたシロザケ稚魚に投与して分かった。平野先生グループに確かめていただいて、成長ホルモンが海水適応能向上の引き金であることが判明した。甲状腺ホルモンは形態的变化を調整することがよく知られていた。サケ科魚類でも体色の銀白色化や幼形から成体への変化がこれに当たり、多くの古典的な研究もある。さらに、河川生活から川を降り海に行く生態は、断片的な研究結果があるものの、これらの生態がどのように調節されるのかは誰も論じていない。観察ノートを読み、撮影フィルムを見る。ポイントを絞って大槌川に潜る。3月から4月まで数日の間隔を空けて、多量に稚魚を放流するシステムを作った。この方法だと次の放流で川に残っている稚魚がいないし、稚魚群を見つけないのに都合がよい。銀化変態が明瞭ではないシロザケ稚魚でも、卵黄吸収直後と1ヶ月飼育された後で

は、川での群行動が違っている。シロザケでは発眼期で既に海水適応能が発達している。浮上期には体側のパーマークがまだ見える。人工の飼料がなかった頃には、卵黄吸収時期の稚魚は無給餌で放流し、直ぐに海へ降った。形態的な変態は完了していないのである。したがって、シロザケに携わる人々には銀化変態の概念が乏しい。銀化変態が明瞭な他のサケ科魚類を扱えば、変態の進行と生態の変化がもっと詳しく調べられるだろうと考えるようになった。

日本のギンザケ養殖技術は、ニチロ漁業の養殖課が宮城県志津川で開発した。各種のサケ科魚類を発眼卵で輸入し、飼育の難易度を比較した。責任者の遠藤紀忠さんからギンザケの実験魚をいただいた。ノルウェーからタイセイヨウサケの発眼卵も送ってもらった。平田漁業協同組合で海水飼育したサクラマスから成熟卵を受精させて、魚種間の生態比較に興味を持つようになった。こんな折りに、農林省で大型別枠研究バイオコスモス計画が始まり、遡河性魚類制御チームのお世話を引き受けることになる。農林省の農林水産技術会議で月に何度かの会合があるが、それ以外は養殖研究所日光支所で研究室長をすることになった。日光支所には、日本の主要なサケマス類の系統が保存されているので、他のサケマスへ研究の幅を広げる絶好の機会になる。以前から考えていた「ナワバリ性」もその例であった。サケマス類のナワバリ性は、降河の時に見られる群れ性と相反する生態である。

実験を計画すると直ぐに問題に直面した。動物の種類にかかわらず、闘争行動では体の大きさが重要な要素になるが、浮上して直ぐに降河する1g程度のシロザケと1歳で10g以上、あるいは養殖では100gを超える銀化ギンザケを組み合わせても実験にならない。さらに、変態や降河時期に種間差があるため、過去に種間比較の研究論文は存在しない。シロザケやカラフトマスは、生まれて直ぐに海洋生活を始めるし、川で一生を過ごす陸封型も存在しない。他方でアメリカ東部から移植されたカワマス（ブルックトラウト）は100年も淡水生活だけで世代交代を続けてきた。サクラマス、ブラウントラウト、ギンザケ、イワナなどには陸封型も降海型もいる。大西洋から太平洋に移り住んだサケの仲間だけでも、進化過程で随分と多様な生態を持つ種に分化している。例えヒトが繁栄する以前であっても、サケにとって河川の餌環境は厳しいものであっただろう。餌をめぐる争いを有利にするためナワバリを持つと予想した。オーストラリアからのポストク Hutchison氏と、種内の攻撃性を一定基準でデータ化し、それを種間で比較することにした。予想通り、川に残らなければならないカワマスで攻撃性が激しく、海洋生活に依存するシロザケではほとんど攻撃性が観察できない。河川生活と海洋生活の両方を持つ種がそ



