

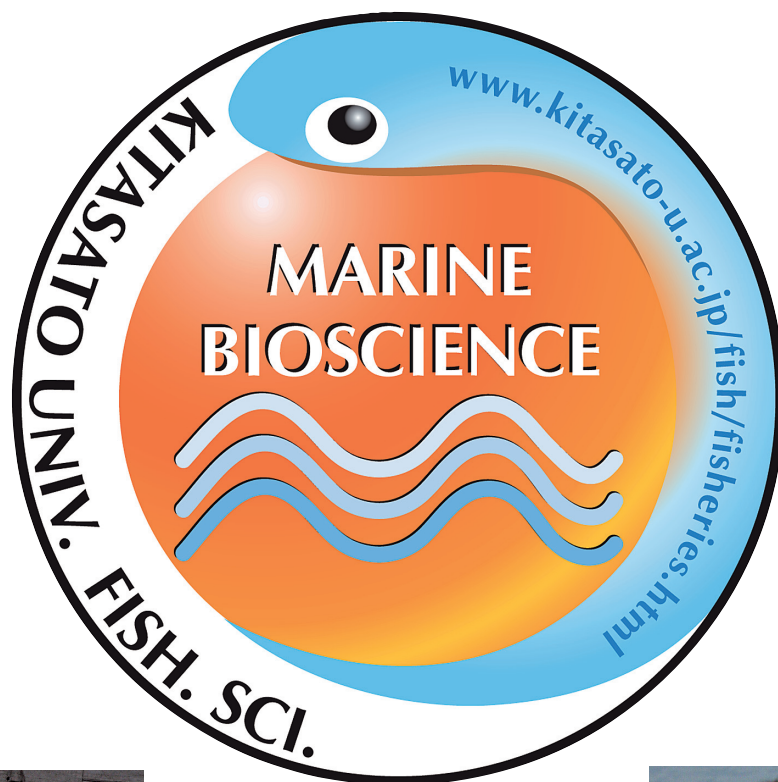
北里大学水産学部だより

No.33

平成19年 3 月

学部長挨拶……………緒方武比古
アメフラシ、フジツボ、そしてサンゴ
ー三陸生活をふりかえってー……………神谷 久男
人生いろいろ・研究いろいろ……………長久 英三
プランクトンの発生が原因となる貝毒……………児玉 正昭

酵素のたのしみ……………菅野 信弘
海藻の資源解析……………林崎 健一
サケの成長のメカニズムを探る……………森山 俊介
拝啓 三陸の地でお世話になった皆様へ…小池 一彦



新しい水産学部のロゴマーク（上）と
原案を作った学生（左右）。
左：渡邊 雅子さん
右：倉持 健さん
（ともに平成17年度卒）



学部長挨拶

水産学部長 緒方 武比古



児玉前学部長の後任として、昨年7月より学部長を務めさせて頂くことになりました。この場を借りて就任のご挨拶を申し上げます。

水産学部は昭和47年の開設以来、既に5千名を超える学部卒業生を送り出してきました。修士、博士課程修了生は留学生も含めそれぞれ203名、30名に及びます。卒業生諸君の各分野でのご活躍はしばしば耳にするところで、近いところでは水産関係の岩手県職員のうち約1割が卒業生によって占められているとのことです。水産業界ならびに関連分野での本学部の占める位置が確固たるものになりつつあることを強く感じる昨今です。この様な状況は、恵まれたとはいえない条件下であっても、水産学部が社会の期待と要請に応える努力を積み重ねてきた成果であると自負するものです。学部は開設当初から研究活動の活性化に取り組んできました。大学院生、卒論生とともに昼夜を分かたず取り組んできた研究の成果は国内のみならず国際的にも高い評価を受けています。学会賞受賞者の多数輩出や高い文科省科学研究費補助金採択率はその証左といえるでしょう。また、このような研究に卒業論文等で関与することにより学生諸君の自信、充実感、課題解決力が醸成され、本学部卒業生の学部満足度の向上や卒業生に対する企業からの高評価に繋がっていると思われまます。一方、本学部では有為な人材を世に輩出する社会的責任を果たすべく、教育力の強化にも一貫して取り組んできました。2002年度には学生が学部を卒業する際に獲得すべき能力や知識、いわゆる学習・教育目標を定め、教育プログラムの構築を目指してきました。本学部の教育改善への取り組みは、2004年度のJABEE認定により一部結実したと考えています。教育プログラムとは学生による学習・教育目標の達成を支える学習・教育量、教育手段、教育組織、教育環境、教育改善を組織的に整備・運用するシステムを指します。これは、学習・教育における学生と大学の責任を明確にすることで、教育を分かりやすいものにする試みと言えるでしょう。入学した学生に大きな付加価値を付与して社会に送り出すべく、今後も教育プログラムの充実を図りたいと考えています。

一方、近年学部を巡る環境は決して安泰とはいえない状況にあります。少子化、国立大学の法人化、相次

ぐ大学、学部、学科の新設に伴い大学全入時代に突入した現在、大学間の競争的環境はますます厳しさを増しています。特に、地方にキャンパスを置く大学・学部においては志願者数減少の傾向が顕著といわれます。同系大学、学部間での競争に勝ち抜いて行くには、学部の特色と独自性をより鮮明にして社会、受験生にアピールしてゆくこと、ならびに学部の問題点を可能な限り解消してゆくことが不可欠です。生命科学の総合大学として社会への貢献を目指す北里大学にあって、水産学部は水産学を「多様で豊かな海洋生物資源を対象として、それらを持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、海洋生命過程の理解を通して海洋生物資源の利用を考える教育・研究を展開してきました。この教育・研究理念は、本分野学問の将来像、すなわち“新たな水産学”を先駆的に提唱したものであり、本学部の最大の特色と認識しています。特色ある教育・研究をさらに推進し、社会にその理解を得ていくことが、本学部の将来にとって極めて重要であると考えます。一方、我が国の水産業は良質で機能性に富んだ食糧である魚介類の供給という重要な責務を担いつつも、水産資源の減少、沿岸水域の環境悪化、漁業就業者の減少など厳しい状況にあります。最近では、欧米、中国などにおける水産物消費量の急激な増加に伴い、近い将来我が国における消費量確保さえ難しい状況になるとの予測もあります。食糧源としての魚介類を将来にわたって確保するため、いま水産業は資源管理、環境保全型への全面的な転換が迫られています。このような転換は最終的には国際的、経済的、政治的対処に依存するのかもしれませんが、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。水圏生物利用に関わる学問分野の責務はますます重要性を増し、まさにその真価を問われている時代と言えるのではないのでしょうか。

学部運営に当たっては当学部がこれまで積み上げてきた実績・実力を継承するとともに、教職員の衆知を集めて将来にわたる水産学部のあるべき姿を描き、その実現に力を尽くしてゆきたいと考えています。今後とも学部への皆様の厚いご支援とご理解を賜れば有り難く、よろしくお願い申し上げます。

アメフラシ、フジツボ、そしてサンゴ —三陸生活をふりかえって—

水産資源化学研究室・教授 神谷久男



三陸町に水産学部が開設されたのは昭和47年。東大農学部橋本芳郎教授の新米助手としてシガテラなど海洋生物毒の研究と、判断力、勘、持続力を養うための雑技に没頭していた頃である。三陸に赴任された児玉正昭氏から聞く三陸の生活は都会生活しか知らないものには驚きであり、新鮮でもあった。もっとも三陸という場所は私にはまんざら無縁というわけでもなかった。厚生省予防衛生研究所で行なった卒論テーマは「大船渡湾で発生したアカザラガイによる食中毒の原因物質」であったし、アワビ中腸腺による光過敏症の原因物質を研究された橋本芳郎先生からは昭和30年代の崎浜でのサンプリング裏話をよく伺っていたからである。ただ、結婚したての私には、やがて三陸に住むことになるとは予想だにできなかったことは確かである。

恩師の橋本芳郎先生が急逝され、呆然としていた私に米国ロードアイランド大学薬学部清水譲教授のもとで2年間博士研究員として過ごす機会が与えられた。三陸生活での研究テーマとなった海洋生物レクチン¹との出会いはこの研究室においてである。レクチンの文献を読んでいて驚いたのは、すでに1903年、海産無脊椎動物の血球凝集素の検索が日本人によって行なわれていたことである。著者はH. Noguchi。清水先生に伺うと、「彼こそウッズホール海洋生物学研究所時代の“野口英世”博士である」という。野口博士は学祖北里柴三郎先生の高弟の一人であり、個室を持つことが許される研究者として1902年から3回にもわたって同研究所に滞在されている。日本人には黄熱病研究が有名であるが、野口博士が動物レクチン研究の先駆者でもあったことにビックリしたことを憶えている。今にして思えば、これが北里大学との縁の始まりであったのだろう。

2年間の博士研究員生活を終え、昭和54年10月水産学部水産衛生学講座助教授として奉職することとなった。「あの学部には研究意欲に燃えたすばらしく優秀な若い人」が多いという清水譲先生の言葉が決め手となった。以来、意欲的で人間味豊かな教員、事務職員の方、またときに野性味あふれる学生諸君との三陸

生活を26年間過ごすこととなった。アメリカで得た二つの教訓「大学で生き残るにはペーパーを書くこと、大学が生き残るには教員がactiveなこと」はこの間ずっと念頭にあったと思う。

