

これまでの研究をふりかえって ——稚拙ながら楽しく進めてきた40年の述懐

藤澤 弘介*

はじめに

埼玉大学教育学部に赴任してはや27年余、いざたって見るとあっという間であった。赴任する前、まず安田啓祐先生にお会いしたのだが、彼がこれから25年間余一緒にやって行きますよと言われた時にはまだこれから随分先が長いものだと思ったものであった。

私はこの期間、ウニの発生を題材に、発生に対する温度の影響を調べてきて、卒研生たちと一緒に実験を楽しんできた。ウニの発生は教育学部の理科教育講座に進んできた学生にとっては格好の課題にあったと思う。このテーマで学会発表にもなるような結果も得ることができた。

ここに来る前は8年間半、静岡大学理学部生物学教室に助手として過ごした。そこでは、それ以前の大学院生活とは違って、さまざまな分野、分子下から生態学レベルの研究にタッチできた。私にとって本格的な研究はやはり大学院生活から始まった。東京大学理学系大学院で、放射線生物学講座に入り、秋田康一先生について本格的な研究を始めたが、これが私の研究生生活のスタートとなった。

放射線生物学講座の大学院生であった時代: リボヌクレアーゼ・インヒビター

学部は東京教育大学理学部の動物学教室で過

ごしたが、そこは主に分類・形態学が主流で、組織学、電気生理学、動物生態学というような構成で、それぞれの内容が当時でもかなり古色蒼然とした雰囲気のある教室だった。それはそれで私には意義はあり、おもしろくもあった。今にして思えば動物の系統分類学の素養を身につけられる貴重な体験を得た。現在の日本の大学ではもうとてもかなえられないと言える。だが当時の私たち学生には肝心の生化学の素養がそのままではまったく身につけようになかった。そして沈滞した雰囲気は学生たちに不満だった。生理学担当の松井喜三先生ががんばって生化学にくわしい先生を非常勤講師や助教授に採用してきたが、オーソドックスなものとは言い難かった。同僚や先輩、後輩には一気に生化学の方面に果敢に進んでいった人もいたが、動物学から離れたくもなかつた生化学的研究ができる所に行きたいと松井先生に相談したら、東大の動物学教室におられた秋田康一先生をすすめられた。そこで進学して彼のもとにつくことにした。この先生も動物学畑の人ではあったが大変な秀才で、その頃の私には新鮮で、生化学の知識を十分に身につけていた。少なくともそう見えた。研究テーマを早口で言われ、何を言っているのかとんとわからず、しかも語尾の「——というようなことでもやってみますか」との言葉には正直、意気消沈させられた。だが研究室の大学院生たちが明るく元気で、最新の情報や技術をどんどんこなして日夜活発に実験しているのを見て、非常に励みになった。

* 埼玉大学教育学部理科教育講座

当初さっぱりわからなかったテーマというのは、RNAを分解する酵素リボヌクレアーゼ (ribonuclease; RNAase) の働きをおさえる RNAaseインヒビターに注目して、ネズミにX線のような電離放射線を照射してあらわれる影響を調べよというものだった。秋田先生が考えていた仕組みというのはつまりこうだった。システインのスルフィドリル (SH) 基が大事な働きをするような蛋白質、いわゆるSH蛋白質は電離放射線により酸化され働きを失いやすいから、RNAaseインヒビターのような蛋白質も敏感にX線の影響を受けて失活し、RNAaseがこれによる抑制を解除されて働き出し、RNAをどんどん分解するようになり、それが放射線障害の一因となるだろう。

そこでまず研究は、このインヒビターを精製することから始めた。材料はネズミの肝臓。これをすりつぶして超遠心をかけ、得られた上澄み液から、2種類のカラムクロマトグラフィーでそのインヒビターを分離精製した。カラムクロマトグラフィーの担体は、一つはハイドロキシアパタイトだが、当時は自分でつくらなくてはならず、難儀した。もう一つはイオン交換樹脂、DEAEセルロースで、これは市販されていたがいろいろ調整しなくてはならず、なかなかうまく使えるようにはならなかった。もう一つ大事なことはインヒビターの検出方法。これも模索して自分でうちたてなくてはならなかった。リボヌクレアーゼを失活させる程度を測る方法である。生化学の素養がまつたくない身でいきなりこのようなことに着手するのは非常に厄介で、後からふりかえれば何でもなかったことでも、当時の私にはなかなかかどらなかつた。

分離精製するよりもまずこの検出方法の確立が先だったので、精製前の段階、上澄み液を直接使ってRNAase活性を抑える性質の定量化をはかった。結局大学院5年間はこの解析、つまりキネテックスに凝ってしまつた。そしてその結果、このインヒビターのRNAaseを失活させる仕組みについておもしろい解析はできた。ここ