の中間であった。

宇都宮にある獨協医科大学の大竹秀樹先生から、行動・生態・生理学で時々講義をするようにとの要請があり非常勤講師になった。医学部には立派な放射性同位元素実験施設があるので、早速甲状腺ホルモンの免疫測定系を立ち上げた。銀化変態以前の河川生活では、乏しい川の落下昆虫などをめぐり、攻撃性を高めてナワバリをもつ個体は生存や成長を保証しやすい。しかし、攻撃性があると変態後集団による川下りができないだろう。冬から変態過程を追跡しながら行動実験を続けると、甲状腺ホルモンの上昇とともに攻撃性が低下する。最も攻撃性が低下する時期は降河時期に一致し、血中の甲状腺ホルモンがピークに達する。そこで、サケマスやスチールヘッドなど銀化変態する種と、変態しないカワマスを材料にして甲状腺ホルモンの攻撃性低下に対する効果を調べた。予想通り銀化変態初期に投与したホルモンは、攻撃性を低下させる。しかし、変態が起きないカワマスでは効果がなかった。現在日光支所の研究室長をしておられる東照雄氏と銀化変態や照度環境と個体間距離、すなわち集群性の研究を始めていた。川下りの実験にとって、群とは何かを知る必要があった。群の個体間ではお互いに近づこうとする引力と、近づきすぎないように斥力が拮抗することも知り、電車の中で感じる違和感を思い出した。

### 脳の研究を目指す

大槌から日光まで、各魚種で銀化変態と甲状腺ホルモンのモニターを続け、装置を変えながら川下りを解発させる因子を探していた。サケマス類ではヒトで有効な甲状腺ホルモンの分泌・合成抑制剤類が効果を示さない。さらにサケの甲状腺はヒトのような組織ではなく、動脈の周囲に濾胞が散在するため摘出手術ができない。甲状腺ホルモンや抑制剤投与実験で、降河行動の調節ができると信じるに足る結果が得られなかった。降河行動の解発因子は全く見当がつかない。日本のポスドク職を探していたIshwar Parhar氏を、ロックフェラー大DW Pfaff教授の研究室に訪ねた。銀化変態過程で神経ペプチド類の免疫染色やin situハイブリダイゼーションの実験をしてもらうことで日光に来てもらった。やはり各種の神経ペプチドの神経は、変態期に下垂体やその他の部位に伸びることが分かってきた。手当たり次第に神経伝達物質を投与しても、論理的な実験計画に結びつかない。そこで、これまでの実績から甲状腺ホルモンを基準にして見えない相手を探す方法を検討することにした。甲状腺ホルモンの血液中への分泌は、下垂体の甲状腺刺激ホルモン (TSH) によって制御されることはサケマス類でも証明されていた。哺乳類では、脳視床下部の甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン (TRH) が、TSHを分泌させることが知

られているが、サケマス類では違うと言われている。この分泌指令システムを明らかにしなければならないが、われわれの実験結果では間接的であるが生殖腺刺激ホルモン放出ホルモンらしいことが分かっていた。もう一つのアプローチを探り、降河時期にだけ起きるT4サージの引き金条件を決めようとした。

ヒトが集団で移住する条件として、例えば内戦や大災害により住み慣れた土地に危険が蔓延した状況を想定できる。いつ何処へ逃げるかを決める要素は、口伝えに伝搬する噂かも知れない。しかし、サケには言葉がない、と思う。ヒトの言葉に代わる集団内情報伝搬手段が存在しなければならない。個々のサケがその情報を感知して、同じ行動への動機付けがなければ、群による降河行動は起きないはずだ。その情報は、春特有の気象現象である可能性を否定できない。この情報さえ掴めば、人為的にT4サージを起こさせる実験モデルができることになる。釣り人の間でユキシロと呼ばれる雪解け水や水温低下が、この情報の一つであることを明らかにした。1リットルの飼育水に200mgの湿泥を加えるので、泥水モデルと呼んでいた。濁りはヒトの目で確認できる程度の薄い濃度である。しかし、このモデルをしばらく温存することにした。私の目標は、降河行動の解発であるので、脳を含めた研究の全体像がまだ見えていなかったからだ。しかし、脳を攻めるときに基準となるモデルができたことになった。これから先の実験を考えると、実際に川下りをさせる行動実験が重要になる。日光支所のサケマス類は淡水で生涯を過ごさせるため、銀化変態は1歳魚の春で体重が少なくとも50g以上になる。これだけ体が大きいと集団で実験水路を降らせながら、サンプルを簡単に捕まえるのは難しい。こんな時期に、北里大学水産学部へ移動することになった。最初に訪問した時の印象とは異なり、若者の活気に満ちた学部になっていた。