すべてはアメフラシとフジツボから始まった。

昭和56年度から水産衛生学講座を担当することとなったが、清水先生のお許しを得、また松浦文雄学部長にお願いして、講座の研究対象を重金属中心からレクチンを主テーマとする海洋生物の生理活性物質に大きくシフトすることとした。それにともない講座名称も水産資源化学講座と改めた。当時、海洋無脊椎動物レクチンは精製が難しかったり、量を確保できないものが多く、分子レベルでの研究がまだ少ない時代だったこと、アメフラシ、フジツボなどの無脊椎動物が浪板海岸に幾らでもいたし、マアナゴが欲しければ一船分でも購入できるなど研究材料の入手についての不安がなかったことなどが幸いして、研究は比較的順調に進んだ。さらに助教授として迎えた村本光二氏（現東北大学教授）が卓越した分析能力を発揮して、次々と海洋生物レクチンのアミノ酸配列を明らかにしていった。なかでもアカフジツボレクチンは全アミノ酸配列が明らかになった最初の海洋無脊椎動物レクチンとなった。学内外との共同研究を積極的に進めたことで、マアナゴ体表粘液レクチンのX線構造解析や生体防御因子としての特異な機能も明らかになった。最近では八放サンゴレクチンが褐虫藻の形態を制御し、共生関係を構築する上でカギとなる重要な化学物質であることを初めて実験的に証明することもできた。アメフラシ、魚卵、サンゴ類、深海生物レクチンなど当研究室における海洋生物レクチンの構造と生体における機能に関する研究成果は外部からの高い評価を得てきたと自負している。また、レクチン研究が発端となって、長い間、卒論テーマとして学生諸君を悩ませたアメフラシの抗菌・抗腫瘍タンパク質（最近、神保充講師によってL-アミノ酸酸化酵素であることが判明した）を発見するなどの幸運にも恵まれた。10年前、村本氏の移動を契機に「低分子から高分子まで」の生理活性物質研究を充実、発展させるため、天然物化学をバックグラウンドとする酒井隆一氏を、さらに分子生物学を専門とする

¹ レクチンとは、糖に特異的に結合するタンパク質であり、生体防御や老廃物の除去など様々な作用を持つ。

神保充氏を研究室に迎えた。海洋生物の生態を支えるメカニズムへの素朴な好奇心を原点とし、異なる専門知識が融合したユニークな研究室がこうして出来上がった。

今、三陸での26年を振り返ってみると、研究の原動力になったものは学生・大学院学生諸君の存在そのものであったことを強く感じている。あらためて、とも

に学び、遊び、実験に励んだ諸君に感謝したい。水産学部を去るにあたり、研究室における教育・研究活動を支えてくれた歴代の教員諸氏、種々の示唆と励ましをいただいた学部の教職員諸氏に深く感謝するとともに、わが国における海洋生命科学を推進する水産学部のさらなる発展を願っている。

人生いろいろ・研究いろいろ

水産食品化学研究室・教授 長久英三



民間企業で17年半、本学で16年半、更に大学院を加えると40年近く、いわゆる「研究」に携ってきたことになる。しかしながら大学における研究と民間企業における研究は同じではない。その違いを「基礎研究」と「開発研究」あるいは「応用研究」という言葉で考えてみたい。ただ私のイメージの中では「応用研究」は「基礎研究」と「開発研究」の間にある。すなわち「開発研究」が最も実用、言い換えれば製品あるいは商品に近い研究との位置付けである。このイメージを前提として、企業における17年間と大学での16年間の研究生活から得た感想を述べてみたい。

博士課程を人より1年余計に過ごし、民間企業に就職した。大学院在学中2度ほど他大学の助手の口がかかったが、当時はアカデミックでの研究は自分には向かないと信じ、余り乗り気を示さなかったら先方から断られた。そんな訳で1年留年しながらも何とか博士課程を修了し、教授の推薦で就職できた民間企業の中央研究所は正に望むところであった。

私が就職した当時、その研究所には学位を持った研究員（当時の所員約60名、研究補助を含む）が2名いたが、学位を持って入社したのは私が初めてだったようである。入社当初は同期の学卒新入社員と一緒に3ヶ月間の工場実習、販売実習、乗船実習などの新入社員研修を受け、中央研究所に配属になった。そこから私が私の言う「開発研究」の始まりである。

最初に与えられたテーマはカニの黒変防止法の開発であった。当時北洋で獲れるズワイガニはボイル後冷凍されて日本に持ち帰られていた。それをボイルしないで冷凍（生冷凍）できれば品質、生産性の両面で大きなメリットが期待されていたが、解凍後に黒変し、著しく商品価値を低下させることから実用化されていなかった。この問題を解決せよとの業務命令である。

カニの黒変現象はエビのそれと同じで、チロシナー

ゼという酵素が引き金になってメラニンが生成するためである。そしてエビではこの黒変問題は既に解決していた。というのはある食品添加物を使えば防止できることが分かっていたのである。ただその添加物の製品への残存量が規制されており、規制値以内では現実的に黒変防止効果が得られなかったことから、エビを取り扱う業界（多くが大手商社）はその規制値の緩和を政府に働きかけ、エビでは特例的に3倍以上に緩められたのである。しかしながら、なぜか同じ甲殻類であるカニについては適用されず、北洋のカニはボイル冷凍のまま流通することとなった。

筆者が検討したカニの黒変防止法はエビに使用された添加物の利用を前提とした。あとは如何に残存量を抑えて黒変防止効果を保つかである。そこで黒変の引き金となるチロシナーゼの酵素性状を詳細に検討し、その活性を阻害する要因を探し、それらを組み合わせることによって残存量の規制値内で目的を達成した。このプロセスで研究といえそうなのは酵素の性状を調べたことくらいであり、後はむしろ既知情報の調査とそれらを如何に組み合わせるかという工夫だけである。しかしながら、このコロンプスの卵のような研究？成果が年間数億円の利益を生み出した。一方、筆者が直接関わったテーマではなかったが、EPA（エイコサペンタエン酸）の医薬品開発のように大学や医薬品メーカーとの共同研究体制の中で10年という歳月と（多分）数十～数百億という資金を投入した研究もある。

開発研究といってもこのようにピンからキリまであり、「基礎研究」と一線を画せるものではないことは今更言うまでもない。ただ、前述のカニ黒変防止法の開発例のように、学術論文にはならない研究であっても企業として大きな利益を生み、結果として社会に貢献する研究は幾らでもある。

そうしたピンからキリまでの開発研究を17年間（最

後の数年間は実務より管理的な仕事が多くなり、徐々に興味を失ってきた) 続けた後、本学に赴任した。当初は開発的な観点からの研究(応用研究)を目指したが、なかなか国の科学研究助成金に採択されず、民間企業からの助成金で凌ぎながらいわゆる基礎研究にシフトしていった。しかしこれもまた大変難しい仕事である。最も大きな違いは開発研究には目の前に具体的な目的があり、その目的を達成すればそのテーマは一旦終了するのに対して、基礎研究の目的は概してエンドレスである。1つ目的を達成すればその先に新たな目的が生ずる。その積み重ねが大きな成果になる場合

水産学講座

プランクトンの発生が原因となる貝毒



児玉正昭

海洋には5000種を超えるプランクトンが生息しているといわれ、その大部分は植物性のプランクトンである。このうち約40種類はヒトの食中毒の原因となる強力な毒作用を持つ物質を含んでいる。これら毒は食物連鎖を通して二枚貝に蓄積し、これを食べたヒトに時に死を含む重篤な中毒を引き起こす。このような現象を一般に貝毒と呼ぶ。現在4種類の貝毒が知られているが、このなかで世界における分布が広く症状が急性で致死率が高い、最も危険な麻痺性貝毒について解説する。

麻痺性貝毒

二枚貝を食べると時に口の周りが痺れることがある。痺れはやがてほほに広がりやがて体中に広がってゆく。重症の場合は歩けなくなり、呼吸が困難になり死亡することもある。このような特徴的な症状を伴う貝中毒を、中毒がよく起こっていた北米の人たちはparalytic shellfish poisoningと呼んだ。麻痺性貝毒という言葉はその直訳である。この中毒は魚貝類を食料としてきた人たちの間では古くからよく知られていたようで、貝の毒化が特定のプランクトンの発生と関係があることに気付いていた人も少なくなかったようである。例えば、アラスカ沿岸のインディアンは麻痺性貝毒の原因となるプランクトンが蛍光を放つことを知っており、暖かい時期になると海を見張ったという。これらの地域では収穫した貝類をすぐには消費せず、一部を隣におすそ分けして様子を見るような人もいたようで、同じ貝類が回りまわって戻ってきたというようなブラッ

もあれば、必ずしも結果的にそうならない場合もある。基礎研究とはそういうものであろう。

近年本学でも大学院に進学する学生が増えている。このこと自体は大変喜ばしい傾向であるが、院を終了すれば社会に出て仕事をすることになる。その時、大学や専門研究機関だけが研究の場ではなく、様々な職場に「研究」の場があることを考えて欲しい。

紙面の関係で舌足らずな文章になってしまったが、これから「研究者」を目指す学生諸君に意とすることを汲んでいただければ幸いである。

クジョークもある。

研究の進展

麻痺性貝毒に関する科学的な研究が開始されたのは1930年代になってからである。北米の太平洋、大西洋両岸で頻発する麻痺性貝毒は、植物プランクトンの*Alexandrium*属渦鞭毛藻(当時は*Gonyaulax*属と呼ばれていた)の持つ毒が食物連鎖で貝類に蓄積することが原因であると科学的に証明された。特記すべきことは、これらの研究で考案されたマウスを用いる毒の定量法が、現在も世界の多くの国で貝類の安全消費を保障するための毒測定の公定法になっていることである。