で問題にしているRNAaseというのは哺乳類の組織にいたる所多くあるRNAase Aで、比較的低分子で丈夫な酵素。アミノ酸配列や立体構造まですでに知られていた。この酵素の活性中心はヒスチジン。亜鉛イオンがこのアミノ酸とよく結合するので、このイオンもまたこの酵素を失活させる。それも活性中心に直接結合して阻害する。いわゆる拮抗的阻害である。しかし問題にしている蛋白質のインヒビターは、キネティックを調べて亜鉛とはまるで違っていた。このキネティック解析に、放射線生物学でよく使われていたターゲット理論を利用した。非拮抗的阻害で、かつ1カ所ではなく3カ所結合して阻害することがわかつた。この成果で学位取得したと思っている。とても当初の目標、放射線の影響を調べるまでには手がとどかなかつた。なおこのインヒビターの立体構造は何とようやく1995年に明らかにされた。ロイシンリッチ・リピートの特徴をもち馬蹄形で、球状のRNAaseをはさみこむような形をしている。おそらくこの酵素に4カ所あるS-S橋を3カ所開き、インヒビターのSH基と結合させて、ほぐして構造を変えて働きを抑えるものと思われる。当時同僚だつた野間口隆氏が偶然にもよい論文を見つけ出して教えてくれた。化学的にこの酵素のS-S橋を切断させて失活させたという報告である。これは非常にありがたかつた。3という数はその論文で報じられていた数と一致していた(図1)^(15,16)。

この結果は、当時の教室の習わしに従って、紀要に英文で載せた。主に2人の教授にさんざ校正され検討されたが、この検討は大学院を終えて数年後に自分でようやくきれいにしあげられることに気づいた。しかしもはやタイミングを逸していた。この蛋白質を精製してこの結果を示し、後でわかつたより洗練された解析を行い、広く流通している雑誌に載せていけば日の目を見たのにと残念でならない。

なお脾臓のような器官ではこの酵素の活性が非常に高い。盛んにこの酵素が働いている。こ

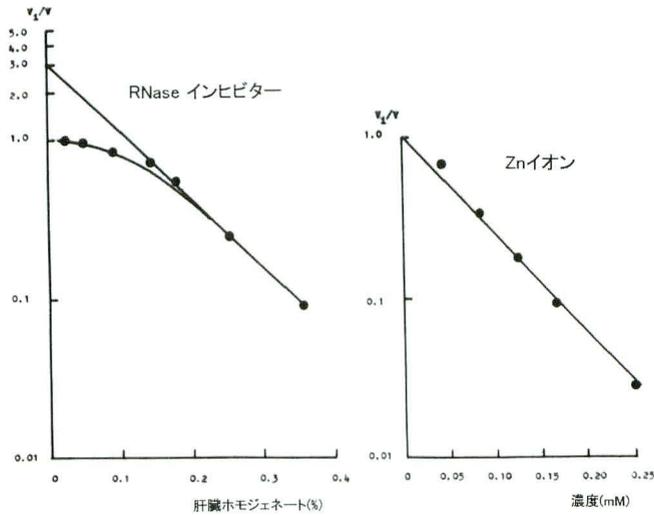


図1 RNAaseの阻害：ターゲット理論の応用

のようなところではこのインヒビターはどうなっているのかについて調べた。そこから今度はこのインヒビターから酵素を解除する物があることに気づいた。透析できず、熱に弱いから蛋白質に違いない⁽¹⁷⁾。ただ時間がもうなく話はそこまでで終えざるを得なかった。とうとう最初の課題、放射線の影響についてまでは手が回らなかった。これだけで5年間を要したが、まったく生化学の実験をほとんど経験してこなかった身には今一つ詰めることができなかった。また途中の1年間は東大闘争で学園が大荒れになり、完全に研究はストップしてしまった。その間は実験などをやっていると言えぬ。秋田先生は一言嘆いたのを思い出す。日本人は少しも変わっていない。彼は戦時中の日本人の意識を連想していたに違いなかった。

当時隣の棟におられた、医学部の江橋節郎先生は実験道具を自宅に運んで実験していたという武勇伝ももれ聞いた。筋収縮制御にカルシウムイオンが働くのだが、そのシステムの基本をほとんど一人、もちろんお弟子さんたちが少なくなかったがまさに単独で実験して明らかにした。ノーベル賞をとらなかったのがおかしい

らいの大変な成果であった。ところで妙なもので、この教育学部での私のもとの卒研生および大学院生だった沼尻貴行君が江橋先生の近い親戚だった。この先生のお名前と成果は講義で紹介し、彼も聴いていたはずだが憶えておらず、彼自身、親戚で節ちゃんなどと言われたくらいしか関心がなく、どれだけすごい人なのかよくわかっていないらしかった。それにしても世間は実に狭い。