### 降河行動の解発を究める

古巣の大槌川に通ったが、さすがに川に潜る気にはなれなかった。7年居なかつただけなのに、川の水位が下がっていた。組合長に尋ねたところ上水道に利用する水量が格段に多くなったとのこと。街中の自噴井戸もほとんど枯れていた。もう一つの理由は、冷水ストレスで毛髪が抜けたまま授業に出るのも辛い。大槌川を主体にせず、ふ化場から大槌川まで400mの支流に着目した。ふ化場と支流をつなげて実験河川とし、岸から観察してサンプルをとることにした。放流方法も以前の通り整備して、新たなふ化場長との信頼関係も築いた。体が小さいシロザケ稚魚は集団行動実験に最適である。カムチャツカの火山噴火で堰き止められた湖で陸封になった集団を除き、シロザケと同様に全個体が海洋生活に移るギンザケを生理的な実験に使う



ことにした。サケ稚魚を放流すると、数分後にはふ化場の池で群ができる。群は池の中を集団で泳ぎ回り、周囲の魚を群れに引きつける。池の末端にあるコンクリートのダムを乗り越えて群は下流に泳ぎ出す。頭は海に向かってい

る。血液中の甲状腺ホルモン濃度は30分で上昇し、2時間後にはそれまでの10倍以上の高値になる。高い値を保ったまま川を下り、河口の塩水に会うと元のレベルに低下する。まるで作業の完了信号のように見える。修士課程に進んだ坪井浩寿君の研究成果である。

川下りをしている間はホルモンレベルが高く、海に達すると下がる。この魅力には勝てず、甲状腺ホルモンの人為投与と川下り行動の観察を再開することになるが、結果はこれまでと変わらない。いよいよあきらめることになる。あきらめるための実験でありながら、将来につながる実験計画を考えた。甲状腺ホルモンが銀化変態期や降河時期に使われる量や役割を推測できる結果が欲しかった。ギンザケの上顎には太い背大動脈がある。これにカニューレを刺して、甲状腺ホルモンを流し込み、必要な時間に血液を採集する。この実験を銀化変態のシーズンを通じて行うわけである。流し込んだホルモンが、必要な標的組織の細胞に取り込まれると血液から消えてしまう。血中から消えてしまう速さからホルモンの代謝率を計算できる。博士課程に進んだ小島大輔君のチームが担当して、銀化変態初期にホルモンが速く利用され、後期の降河期には利用が低下することを明らかにした。やはり、銀化変態初期には、変態のため多量のホルモンが必要であるが、後期には恐らく微量ホルモンで足りる別の役割があることを示す結果が得られた。川下りの際に匂いの刷り込みに甲状腺ホルモンが働くとして主張する論文がある。もし、脳神経で必要なら微量で大きな仕事をするはずだ。降河行動が、銀化変態の最終到達点であるなら、川を降り海に達するまで銀化変態は責任をとってもらわなければならない。きっと、いつかこの役割を知ることができると思うが、そのためには脳の仕事が積み重なって、その成果を手がかりにして逆に甲状腺ホルモンの役割を知ることになるのだろう。もう少し時間はかかると予想できる。