これらの研究に端を発する研究の発展により、毒化原因となるプランクトンの分類、生態の詳細が明らかになり、その生活史を含む生理・生態についても多くの知識が蓄積された。これらの種は生活史の中に有性生殖する時期を持ち、環境が増殖に適さなくなると有性生殖してシストと呼ばれる“種(タネ)”を作り海底に沈み、環境が再び増殖に適するときまで休眠することも明らかになった。これらの種が一旦発生すると同海域で発生が繰り返し起こるのはこのことによる。毒については北米で好んで消費されるオオノガイから精製されたサキシトキシン(STX)の性状が詳しく調べられ、STXがフグ毒テトロドトキシンと同様の作用を示すことが示され、麻痺性貝毒の中毒症状がフグ中毒と区別がつかないことの理由が明らかになった。毒としての強さもフグ毒に匹敵する。

毒成分に関する研究が進むにつれ、毒成分はそれま

で考えられてきたSTXだけではなく、これとよく似た化学構造を持つ多くの同属体からなることが明らかにされた。現在では20を超える毒成分の存在が知られている(表)。有毒渦鞭毛藻やその捕食で毒化した貝類に蓄積する毒は、これら複数の毒成分の混合物である。麻痺性貝毒の問題を複雑にしているのはこれら毒成分の毒の強さが成分ごとに著しく異なることである。代表的な毒成分の毒の強さを示した表から、STXは百万分の1モルで2483匹のマウスを殺す強い毒であるが、BトキシシンやCトキシシンはSTXに比べ著しく弱い毒であることがわかる。さらに食品衛生上重要なことは、毒性の弱いBトキシシンやCトキシシンを酸性下で加熱すると毒性の強い成分に簡単に变化してしまうことである。このことは弱毒成分を含む貝類を酸性の調味料を用いて調理すると毒性が飛躍的に強くなる危険性を意味する。

フグ毒の混在

フグ毒は日本人にはなじみの深い毒である。殆どの日本人はフグが毒をもつことを知っている。知っているながら多くの人がフグを食べて命を失ってきた。旨いものには命をかけてでも挑戦するという国民性(?)は外国人には理解出来ないようである。現在でも、あまり話題にはならないが年間数人のフグ中毒による犠牲者が出ている。前に述べたように、麻痺性貝毒の作用はフグ毒に似ている。しかし、麻痺性貝毒を蓄積した貝にフグ毒が混入していることは殆ど知られていない。混入するフグ毒の量は麻痺性貝毒の数パーセント以内なので公衆衛生上は殆ど問題にならないが、学問上はこの現象は興味深い。大船渡湾で貝類毒化の原因となる有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* にも微量のフグ毒が検出されることから貝のフグ毒は麻痺性貝毒と同じ生物が原因となっていると思われる。一方、フグにもフグ毒以外に麻痺性貝毒が混入することが明らかにされている。両者の量比は生息域により異なるが、極端な場合麻痺性貝毒だけを持つフグも

見受けられる。タイの山奥で死者を含む食中毒の犠牲者が発生したことがあるが、たまたまバンコクに居合わせた筆者は現地研究者とともに現場に急行し、中毒の原因が淡水産のフグであることを突き止めた。この時持ち帰った淡水フグにはフグ毒は全く検出されず、代表的な麻痺性貝毒成分、STXのみが検出された。フグが持つ麻痺性貝毒がどのような起源生物に由来するかはフグ毒の起源とともに謎に包まれている。

貝類毒化に対する対策

フグに蓄積する毒と異なり、二枚貝に蓄積する毒は餌となる有毒プランクトンが原因となることがわかっている。また、二枚貝は移動してもその範囲が小さく、同じ海域の貝類は一斉に毒化することが多い。従って、毒化貝の消費による食中毒を防ぐには、貝類生産海域の貝類の毒性を定期的に調べ、安全を脅かす量の毒が検出された場合は貝の出荷を規制すればよい。古くから麻痺性貝毒による貝類の毒化が問題になってきたアメリカ、カナダや北部ヨーロッパの国では、貝類の生産海域を幾つかの海域に区切り、それぞれの海域に設置した定点に移殖した貝の毒性を測定し、毒が安全消費のレベルを超えた場合は貝の出荷を停止する監視体制を敷いている。わが国も1970年代に同様の監視体制を導入しており、このような監視体制を持つ地域では市場に出回る貝類による中毒は起こっていない。このような毒化モニタリングにおける最大の問題は毒の測定法にある。これまでに多くの毒測定法が開発されて

表 麻痺性貝毒の種々の成分

	R1	R2	R3	R4	比毒性* (mouse unit / μmol)
STX	H	H	H	CONH ₂	2483
neoSTX	OH	H	H	CONH ₂	2295
dcSTX	H	H	H	H	1274
dcneoSTX	OH	H	H	H	?
Bトキシシン					
B1(GTX5)	H	H	H	CONHSO ₃ ⁻	160
B2(GTX6)	OH	H	H	CONHSO ₃ ⁻	?
GTX4	OH	H	OSO ₃ ⁻	CONH ₂	1803
GTX1	OH	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₂	2468
GTX3	H	H	OSO ₃ ⁻	CONH ₂	1584
GTX2	H	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₂	892
dcGTX4	OH	H	OSO ₃ ⁻	H	?
dcGTX1	OH	OSO ₃ ⁻	H	H	?
dcGTX3	H	H	OSO ₃ ⁻	H	1872
dcGTX2	H	OSO ₃ ⁻	H	H	1617
Cトキシシン					
C1	H	OSO ₃ ⁻	H	CONHSO ₃ ⁻	15
C2	H	H	OSO ₃ ⁻	CONHSO ₃ ⁻	239
C3	OH	OSO ₃ ⁻	H	CONHSO ₃ ⁻	33
C4	OH	H	OSO ₃ ⁻	CONHSO ₃ ⁻	143

* Oshima (1995)による

きたが、現場における貝毒の測定に適した簡便かつ迅速な測定法は開発されておらず、前に述べた1930年代に開発されたマウス試験法が依然として用いられているのが現状である。マウス試験は長い歴史を持ち、簡便で信頼できる分析法であるが、動物試験に伴う多くの問題を抱えており、これに代わる簡易測定法の開発が待たれている。

麻痺性貝毒の簡易測定法の開発

20世紀後半になり、抗体を用いる物質の測定法が開発され多くの分野で用いられるようになった。狂牛病の原因となるプリオンの検出に抗体を用いた迅速測定法ELISA（酵素結合免疫測定法）が用いられていることが報じられたのは記憶に新しい。麻痺性貝毒の場合も欧米を中心に毒に特異的に結合する抗体の開発が盛んに行われた。抗体の産生は脊椎動物が病原菌などの外敵から身を守る生態防御反応のひとつである。脊椎動物は細菌などの異物が体内に侵入するとこれに特異的に結合する抗体を生産する。しかしこの場合、異物の分子量は少なくとも数万の大きさを持つ必要がある。麻痺性貝毒は成分により異なるがその分子量は概ね300～400の大きさである。したがってこれに対する抗体を作成するには毒に分子量の大きな物質——通常はタンパク質が用いられる——を結合する必要がある。多くの研究者がこの問題に取り組んできたが、全ての毒成分と結合することの出来る抗体は困難を極めた。これは麻痺性貝毒成分が他の化合物と化学的に反応して結合しにくい物質であることが主な原因である。本研究室では細菌による毒成分の変換過程を検討中、細菌成分が毒と結合して安定な複合体を作ることを見出した。この細菌成分は細胞に普通に存在するSH基を持つ化合物（チオール化合物）、グルタチオンであることが明らかになり、さらにグルタチオン以外の種々のチオール化合物もグルタチオンと同様、毒と複合体を



図 麻痺性回毒測定用ELISAキット

作ることが明らかになった。この方法を利用して作成した毒とタンパク質の複合体を動物に免疫して得た抗体は毒化貝に含まれる全ての毒とよく反応し、本抗体で作製したELISAは極めて高い感度で毒の存在を検出することが出来る。最近、民間の製薬会社の協力を得、化学実験の経験がない人間でも使うことが出来る簡易測定キットが完成した（図）。現在、国の内外から集めた毒化貝の試料を用いてキットの有効性を検証している。北里大学水産学部発の測定キットが、日本ばかりでなく世界の貝類生産現場で使われる日が近いことを期待している。

酵素のたのしみ

菅野 信 弘



久々に『研究紹介』を書く順番がまわって来た。久々とは言え、やっている研究内容がコロコロ変わるわけでもなく、相変わらず地道に研究を進めているわけである。JABEE二モマケズ FD二モマケズ 連日の会議二モマケズ にである。かと言って、また同じ話ではお話にならない。そこで今回は長年付き合ってきた『酵素』の話をしよう。振り返ってみると、そろそろ、これまで生きてきた時間の半分を酵素と付き合ってきたことになる。大学時代のテーマは軟体動物の凝集素だった。今では凝集素ではなく、レクチンという呼び名が一般的なようだ。レクチンも機能を持つタンパク質という意味では酵素に似たところがある。酵素との直接的な付き合いが始まったのは水産学部に赴任してからである。以来、海藻の硫黄代謝に関連するいくつかの酵素や海産無脊椎動物のオピンデヒドロゲナーズとの付き合いが続いている。昨今、生物といえばDNAである。酵素は生体触媒といわれつつも基本的にタンパク質であるから、その設計図であるDNAを抜きにして語れないのではあるが、個人的にはどうにも好きになれない。研究の道具と割り切ってしまう方がいいと思うが、そうもいかないのが人の性というものである。設計図の重要性は重々理解できるが、実際に働いているのは酵素である。働いている人は美しいのである。

酵素とは何かについてここであらためて講釈を垂れるつもりはないのであるが、20年以上付き合ってきた者から見た酵素とは何かという話はしておこう。酵素＝生体触媒である。生物体内の穏やかな環境では起こり得ないような化学反応を引き起こし、必要なものを作りだしたり、不要なものや余分なものを分解したりしているわけだ。本来ならここで活性化エネルギーがどうしたこうしたという話になるわけだが面倒なので止めておこう。生物を構成している生体成分は3000種類を超えると言われていた。酵素は一途な性格をしているのでこれには飽きたのでたまにはあちらを摘んでみるか、などということはないのである。従って、生体成分とほぼ同じ数だけの酵素が存在するということになる。海洋生物は未知成分の宝庫である。それは取りも直さず訳の分からない反応を触媒する酵素とその設計図が存在するということだ。海洋生物は酵素の研

究対象としてもとても魅力的なのである。酵素はデリケートである。中には殺しても死なないようなものもあるが、大抵はデリケートなのである。悪く言えば、直ぐにいじけてしまうのである。どういじけるかという働かなくなってしまうわけだ。「失活」である(哀愁に満ちた悲しい言葉である)。特に細胞の中のぬくぬくとした環境で働いている酵素はほんの些細なことでもいじけてしまうのだ。愛がだいじなのである。つまり、何だかんだ言って酵素は我儘なのである。そこが酵素のかわいいところであって、愛を注げるわけである。DNAはそんな我儘を言わないので好きになれないわけだ。

さて、こんな酵素と付き合い何をしてきたかという、どれほど美人なのか、どんな性格なのかを調べてきたわけである。そのためにはまず他所から茶々が入らぬように邪魔者を取り除いて、目的の酵素だけを純粹に取り出してあげなくてはいけない。無論、できる限りの愛情を注ぎながらである。

1. サンプリングのたのしみ

これまで関わってきた酵素は海藻と無脊椎動物のものである。どういうわけか魚の酵素とは無縁のままに来てしまった。生きた材料がお店に売っていればサンプリングに苦労はないのだが、大抵の場合汐見表と相談して海岸へ降りていくことになる。夏場のサンプリングは快適である。波を被ろうが、転んで海に落ちようが平気である。半分は海水浴気分である。ところが夏場はつくづく酵素の実験には向かないと思うのである。通常、酵素の実験は常に酵素を凍らない程度に冷やしながら行う。酵素の機嫌を損なわないようにするためと、タンパク質を分解してしまう酵素の活性を抑えるためである。夏場はどうしても温度の管理が難しい。冷却に使う氷はすぐに溶けてしまうし、冷蔵チャンバーは汗をかきまくりである。昔こんなことがあった。一段落ついたところで貴重な酵素液が入った試験管を氷を詰め込んだ発泡スチロールにいれ、ちよいとみんなで夕飯を食べに行くことになった。ちよいとなんではあるけれども、そこは三陸のちよいのである。三時間後帰ってきてみると発泡スチロールの箱の中に

試験管がひっくり返ってぶかぶか浮いていたという落ちである。持ち主の学生は卒業するまで「ぶか」と呼ばれることになった。夏場にサンプリングしたくてもできないものもある。海藻類は晩秋から初夏にかけてがシーズンだ。冬のサンプリングは…である。風は冷たいは、海水は冷たいは、それに加えて潮が引くのが夜中ときている。怪しい一団が夜中の海岸でうろうろしていればサーチライトで照らされる羽目にもなるのである。つまり、サンプリングは大変なのである。一人ではとても耐え切れないのである。苦労はみんな分かち合うべきである。ということで、サンプリングは研究室の一大イベントなのである。

2. 粗酵素のたのしみ

さて、苦労して集めてきたサンプルであるから、絶対に失敗すまいと心に誓いつつ次の作業である。次は生体試料から酵素を取り出す「抽出」という作業だ。酵素の抽出には適当な緩衝液を使う。試料に緩衝液を加えて、これを高速で回転する刃のついた装置でかき混ぜるわけである。これを遠心分離して得られるのが粗酵素液である。大概の無脊椎動物はこの方法で何とかできるのだが、手強いものの中にはいる。イトマキヒトデは手強かった。材料にしたのは外壁部分である。堅いのである。一番役にたったのは出刃包丁だった。これに輪をかけて厄介なのが海藻である。こちらはそれほど堅くはないのだが、ヌルリヌルリと刃をすり抜けて全然細かくならないのである。液体窒素の中に投入して砕いてしまうのが良いのだが、酵素の中には凍結してしまうと機嫌を悪くしてしまうものがあるから常にこの方法が使えるわけではない。100グラム程度であれば原始的ではあるが乳鉢が一番効率よく抽出できるのかも知れない。しかし、相手にしているのはキログラム単位の海藻である。さて、どうするか？知恵比べである。包丁、キッチンカッター、ミキサー、果ては肉挽き機まで登場することになる。

どうにか粗酵素液ができたでしょう。次がまたもや難関である。海産生物の粗酵素液は一筋縄ではいかないものが多いのだ。海藻のそれは容易に想像がつかうだろう。ねばねばなのである。メカブトロロのネバネバを集めたようなものが粗酵素液なのだ。どうしろというのか？海藻の粘り具合ほどではないにしろ、海産無脊椎動物にもネバネバしたものが多い。こんな困難も知恵と勇気と愛で乗り越えるわけである。

3. カラムのたのしみ

粗酵素のたのしみが終わると、漸く実験器具らしいものが登場する。タンパク質をその性質によって分けていくわけだが、これになくてはならないのがカラム

クロマトグラフィーである。ガラスのチューブに詰め物がしてあるものを想像してもらおう。一見すると蛍光灯である。この詰め物にいろいろ細工がしてあって、片方の端から酵素液を流すとカラムを通過する間にタンパク質の性質に従って分けられるという寸法である。素通りしたり、途中でひっかかって遅れて出てきたり、詰め物にくっついてしまったり引き剥がさないでこなくなったりという具合である。必要なのは目的の酵素が含まれる部分だけである。ここで登場するのがフラクションコレクターという装置である。ごくありふれた機器であるが、これがなくては酵素の精製など到底無理である。カラムから出てきた液を一定量ずつ取り分けてくれる装置だ。今時のカラムはどんどんスピードアップしてきていて1時間足らずで終わってしまうものがでてきているが、大型のカラムを使う場合は二日以上かかってしまうこともある。その間、手でフラクションコレクターの真似をするのは酷というものだ。このフラクションコレクター、一度に100本くらいの試験管をセットしてボタンを押せば働いてくれるのだが、偶に反乱を起こすことがある。どこかに引っかかったり、センサーに結露したりという具合である。翌朝に気づいたときには哀れ酵素は既に廃液の中ということで一巻の終わりである。フラクションコレクターが順調に動いてくれれば、どこに酵素が出てきているかを探して集めることになる。カラムクロマトグラフィーはこれの繰り返しである。いろいろな詰め物を使って分けていくことでいろいろなタンパク質を取り除いていく。と書いてしまえば簡単に聞こえそうだが、詰め物の中には酵素との相性が悪く、カラムに流してはみたものの酵素が帰ってこなかったということもしばしばである。また、詰め物を使う順番で旨くいったりいかなかったりということもある。この間、常に酵素のご機嫌を伺いながらの作業である。ツボをおさえながら進めないと反撃を食らうことになる。それに酵素は気まぐれである。酵素活性のある試験管をチェックした後、必要な部分を集めたと思ったら活性がなくなってしまったことがある。原因は今でも思い当たらない。愛が足りなかったのかと自分を責めるしかないのである。これはおそらく20年以上も酵素と付き合ってきた者の悟りである。カラムをセットしている冷蔵チャンバーの隣に神棚を作った学生の気持ちはよく分かるのである。

4. 電気泳動のたのしみ

カラムが4～5本目になる頃には余分なタンパク質もかなり減ってくる。数リットルもあった粗酵素液が試験管1本分の量までに減ってくる。タンパク質のピークと酵素活性のピークが重なってくればそろそろ精製

も終盤ということになり、酵素が精製されたかどうかを電気泳動で調べることになる。つらいサンプリングと粗酵素液との格闘で始まった一週間から10日の実験が報われるか報われないかの宣告を受けるわけなので、それはもうドキドキである。泳動に2-3時間、染色に30分、それから脱色である。昨今は非常に短時間で結果が出てしまう電気泳動の装置もあるのだが、この位の待ち時間は実験の情緒というものである。脱色を開始して2時間もするとタンパク質のバンドが見え始める。祈るような気持ちでバンドを探す。バンドは1本か？バンドが一本になれば精製は完了だ。ガッツポーズものである。祝杯である。しかしここで喜び過ぎるのは禁物である。脱色が進んで薄い余分なバンドが出てくることがあるからだ。天国から地獄へまっ逆さまということである。さあ、明日を楽しみにして今日は帰って寝ようと決めてから何度脱色具合を見直すことか。残念ながら精製が不十分だということになれば気を取り直して次のカラムの算段に入る。しかし、もう打つ手がないところまで追い詰められてしまうこともある。「先生、どうしましょうか？」「どうしようか...。お前が小さくなって選別して来い」などと言い放って

しまうわけである。こうした酵素のレポートを書くときには「材料と方法」に抽出から始まってどんなカラムを使って精製したかを記述するのであるが、もの本によると、記述通りに実験してもなかなか旨くないのが酵素の精製というものらしい。レポートに記述できないもの...。愛なのだと思う。

5. さて、ここから...