学生諸君と一緒にいると、研究所時代には考えられない人数で、細かな実験が可能になった。数分毎の採血サンプリングは、グラフで見れば何のことはない。しかし、実際の実験を想定すると、これまでは実施不可能と考えていた。大学ではこれが可能であった。1980年代世界中で追いかけたT4サージを、泥水モデルによって分単位で追跡し、サージの一幕が4時間以内のドラマであること。このモデルによって降河時期に、いつでもT4サージを人工的に起こせることも分かった。一方、千葉洋明准教授のグループは八幡平のヒメマスを用いて、泥水モデルでTSHの上位の神経ペプチドホルモンを探索した。小島大輔君のチームでもシロザケ稚魚やギンザケを用いて上位ホルモンを探索した。この上位ホルモンがTSHの分泌を指令するだけでなく、別途脳内の運動野に集団化や降河行動の解発を指令している可能性が考えられるからだ。この頃から第3脳室へ直接注射する技術の開発を始めた。これら一連の実験の最後には、直接脳へ投与した物質が降河行動の解発を促進するか調べる必要性が生まれると予測していた。腹腔注射と違い、脳への注射技術を容易に確立できるとは思えない。医学部で行うラットやマウスの脳室注射を見たことがあるが、何億円規模の研究施設である。実験を成功させるためには、注射の成功率を高める必要があるし、極めて短時間に作業をしなければならないだろう。体長数センチ・体重1gの稚魚が相手であるため、年数をかけて技術を高めた。

### 探し求めた相手

大槌時代にベニヤ板とFRPで作ったドーナツ型の回流水槽へサケ稚魚を入れた。この水槽の底は一部で10cm深い。そこは幅も一番広いため、流れは緩やかで稚魚が集まりやすい。照度の条件を整えると、この深みに稚魚が集群する。深みで待機していた群が一気に浅い水路へ泳ぎ出す実験に利用できる。流速の条件を工夫すると、積極的に下流に向かって泳ぐ行動を観察できる。稚魚がお互いに視認できる片側の水路で流下する個体数を数えると、集団の大きさ、すなわち集群度を判定できる。これらの流下個体数と集群度を総合して降河行動を判定できる。脊椎動物の各種行動を調節するとされている14種類の神経伝達物質を脳へ注射した。90%以上の注射成功率である。T4サージを起こす物質で、稚魚を集団化させ、下流に向かって泳がせる全ての条件を満たす「探し求めた張本人」は、成長ホルモン放出ホルモン(GHRH)であった。小島大輔君と彼のチームが手にした勝利である。

### エピソード

サケ科魚類のGHRH抗体がないため、ヒトGHRH抗体で免疫染色をしたが不十分な結果しか得られていな

い。行動野を特定し、c-fosによる神経発火の確認も必要である。他の魚種や動物で若齢期の回遊にGHRHが関与しているか確認が必要だ。私の研究は、荒野をさまよい脳にたどり着いて終わった。この城壁の内側にどんな世界があるのか？一筋縄では解けない謎の山だろう。これから先の研究を新しい世代に託して、私はパーマカルチャーに挑戦することにしよう。小島太輔君は、ノルウェーのトロムソ大学でポストドクを続けている。この冬はオーロラの下で謎解きに明け暮れ

ていた。

北大の浦野明央教授は、親サケの産卵回遊を引き起こす生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH）に関する一連の研究成果を収められた。幼稚魚が川から海へ成長のために回遊し、逆に親サケは海から川へ産卵のために回遊する。それぞれの回遊行動の引き金が、成長と成熟を司る神経で制御されるとは！なるほど道理である。「進化」に無駄があれば、生物は生き残れなかったはずだと納得する。

## 水産学部での13年を振り返る



教授 酒井 隆 一

この文は、私が13年間お世話になり、苦楽を共にした北里大学水産学部の皆さんのもとを去り、北海道大学水産学部への船出にあたって書くものです。皆さんにこのような形で発することのできる私の最後のメッセージとして感謝の気持ちを込めながら。

私が、この水産学部へ赴任したのは1994年でした。私が34歳のときです。それまで私はイリノイ大学で博士研究員として、海洋生物の低分子生理活性成分の探索と構造決定の研究を行っていました。水産学部での13年を振り返るにあたり、まず、私がこの大学に職を得たいきさつについてお話したいと思います。そのまえに少し長くなりますが、私がアメリカで研究生活をするに至った経緯を紹介させていただきます。