さて、我儘娘に散々振り回され、正直なところこちらで一服したいところではある。かなり達成感もあるし、充実感もある。腹八分目どころかかなり満腹である。しかし、研究的にはここからが本番で、これまでのところは準備。せっかく精製した酵素の機嫌を損ねないうちにやらなければならないことが山積みなのである。はたしてどんな姿形をしているのか、どこかに似た人はいるのだろうか？性格はどうなんだろう？一途な性格なんだろうか、それとも少しは好い加減などところがあるのか、どんなときに一番働く人なのか、そんなことが分かってくると、その酵素が作り出している生体成分が生物の中でどんな働きをしているのかが見えてくるのである。

研究紹介

海藻の資源解析

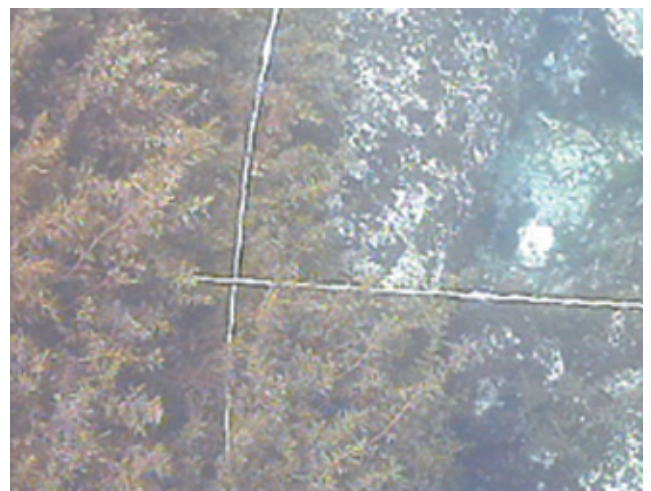


林 崎 健 一

みなさんは海の底をのぞいてみたいと思ったことはありませんか。最近ではスキューバダイビングはポピュラーなスポーツになってきました。私も三陸に赴任して間もないころ学生さんと一緒にライセンスをとったのですが、残念ながら耳の抜けが悪くもう何年も潜っていません。三陸の海に潜るとどのような光景が見られるのでしょうか。海中の風景でまず思いつくのがゆらゆらと波に揺られる海藻ではないでしょうか。今では昔話になってしまいましたが、スキューバの実用化は、それまでは潮間帯の海藻を観察するのがせいぜいだったのが、海中深くに生えている海藻を直接観察したり採集したりすることができるようになる画期的な発明だったのです。

海藻はウニやアワビなどに直接食べられるだけでなく、陸上の植物が葉を落とすのと同じように藻体の一部分が枯れて流れていくことによってまわりの水域に栄養を供給しています。ですから、湾の中にどれくらい海藻が生えているのかを調べると、湾の中でどれく

らいの資源生物を養っていきけるのかを知ることの手がかりとなります。この話は海藻の資源量を推定するために、三陸沿岸の大槌湾の海藻観察データを解析しよ



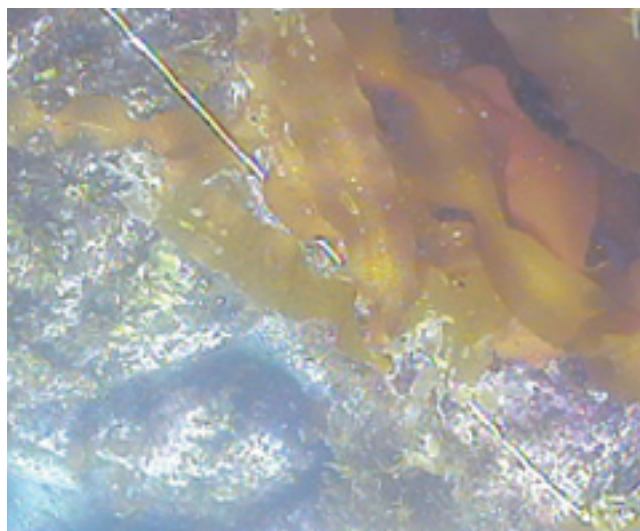
水中ビデオでみたエゾノネジモク

うと思い立ったところから始まります。

三陸の海藻といえばワカメが有名です。養殖ワカメは収穫時に重さを量りますから、刈り取り時に生えていた重量を知ることができます。ところが、天然海藻の場合は生え方が複雑なので、海藻を直接目視観測したり、刈り取ってその重さを計ることが必要となります。海藻はいろいろな要因で生える種類や量が決まります。たとえば岩礁域を岸よりの浅い所から深い所へと観察していくと、生えている種類がだんだんと変わっていくのに気が付くと思います。これは海藻の帯状分布と呼ばれ昔からよく知られた現象です。リアス式海岸では岸から沖に向かって急速に深くなるので、この帯状分布を観察しやすいのです。このように水深によって生えている海藻が異なることが多いので、岸から沖に向かって海底にラインを張りそれに沿って観察するのが一般的です。

楽しみのために暖かい海で潜るのはいいものですが、仕事となると話は別です。水中での作業は陸上で考える以上に時間も手間もかかります。50mのライン上に数箇所枠を置いただけでも、それを刈り取るには1時間以上かかります。そもそも一日に潜れる本数はプロでない限り2、3本が限度でしょう。そうすると、枠を使って観察できる部分は広い湾の中のごく限られた一部ということになってしまいます。データに限りがあるとはいえ、このようなデータは貴重です。私が解析したデータもまさにこういったものでした。大槌湾は太平洋に向かって湾口が東に開いています。湾奥は砂浜で海藻は生えていないので、湾の北側、南側それぞれに湾中央部と湾口近くに定点を設けて、沖向きに50mのラインを海底に張って各ライン3個ほどの枠を置いて観察されたデータだったのです。

ラインが置かれた場所や水深によって当然環境が異なります。そしてそこには、その環境に適応した種が生えているはずですが、優占種の量と環境との対応関係を調べたいと考えました。しかし、残念ながら解析したデータは、種ごとに環境の変化に対して現存量がどのように応答するのかに答えられるほどの情報量は持っていなかったのです。しかし、生活型のよく似た種同士をまとめてその応答を見ることは、多少精度が落ちるにしても可能ではないかと考えました。そこで、種毎に湾内の単位面積あたりの現存量をまとめて出現パターンを検討してみました。その結果、大型褐藻、小型褐藻、紅藻の3グループに分けるのが適当だろうと判断しました。大型褐藻はマコンブ、ワカメ、ホンダワラ類を含み、天蓋を形成する大型の海藻です。これらは水中景観でも主要な要素となっています。小型褐藻は大型海藻の下草的に生えていたり、あるいは大型海藻に絡み付いて生えるものもあります。紅藻も同様



水中ビデオでみたマコンブ

に下草的です。

ここまでくれば、あとは解析です。われわれが現場観察で得られたデータを眺める時、この要因は効くのだろうか、別の要因はどうだろうか、2つの要因が同時に効くと別の状況がおこらないだろうかなどとあれこれ考えをめぐらせます。しかし、複数の要因が同時に影響している時には、その影響が単純でない限り明確な傾向が読み取れないのが普通です。そこでモデルの出番です。まず、現実を模倣するように、要因が観測値を決めるモデルを作ってみます。これはいろいろなシナリオに応じて複数考えられるでしょう。そして各モデルに対して数値的に計算を行い結果を予測してみます。予測値と実測値がどれくらい一致するかを比べてもっとも適合のよいモデルが真実に近いと判断するのです。ここでは、湾内の位置と水深が現存量にどう影響するかを検討しました。6月の観測データの解析の結果、大型褐藻は、湾の北と南を区別し、水深を考慮したモデルが、小型褐藻では湾の外を内を区別し水深を考慮したモデルが、紅藻では水深のみを考慮したモデルが最適であると選ばれました。それぞれの生活型によって影響する要因が異なる点が興味深いです。

大型褐藻は現存量が大きく、また水中の景観を左右するものです。湾の北には浅所と深所で別のホンダワラ類が群落をつくり、深いほうが現存量は多く水深6mで最大となりました。一方、湾の南では、ワカメやマコンブがところどころにパッチを形成していたということが推定されました。このような解析によって、限られた情報からも水中の景観が復元されたと考えられます。

限られた少数のデータから結論を導くのはつらいものがありますが、リベンジの機会がやってきました。新たに大槌湾で現存量の観察を行うことができたので

す。ラインを限られた枠で代表させるのは無理があります。一方、潜水を主とした観察では枠の数を増やすのは無理です。そこで、船の上から水中ビデオを使って海の底を観察する方法を開発しました。GPSと測深器を使えば位置と水深が記録できます。これで、1度の観察でかなりの情報が容易に取れるようになりました。ビデオからは海藻の被覆面積や個体数あるいは大きさがわかるのですが、重量を求めるにはこれら観察値から重さに変換する必要があります。現在は潜水によって海藻を少し刈り取ることで、重量変換用のデータを得ています。しかし、これも実証的なデータを積み重ねればビデオだけで現存量がわかるようになるかもしれません。現存量推定の方法は潜水による枠取り法と本質的には変わらないので紙面の都合で省略します。

実際に観測を始めてみると予想外の結果が2つ得られました。観測前には湾の北側ではホンダワラ類が繁茂していると予測していました。しかし実際には、浅所のエゾノネジモクはあいかわらずあるものの、深いほうでは現存量が多いはずの6 m水深あたりでも裸地が目立つのです。そのかわりにワカメやマコンブが点々と観察されることがありました