私は1979年に琉球大学理学部海洋学科に入学しました。琉球大学を選んだのは沖縄の海に対する漠然とした、しかし強い憧れからでした。入学して私の選択は間違っていないと確信しました。信じられないくらい青い海、色とりどりの生物、音楽、文化、泡盛。沖縄にとどまれるなら、と迷わず大学院に進学し研究（≒海）を楽しんでいると、いつの間にか修士修了。その当時琉球大学には博士課程はなかったものですから、やむなく就職活動を始めました。しかし「やむなく」行う就職活動がうまくいくわけありません。希望する会社の条件は「海が近くにあること」「自由に研究させてくれること」でした。今考えると、お話になりません。研究室に戻って実験していると指導教官であった比嘉辰夫先生が「教授室に來い」と。また何か怒られるのだろうとビクビクしながら先生の部屋に入ると、満面に笑みを浮かべた教授が（こういうときは危ない）「君、アメリカに行かないか？」「ハア？」とか、「マジッすか？」とかいう感じだったと思いま

す（当時はこのような表現はなかった、ように思う）。お話を良く聞いてみると、フロリダ州にあるハーバーブランチ海洋研究所というところで、SeaPharm（シーファーム、海から薬、という意）プロジェクトが立ち上がる、海洋生物由来の医薬品を見つける仕事だ、と。これはまさに「海が近く」にあり、「研究」できる条件ではありませんか。二つ返事で「行きます」といって、はたと気づいたのは「そういえば、英語できないじゃん」ということでした。恐ろしくなって、毎日「NHK英語会話」を聞きました（結構、というか、すごく役に立った）。

1985年から1987年までの1年半フロリダで研究生活を送るうちに、「やはり、研究は面白い」と強く思うようになりました。しかし同時に遊んでばかりいた自分の無知と甘さを痛感する日々でもありました。そのときSeaPharmの顧問をしていたイリノイ大学のラインハート教授と出会いました。ラインハート教授は海洋天然物化学の世界では有名でいわゆる“big name”，そのような人とお話ができるだけでも光栄なことでした。そんな時、再び比嘉教授に呼び出され「イリノイ大学で、ドクターコースに入らないか？」と。どうやら、ラインハート先生と話しをつけてくれていたようです。このときばかりは私も「引き」ました。まさか自分がそんな大それたことを。アメリカ人の友人たちにも「大変だぞ」とか「懲役5年」（学位取得の平均年数は5年）とかいわれて。どうやら比嘉教授は「酒井は、とにかく良く働くからよろしく」とラインハート先生に推薦してくれたようです。確かに、「よく働く」と「健康」だけがとりえだったような気がします。

イリノイ大学では日本で取った単位はまったく認め



写真1：イリノイ大学時代（28歳）



写真2：イリノイ大学時代（29歳）  
フロリダにサンプリングに行った時のもの



写真3：北里大学教員宿舎にて（37歳）

られず、すべてゼロからの出発。ちょうどそのとき日本に残してきた彼女にもふられ、まさに原点に戻ったという感じでした。イリノイ大学では、22～3歳くらいの優秀なアメリカの学生、修士課程を取ってから来た韓国や中国人、そして日本人も含むポスドク（博士号を取ってから研究員として雇われた人）と、いろいろな人に囲まれて勉強や研究をすることができました。毎回の授業が真剣勝負でした。授業で板書のスピードについていけなかったときに後で自分のノートを貸してくれたアメリカ人の友人や、基礎的なことを丁寧に教えてくれた韓国人の友人。ほんと、みんなに感謝しています。

無事、博士号を取得したのは1991年の秋でした。そのとき手がけていた仕事が、後に海洋生物由来の抗がん剤として始めて認可（2007年EUで認可）されたエクテナシディン（商法名Yondelis）の単離と精製法の確立でした。ちょうど、博士研究員としてハワイ大学に行くことが決まっていたのですが、その仕事を続けるべくイリノイ大学に残ることを決意しました。

抗がん剤の仕事もひと段落がついた頃、ロードアイランド大学の清水譲先生から突然のお電話をいただきました。こんな会話だったと思います。清水先生「きみ、日本で就職する気ある？」、私「どんな所でしょうか？」、清水先生「いいところがあるよ、北里大学水産学部、研究できるよ～」。清水先生は、北里大学水産学部は海洋生物の研究をするにはものすごく条件の良い所で、何でも好きなことができるよ、とおっしゃっていました。おまけに「イリノイみたいに田舎だよ」とも。

こんな経緯で私は神谷久男教授のもとで最初から助教授という身に余る待遇で赴任する運びとなったのです。赴任する直前に三陸キャンパスを見学しに来た私を、当時の資源化学研究室の4年生は八幡平にドライブに連れて行ってくれ、バーベキューや飲み会を開いてくれました。

赴任直後は神谷先生、私、そして水産生物化学研究室内の児玉先生の下で学士号を取ったばかりの坂本節子さんの3人の体制でした。学生の「習性」を知り尽くした坂本さんに助けられながら何とか一年が過ぎ神保

先生が新しい資源化学研究室のメンバーとして赴任されました。それまで、有機化学中心の研究ばかりだった私にとって北里大学の研究環境は刺激的でした。有機化学の研究に必需品の機械（すごく高価）はないものの、釜石にある海洋バイオテクノロジー研究所（MBI）に行けば何でもあります。低分子有機化合物中心の研究には少し不自由であったこの環境が私の今の研究スタイルを作ったのではないかと思います。

生物は生きてゆくためにいろいろな化学物質を作り出し、利用しています。そこに繰り返られる生命現象を制御する化合物はタンパク質、ペプチド、糖類、低分子化合物、無機化合物やイオンと様々です。もし、「微量で生命現象にかかわる化学物質」を「生理活性物質」と呼ぶのであれば、それを「生命現象の解明」に絡めて研究するのに、こちらの都合で分子のサイズや種類にこだわることはできません。生命現象を制御する物質—それが無機物でもタンパク質でも—について知ることが大切です。いろいろな生命現象に興味をもち、それぞれの研究室で特色のある研究を進めている水産学部では、研究者がいろいろな手法を駆使して研究を行っていました。私にとっては未知の手法もたくさん学ぶことができました。そうして、私の有機化学を中心とした手法に加え、遺伝子を操る分子生物学（神保先生、小檜山先生）、タンパク質を調べる生化学（神谷先生）、細胞そのものをみる顕微鏡を使った手法（小池先生）、それぞれのエキスパートたちに力を貸していただき、心の中の「なぜだろう？」という気持ちを膨らませながら実験を進めてきました。色々な研究者と共同で色々な手法を組み合わせることで、自分ひとりでは到底手が届かない幅広い範囲の物質や現象を扱うことができたように思います。

これから水産学部は海洋生命科学部が変わります。名前は変わっても、みなが助け合って海洋生物がその生命現象を通して私たちに教えてくれようとしていることを学んでゆく、そんな特徴はこれからも変わらないでしょう。私はここを去りますが、これからも研究を通じて皆さんと関わっていただけるとこの上ない幸いです。

ここまで、思うがままに私の水産学部での14年とそこへつながる道筋について書きました。節目節目で、

いろいろな人に助けられ、背中を押され、そして支えられて生きてきましたが、海の不思議と楽しさ、そして美しさに魅せられてこの道を選びそしてここまで導かれたことを感謝します。

最後になりましたが、私の研究に興味を抱き、研究の原動力となってくれた研究室の学生の皆さんに心か

ら感謝いたします。また、研究だけではなく変わり行く教育・研究現場で苦楽を共にしてきた教職員の皆様、有難うございました。快く機器を使用させて頂いたMBIの方々、MBIの御協力なしには私の研究はほとんど進行しなかったといえます。この場を借りて感謝いたします。