もう1つは冬場の海藻現存量です。これが予想以上に高かったのです。これまで冬場の調査は行われていないので比較はできないのですが、前述の解析から大型褐藻が枯れて現存量が減少する秋期にも、小型の褐藻や紅藻は変わらないか微増することがわかっていました。小型海藻は芝生のような生え方をしているので単位面積あたりの重量は小さいです。しかし、海底一面を覆うので海域全体の現存量としてはあなどれない量となります。

深所のホンダワラ類の減退は何が原因なのでしょう。裸地にウニが多く観察されたことから、動物による被食が要因かもしれません。また、潮間帯付近のエゾノネジモクは波動による擾乱が大きいために動物の捕食を逃れているのかもしれません。

2006年の春先は海の水温が例年より低く、淡水の影響があるところでは水が凍るなどの特異的な年でした。6月には湾内の岩礁域にマコンブが一面びっしりと繁茂していました。また、数mまで成長するホンダワラの仲間のアカモクが海面にまで伸びてきていました。岸に近づこうとするとスクリューに絡み付いて動けなくなりそうなので観測を断念したほどです。2、3月の水温が低いと大型海藻の生残はとてもよいようです。

多年生のホンダワラ類が大きな群落を維持している



水面まで達したアカモク（2006年6月、大槌湾）

間は、ワカメやマコンブといった一発屋の海藻は入植することができません。しかし、多年生のホンダワラ類が深いところで衰退がおこり裸地ができていました。水温が高い年は動物の活動が活発になります。2、3月に芽生えたところを動物により食い尽くされて裸地のまま残ったのでしょうか。しかし、水温が低ければ動物による捕食が緩和され、マコンブが容易に入植できたのでしょうか。

三陸海域は混合域とよばれ黒潮、親潮の影響を受けています。冬には親潮の影響が強く栄養塩を湾内に運び込むため湾内の生産性に影響を与えます。冷たい親潮が沿岸に接岸すると動物による捕食圧を緩和し、しかも栄養塩を提供するため海藻の生き残りや成長にプラスに働くと考えられます。

昔は湾一面にマコンブが生えていたという話を聞きます。また、地球温暖化と関連して海藻の植生が変化したという報告もあります。最近の海藻資源量を観察した限りでは大槌湾の植生と現存量の変化は親潮の影響によって説明できるいわば想定内の出来事であったと考えてよいでしょう。しかし、この想定内の変化であっても湾内の生産性に大きな影響を与えているのは事実です。たとえば、養殖ワカメに対する影響が大きいことは間違いのないでしょう。また、基礎生産者の生産性に影響を与えることにより、より上位の消費者まで影響をおよぼしているのかもしれません。リアス式の複雑な地形により湾ごとの影響の受け方は異なるのかもしれません。最近発達した情報通信技術を活用して陸上のアメダスのように海の観測網を湾ごとに張り巡らし、海況を予測して養殖や漁獲に活かすことが三陸の水産にとっての課題であると考えています。

サケの成長のメカニズムを探る



森山 俊介

なぜサケに関する研究をするのか？

サケは日本のみならず欧米などの世界各国においても重要な水産資源の一つである。北太平洋には7種のサケ属が分布し、日本で最もよく知られているのはシロザケである。シロザケを含む殆どのサケ属の魚は淡水で生まれ、一定期間を河川で過した後、春から初夏にかけて体側に小判状の黒い斑紋のあるパーの状態から体色が銀化（スマルト化）した魚となり海に降りる。ただし、本州中部以西に分布するアマゴ（サツキマス）は秋から初冬にかけてスマルト化して海に降りる。サケは海洋で数年間を回遊して過した後、生まれた河川に遡上し、産卵をしてその生涯を終える。しかし、淡水や海洋生活期間などは種ごとに異なり、また、サクラマスやアマゴには海に降ることなく河川に留まり一生を終える魚もいる。このようにサケは索餌、成長あるいは産卵を目的として、河川と海洋といった塩分濃度の極端に異なった環境を移動する。サケの発達、成長や成熟、また、環境適応や回遊行動などには内分泌系のホルモンが深く関わっている。ここでは、サケの成長のメカニズムについて紹介する。

魚類の成長ホルモンとインスリン様成長因子の同定

魚類の成長は、哺乳類や他の脊椎動物と同様に、視床下部ホルモン、脳下垂体の成長ホルモンと肝臓のインスリン様成長因子およびこれらホルモンの受容体で構成される情報伝達系により調節される（図1）。したがって、サケの成長のメカニズムを明らかにするためには、成長促進に関与するホルモンおよび受容体を同定し、機能および情報伝達系を明らかにすることが重要である。また、サケの成長のメカニズムに関する基礎研究は、水産増養殖対象魚の生産性を向上させる技術開発に繋がる重要な情報を与える。

成長ホルモンは、約190個のアミノ酸残基からなるポリペプチドホルモンであり、分子内に2個のジスルフィド結合を有する。我々は、魚類で初めてシロザケの脳下垂体から成長ホルモンを単離し、アミノ酸配列を明らかにした。サケ成長ホルモンをニジマス稚魚の腹腔内に4日あるいは7日毎に繰り返し注射すると、生理食塩水のみを注射した魚よりも体長および体重が著しく増加する。サケ成長ホルモンの成長促進効果は注射期間のみならず注射終了後も持続する（図2）。

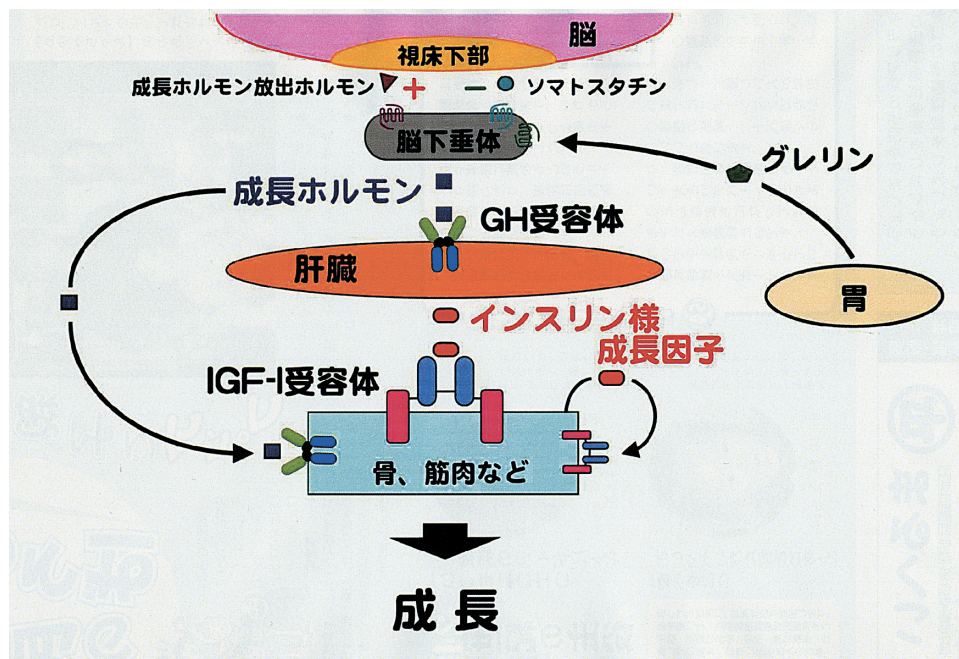


図1 魚類の成長促進に関するホルモンおよび受容体
GH：成長ホルモン IGF：インスリン様成長因子

また、大腸菌で生産した遺伝子組み換えホルモンはサケ成長ホルモンと同等の成長促進効果を有する。これら一連の研究結果が基となって、魚の成長ホルモンはコイ、ウナギ、マグロやタイなど産業上重要種をはじめとする硬骨魚類、また、軟骨魚類のサメ、さらに最も原始的な脊椎動物の一種である無顎類のヤツメウナギなど100種以上の魚類で同定され、成長ホルモンは魚類から哺乳類まで脊椎動物に普遍的に存在することがわかった。

インスリン様成長因子は、プロインスリンに構造が類似する約70個のアミノ酸残基からなるペプチドホルモンであり、哺乳類では構造の類似する2種類（IGF-IとIGF-II）が存在する。



図2 サケ成長ホルモン(1 μ g)を4日毎に5回注射した後、2ヶ月目のニジマス

II)が存在する。インスリン様成長因子はおもに肝臓で産生され、骨形成、タンパク質合成や細胞の増殖および分化などを促進する。また、インスリン様成長因子は肝臓以外の脳、骨、筋肉、胃や生殖腺など殆どの体組織で発現していることから、このホルモンは分泌されることなく、隣接した細胞あるいは分泌細胞自身にも作用すると考えられている。魚類のインスリン様成長因子は、ギンザケで初めて遺伝子が同定された。その後、ニジマスから哺乳類と同様に、構造の類似する2種類の分子が同定された。さらに、我々はニジマス血清からインスリン様成長因子を精製した。また、このホルモンの機能を研究するために、組み換えホルモンを調製するとともに測定系を確立した。これらの研究成果が基となり、これまでにウナギ、コイ、タイやティラピアなどの水産増養殖対象種をはじめとする数十種の硬骨魚類、また、軟骨魚類のサメで2種類のインスリン様成長因子が同定されている。一方、我々は無顎類のヤツメウナギから1種類のインスリン様成長因子を同定した。ヌタウナギにも1種類しか存在ないことから、このホルモンは無顎類から有顎類(軟骨魚類)への進化の過程で遺伝子が重複し、IGF-IとIGF-IIに分岐したと考えられる。