## 学部通信

### 〈平成19年度卒業予定者の就職内定状況〉

(平成20年2月末日現在) (学生課)

区 分	水産生物科学科		
	男	女	計
卒業予定者(人)	120	43	163
就職希望者(人)	92	32	124
就職内定者(人)	90	29	119
就職内定率(%)	98	91	96
進学者数(人)	21	11	32
その他(人)	7	0	7

### 〈学部の主な行事〉

1. 高校生のための海洋生物科学シンポジウム  
開 催 日：平成19年7月7日(土)  
開催場所：釜石市民文化会館  
参加学生数：250名
2. 平成19年度水産学部1年次生体験学習  
開 催 日：平成19年7月30日(月)～31日(火)  
開催場所：新江ノ島水族館及び海洋研究開発機構(JAMSTEC)  
参加学生数：195名
3. 理学部「野外演習」  
開 催 日：平成19年8月5日(日)～8日(水)  
参加者：引率教職員7名(教員3名 職員1名 大学院生3名) 理学部学生20名
4. 平成19年度水産学部1年次生臨海実習  
開 催 日：平成19年10月6日(土)～7日(日)  
開催場所：横浜国立大学教育人間科学部附属理科教育実習施設  
参加学生数：26名
5. 水産学部教員研修  
開 催 日：平成19年12月19日(水)  
開催場所：F1号館3階実習室  
テ ー マ：ITを利用した教育支援

### 〈人事異動〉

- 定年退職【平成19年3月31日付】
- 長久 英三 (応用生物化学講座水産食品化学研究室教授)  
平成2年9月1日着任
- 神谷 久男 (応用生物化学講座水産資源化学研究室教授)  
昭和54年10月16日着任

### ○新任【平成19年4月1日付】

三宅 裕志 (環境生物学講座水圏生態学研究室講師)  
山田雄一郎 (環境生物学講座水産微生物学研究室講師)  
水澤 寛太 (水産増殖学講座海洋分子生物学研究室講師)

### ○昇任(教員)

【平成19年4月1日付】

菅野 信弘 (応用生物化学講座水産食品化学研究室助教授から教授)  
酒井 隆一 (応用生物化学講座水産資源化学研究室助教授から教授)  
林崎 健一 (環境生物学講座水圏生態学研究室講師から准教授)  
筒井 繁行 (水産増殖学講座水族病理学研究室助手から助教)  
横山 雄彦 (応用生物化学講座水産食品化学研究室助手から助教)

【平成19年9月1日付】

中村 修 (水産増殖学講座水族病理学研究室講師から准教授)  
筒井 繁行 (水産増殖学講座水族病理学研究室助教から講師)

【平成20年1月1日付】

神保 充 (応用生物化学講座水産資源化学研究室講師から准教授)  
横山 雄彦 (応用生物化学講座水産食品化学研究室助教から講師)

### ○昇任(職員)【平成19年7月1日付】

及川 善裕 (事務室課長代理)

### ○配置換【平成19年7月1日付】

前田 昌彦 (事務長) 医療系研究科事務室より着任  
広野 彰 (教務課主任) 医療系研究科事務室より着任  
笠原 篤 (前事務長) 医療衛生学部事務室へ  
(平成16年4月1日付着任)  
伊藤 茂樹 (前図書館主任) 医学部事務室へ  
( 同 )  
安藤 圭介 (前教務課主任) 人事部へ  
( 同 )

### \*編集後記\*

編集は神保充、小檜山篤志、吉永龍起の3名が担当しました。今後も、皆様からの積極的な寄稿をお待ちしております。

### 北里大学水産学部だより

編集・発行：水産学部だより編集委員会  
〒022-0101 岩手県大船渡市三陸町越喜来字烏頭160-4  
TEL 0192-44-2121  
<http://www.kitasato-u.ac.jp/fish/fisheries.html>  
E-mail : [suisan@kitasato-u.ac.jp](mailto:suisan@kitasato-u.ac.jp)  
平成20年3月12日