サケの成長促進における成長ホルモンとインスリン様成長因子の作用

サケ成長ホルモンをサケ稚魚に腹腔内注射すると成長は促進される。サケ成長ホルモンの成長促進効果はホルモン溶液への液浴あるいは経口投与でも認められる。サケ成長ホルモンを注射した魚の血液中の成長ホルモン濃度をモニターすると、注射後、直ちに成長ホルモン濃度は上昇するが、一日以内に平常値に回復する。一方、血中のインスリン様成長因子濃度は注射後、12時間目から上昇し、3日目まで高いまま推移する。また、サケ成長ホルモンを魚に経口投与すると血中の

成長ホルモン濃度は12時間目以降から上昇し、インスリン様成長因子濃度は24時間目以降から増加する。このように、サケ成長ホルモン投与により魚の成長が促進されるのは、投与した成長ホルモンが長い間体内に留まっているのではなく、成長ホルモンが肝臓のインスリン様成長因子の合成と分泌を促進し、このホルモンが骨や筋肉に作用した結果といえる。成長ホルモンの肝臓のインスリン様成長因子の発現促進効果は、硬骨魚類のみならず軟骨魚類のサメおよび無顎類のヤツメウナギでも認められる。これらのことから、成

長ホルモンおよびインスリン様成長因子を介する成長促進機構は脊椎動物の進化の初期に確立されたと考えられる。

サケの成長速度と成長ホルモンおよびインスリン様成長因子を軸とした内分泌系は密接に関係している。サケ稚魚を飼育し、成長速度の異なる魚における血中の成長ホルモンとインスリン様成長因子濃度を比較すると、稚魚から幼魚期では、これらホルモン濃度はいずれも成長の良い魚ほど高い。一方、若齢魚から成魚期では、成長ホルモン濃度には成長速度の違いによる差は認められないが、インスリン様成長因子濃度は成長が良い魚で高い。また、肝臓のインスリン様成長因子の発現も成長の良い魚で高い値を示す。ウナギや大西洋ヘダイなどの硬骨魚類でも成長の良い魚で肝臓のインスリン様成長因子の発現レベルは高い値を示す。このように、初期成長期では成長ホルモンおよびインスリン様成長因子が重要であり、インスリン様成長因子はその後の成長過程においても極めて重要な機能を担っていると考えられる。したがって、血中あるいは肝臓のインスリン様成長因子レベルを指標とすることにより、サケの成長を評価することが可能と考えられる。

サケを通常の飼育水温よりも高い水温で飼育すると魚の成長は早まる。高水温で飼育した魚の血中成長ホルモンおよびインスリン様成長因子濃度は、通常水温で飼育した魚よりも高い値を示す。また、長日処理した魚の成長は自然日照あるいは短日処理した魚よりも良く、血中成長ホルモンおよびインスリン様成長因子濃度も高い値を示す。さらに、サケの飼育水槽の流量を調節した場合、成長の良い魚の血中成長ホルモンおよびインスリン様成長因子濃度は高い傾向を示す。このようにサケの成長は水温、日照時間や水流などに依存し、成長速度と成長ホルモンおよびインスリン様成長因子が密接に関係している(図3)。したがって、魚自身が持つ成長ホルモンおよびインスリン様成長因

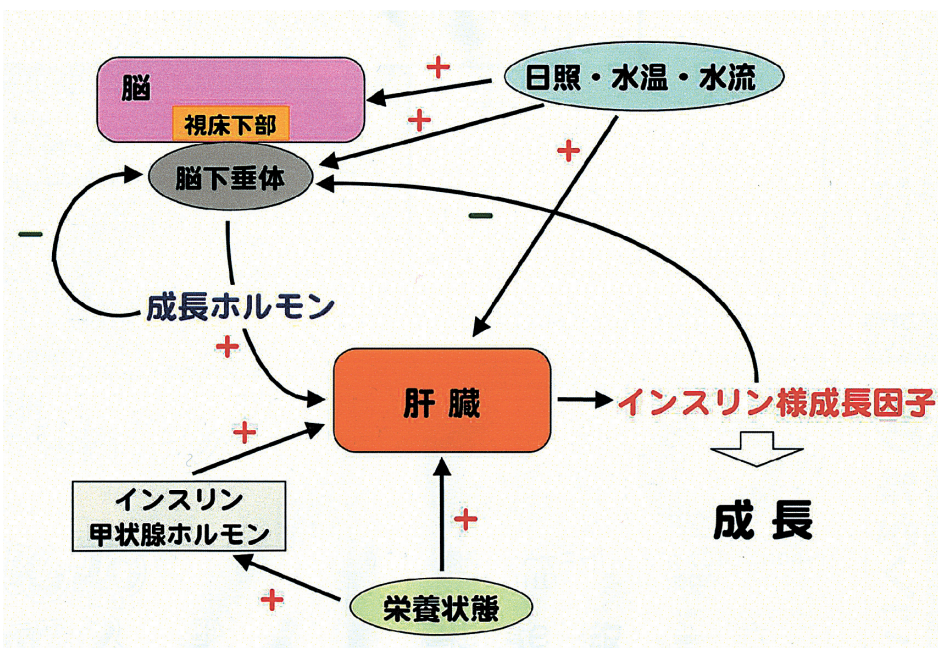


図3 脳下垂体の成長ホルモンおよび肝臓のインスリン様成長因子に及ぼす環境要因、栄養状態とホルモン
+：促進 -：抑制

減少し、一定の濃度で推移する。一方、海水適応時の血中成長ホルモン濃度の上昇に伴って、インスリン様成長因子濃度も増加する。海水に適応したサケのエラの上皮はミトコンドリアに富み、 Na^+ 、 K^+ -ATPアーゼ活性の高い塩類細胞がよく発達している。インスリン様成長因子遺伝子は塩類細胞で発現している。また、成長ホルモンあるいはインスリン様成長因子をサケに注射するとエラの Na^+ 、 K^+ -ATPアーゼ活性を高め、海水適応能を向上させる。しかし、海産魚の大西洋ヘダイに成長ホルモンを注射しても、エラのインスリン様成長因子の発現レベルは変化しない。このように、成長ホルモンおよびインスリン様成長因子は、サケ科魚類の成長促進のみならずスモルト化および海水への浸透圧調節において重要な機能を担う。

子の能力を最大限に引き出すことができる飼育環境条件を整備することにより、成長の良いサケを育成することは可能である。

サケ科魚類のほとんどは、河川で孵化した後一定期間淡水で生活し、春から初夏にかけて銀化変態をして海に降りる。サケのスモルト化は形態的な変化のみならず降海行動および海水適応能の増大などの生理的変化を伴う。サケのスモルト化にはコルチゾルや甲状腺ホルモンが関与する。我々は成長ホルモンおよびインスリン様成長因子もスモルト化に関与することを明らかにした。サケのパーからスモルト魚への変態にともなって、血中コルチゾルおよび甲状腺ホルモン濃度が上昇する。その後、成長ホルモンとインスリン様成長因子濃度も上昇する。一方、スモルト化しない魚ではこの時期にホルモン濃度の上昇は認められない。

サケが淡水から海水に移行して生活するためには海水適応能を獲得しなければならない。サケ科魚類を淡水から海水に移すと、体液浸透圧の上昇に伴って成長ホルモンの遺伝子発現、分泌および代謝回転が増大する。その後、サケが海水に適応して体液浸透圧が平常状態に回復することに伴って血中成長ホルモン濃度も

今後の研究展開

我々が、魚類で初めて、サケの成長ホルモンおよびインスリン様成長因子を同定し、これらホルモンの測定系を確立したことにより、サケの成長促進におけるこれらホルモンの機能に関する研究は急速に進展した。現在では、成長ホルモンおよびインスリン様成長因子は免疫機能亢進や生殖腺の発達にも関与することが明らかにされている。

成長促進に関与する成長ホルモンおよびインスリン様成長因子の生理作用は、成熟および適応など様々な生命現象に関与する他のホルモンと同様に、標的器官の細胞膜上に局在する受容体を介して発揮される。したがって、成長ホルモンおよびインスリン様成長因子の機能をよく理解するためには、これらホルモンの受容体を同定し、受容体を介する情報伝達系を明らかにする必要がある。現在、サケの成長ホルモンおよびインスリン様成長因子受容体の同定と情報伝達系の解明に関する研究を進めている。

拝啓 三陸の地でお世話になった皆様へ

小池 一彦



この号が皆様の目に留まる頃は、三陸は長い冬から目覚め、木々の小さな芽吹きが来る春を告げている頃でしょうか。

さて、私こと、去る12月末日をもちまして12年間お世話になりました北里大学水産学部を退職いたし、広島大学大学院生物圏科学研究科に移動する事になりました。三陸に在職中は、本学の先生方、事務職員の皆様、そして在学生・卒業生の皆様にお世話になりました。心より御礼申し上げます。12年間とは長いようで短い時間ですが、27歳からほぼ40歳に手が届こうとする、最も色々と出来事豊富であろう30代の時期を三陸の地で過ごしたわけで、とりわけ私の人生で印象深い期間だったと思います。お世話になった皆様との思い出の日々を回想し、お礼の言葉と致したいと思えます。

私は、東京水産大学（現 東京海洋大学）で博士前期課程（修士課程）を修了した際に「もう研究はうんざり！」などと、後ろ砂をかけるような言葉を残して研究室を飛び出し、一企業に就職いたしました。しかし舌の根も乾く暇の無い11ヶ月で退職し、もうかたぎには戻らない覚悟で同大学院の博士後期過程に復学してしまいました（ここでのニックネームは当然「出戻り」です）。幸いな事に学術振興会の特別研究員にも採用され、将来の事はさておき、のん気に一応のドクター学生をしておりました。その1年目の冬、以前より海外学術調査などでお世話になっておりました児玉正昭前学部長に、本学の助手募集のお話を伺いました。特別研究員で給料を頂ける身分でもありましたし、研究テーマが「熱帯域のシガテラ」に関するものでしたので、なにも急いで北国に就職するつもりなどはなかったのですが、児玉先生の研究室で毒分析をさせていただくついでに、「まあ、話だけ」と真冬の三陸を訪問いたしました（このとき、ノーマルタイヤの自家用車を運転してきたことは、今振り返っても無謀でした）。「話だけ」のつもりが、水産微生物学研究室前教授の野村節三先生との面接後、「君に決めました！」と言われ、もう後にも先にも引けなくなり、私の三陸での人生がなんとなくスタートしたわけです。

たった12年前とはいえ、当時の学生諸君は大変な豪放者たち、という印象でしたし、特に当時の水産微生物学研究室には豪快を極めた、あまりお勉強が好きではない諸君（失礼!）が集まる傾向にあったようで、毎晩繰り広げられる研究室奥での酒盛りの喧騒に（あの数え歌とか、一升瓶の点滴とか、三陸で初めて見ました）、就任への後悔を覚えるほどでした。それでも、そもそも根が嫌いではない私は、初任給で学生諸君と大船渡に飲みに行き（しかも行き帰りタクシー!）、ほぼ全額使いまくって尊敬(?)を集め、それからは徐々に此处での生活に慣れて行ったような気がします（そういえば、毎週のように学生と一緒に釜石の「味元」—今の学生諸君は知らないでしょうが—に行つて、ジャンカツ食べてたもんなあ。若かったなあ）。今思えば、ネットもメールも携帯も無い、悪く言えば情報から隔絶された、しかしそれゆえ個性に溢れた良い時代だったような気がします。就任初年度の11月には結婚もしまして、まあ三陸の地に身を固める覚悟も



秘技足操船をする私と、最後となった卒論生諸君、そして越喜来湾。

いやおうなく出来てきたわけです。

そうそう、研究の話もせねば。その時、熱帯のテーマから引き離された私が選んだ次の研究対象は、当時、問題が大きいにもかかわらず研究対象としている人があまり居なかった、下痢性貝毒の原因渦鞭毛藻でした。しかし、そのような研究テーマと言うのは、それ相応の理由があって研究対象とされていないわけで、培養も出来ない、フィールドで出現するのも5月～7月のみ、という材料供給の困難さに気が付いたのも後の祭り、「ウナギの稚魚研究と同じになるからやめておけ」と忠告をして下さった先生方に対して大見得切った手前上、何とかこれをものにせねばと苦勞する日々が続きました。この研究顛末は、水産学部便りのバックナンバー（No.31）に詳しいので、そちらをご覧ください。何はともあれ、大時化の中、パンダルス号（旧船；よくエンジン止まったなあ）もしくはベリジャー丸（新船；海に落ちたなあ）で越喜来湾調査に尽力してくれた学生諸君の成果の完全なるおかげで、何とか当渦鞭毛藻の生態の一部を明らかにする事が出来ました（この結果の総まとめは、水産学シリーズNo.154として出版されます—宣伝お許し下さい）。また、この結果に対して、ドイツ原生生物学誌から最優秀論文賞を贈られたのもうれしかった事のひとつです。いまやウナギの産卵場も突き止められましたし、まあこちらの研究も何とか形にすることができたわけで、これらの研究は現在進行形では有りますが、ひとつの時代的一幕が近いとも感じられます。後は分子生物学の出番でしょうか。それ以外にも、イェツトキシ原因渦鞭毛藻やら、サンゴの褐虫藻やら、あちこち興味の向くままに色々な研究テーマに手を出し、それに学生諸君を引き込む、という、振り返ればあまり良い研究者・教育者とは言えない気もしますが、全てのテーマに関して、その結果を学術論文にまとめる事ができたのは自負するところですし、返す返すも、その結果と一緒にあって、時には中心的に追ってくれた学生諸君の努力に感謝するところでもあります。まあ、私の一貫しているところといえば、単細胞生物を研究対象としてきたところだけでしょうか。この「単細胞偏愛主義」は担当講義の「海洋微生物生態学」でもご存知の通りで、彼らへの尊敬と愛の念を強調する事に終始してきたこの偏執講義に、二回ものベストティーチャー賞が授けられたのも、学生諸君への感謝（と、お詫び）を表さずには居られないところです。

私生活の事も少々。私の研究以外の熱中ごとは、オートバイだと言うことは皆さんご存知の通りです。それもここ4年くらいは「トライアル」という、いかに困

難な地形を足を付かずにゆっくりとオートバイで走破するか、という実にシブイ（地味な）競技に熱中しています。卒論中間発表前日にアバラ骨にヒビを入れ、修論締め切り間際に手首を骨折し、その時の学生諸君に大変迷惑をかけた元凶でもあります。実験を頑張ってくれる学生諸君を尻目に、「ちょっとお山に行ってくる」と小声の伝言を残し、帰ってくれば「谷底に落ちたバイクを引き上げるの手伝ってくれない？」などというアホな過去も反省至極です。それにも懲りず、この2～3年は大学の広大な山林にコースを作り（許可取ってですよ）、「オキトラ」という名称で東北全土から選手が集まる大会を主催するようにもなりました。このトライアルの仲間と離れてしまい、オキトラを開催できなくなるのは残念ですし、また、精力的に参加していたトライアル東北選手権でも、もう1年善戦すれば国内B級からA級に昇格できるのに！というところまで来て、中国地方（ブロックが異なり成績がリセットされてしまう）に移動してしまうのは、もしかしたら移動に伴う一番残念なところかもしれません（オイオイ）。ちなみに、トライアルという競技は山の中で開催されることが多く、観客集客力の低い競技ですが、オキトラだけは、地元の人の言葉を借りると「女子大生が見に来る!」という、ある意味有名な大会でした。

—なにやら、話に大分まとまりがなくなってきたので、そろそろ最後のご挨拶に—

先に、就任当初の回想を致しましたが、確かに12年前と今では学生諸君の気質が変わってきているとはいえ、昔から素直で元気で、そして海のことを大好きでそれを熱心に学んでいる学生諸君・卒業生の皆様は、今でもそして将来においても私の自慢とするところです。どうぞ、私が広島に移っても、「小池先生」と慕って来て下さい。そして、何よりも研究と教育に熱心な先生方、親身な事務職員の皆様、本学の実直だけれども大らかな校風、これを忘れちゃいけない、三陸の大自然、これらを誇りに思い、感謝してください。私がそうであるように。卒業生も口々に「3年間の三陸生活は充実しててあつという間だった」「第二のふるさととは三陸だ」と言いますね。私も全く同感です。全くあつという間の充実した12年が経ってしまいました。このふるさとである母校の益々の発展に、卒業生同様に、これからは外からとはなりますが寄与していきたいと思っております。

末筆ながら、皆様のご健康とご発展をお祈り申し上げます。

平成18年度卒業予定者の就職内定状況

(平成19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	146	42	188
就職希望者	113	34	147
就職内定者	105	30	135
就職内定率	92.9	88.2	91.8
進学者数	20	8	28
その他	13	0	13

〈主な就職先・進学先〉

●主な就職先

警視庁・三重県警・松実高等学園・イカリ消毒
伊藤園・JALグランドサービス・大鵬薬品工業
紀文食品・興和創薬・全国漁業協同組合連合会
東京動物園協会・中島水産・日本食研
ヤマザキナビスコ・ワタミ

●主な進学先

北里大学・京都大学・東京海洋大学・東京大学
奈良先端科学技術大学院大学・広島大学
北海道大学

〈理学部「野外演習」〉

平成18年8月8日から11日までの4日間、理学部の野外演習が水産学部で開講され、学生18名、大学院生・教職員8名の参加がありました。

〈海洋生物学実験研修コース〉

平成18年8月24日から26日までの3日間、高校教員を対象に海洋生物学実験研修コースが水産学部で開かれ、5名の参加がありました。

〈水産学部教員研修〉

平成18年8月5日と9月23日、平成19年1月13日に水産学部教員研修会が水産学部で行われました。

◎人事異動

〈退職〉

井田 齊 (環境生物学大講座水圏生態学研究室教授)
昭和48年から33年間勤務されましたが、平成18年3月31日付で定年退職されました。

川内 浩司 (水産増殖学大講座海洋分子生物学研究室教授)
昭和49年から32年間勤務されましたが、平成18年3月31日付で定年退職されました。

小池 一彦 (環境生物学大講座水産微生物学研究室助教授)
平成6年から13年間勤務されましたが、平成18年12月31日付で退職されました。

〈昇任〉

加戸 隆介 (環境生物学大講座海洋基礎生産学研究室教授)
平成18年4月1日付で助教授から教授に昇任されました。

高橋 明義 (水産増殖学大講座海洋分子生物学研究室教授)
平成18年4月1日付で助教授から教授に昇任されました。

中嶋 勇喜 (課長代理)

平成18年10月1日付で事務室係長から事務室課長代理に昇任されました。

安藤 圭介 (主任)

平成18年7月1日付で事務室一般職から事務室主任に昇任されました。

〈配置換〉

高山 出 (前課長)

平成16年4月から勤務されましたが、平成18年10月1日付で薬学部事務室課長として転任されました。

石鍋 篤司 (教務課職員)

平成18年10月1日付で学生サービス部事務室より水産学部事務室に着任されました。

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

平成19年3月6日