静岡大学理学部生物学科の助手であった時代：鶏胚のグリコサミノグリカン、プソイドウリジンのトリチウムラベル化、カミキリムシ、アリ

私が赴任した当時の静岡大学理学部は、当時の他の大学の例にもれず講座制を敷いていて、とりわけ私がついた講座では、教授の研究の手助けばかりか、かなり私的な用のそれこそ使い走りまで随分とさせられた。ただ卒業研究の指導は赴任してすぐ担当させていただいたので、学生たちと起居を共にして研究に明け暮れることができたのはありがたかった。このような学

生が後に大きな宝になるとは当時はまったく知るよしもなかった。

私は生理・生化学講座に属した。この講座の教授、草間慶一先生は有機化学者で、アメリカで運搬RNAの微量成分、プソイドウリジンが細胞内につくられる代謝過程を学びとり、これが癌細胞でどのようになっているかを追求していた。そのためプソイドウリジンに放射性アイソトープのトリチウムを標識しなくてはならなかったが、そのような物は市販されていない。これを合成するため、そこで大阪の南にある、京都大学の熊取原子炉実験所にはるばる出向いて、リチウム6に中性子を低温照射すると核分裂しトリチウムをはねだす（反跳）性質を利用して、プソイドウリジンにトリチウムを標識させる実験をいくどとなく繰り返した。こうして自前で用意したのだが、そのための実験を執拗に手伝われた。純然たる化学実験なので、動物学畑の身には慣れない仕事で相当辟易したもののだが、分子レベル下の実験はよい体験になった。またこのしんどい実験で大いに根性を鍛えられた。

ところでそこでの私の研究テーマは、就職をはかってくれた藤井隆先生が依頼したものだ。ヘパリンという物質、グリコサミノグリカン（glycosaminoglycan; GAG）またはムコ多糖の一種でもっとも硫酸化された糖が、皮膚の傷の修復に関係しているらしい。その役割をニワトリ胚（鶏胚）で確認してみたいということ。鶏胚の角膜は初めは傷をつけて修復することができないが、ある時期を過ぎると修復できるようになる。まずはこの角膜にあるヘパリンの有無または量の変化を追ってみるということだった。そこでヘパリンを初めGAGについてまず学ぶことから始めなければならなかった。ここでアイソトープ技術を草間先生から入念に教えてもらう機会を得た。彼は当時アイソトープ技術として盛んに使われていた液体シンチレーションカウンターの日本一の専門家でもあって、

この技術に関する書や講演をも精力的に行っていた。講演の手伝いも初めの頃よくさせられて大いに勉強になった。それはともかく、鶏胚のヘパリンを追うとそのような物質はなく、むしろ硫酸基がそれより少ないヘパラン硫酸が存在していることがわかった。ただ成果は学会発表レベルどまりで、論文に仕上げられるほどの確たる結果が如何せん得られない。藤井先生の依頼は隣の組織学の講座も一丸となって共にこのテーマにとりくんだ。そちらは組織学的に追求、私の方はもっぱら生化学的方法、アイソトープとカラムクロマトグラフィーないし濾紙電気泳動法で追求した（図2）。だがなかなか埒があかなかった。これはそのまま立ち消えになってしまった。

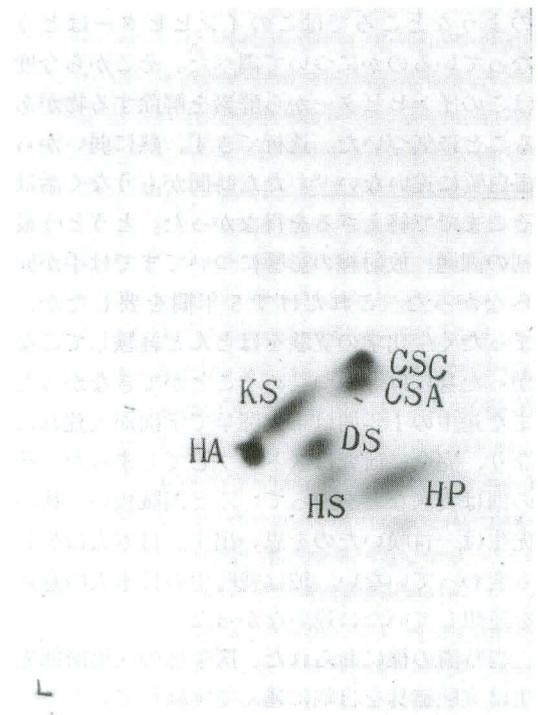


図2 グリコサミノグリカンのセルロースアセテート膜電気泳動。HA：ヒアルロン酸、KS：ケラト硫酸、DS：デルマトン硫酸、CSA：コンドロイチン硫酸A、CSC：コンドロイチン硫酸C、HS：ヘパラン硫酸、HP：ヘパリン

そのしばらく後になってヘパラン硫酸は、脊椎動物の細胞が遊走する際、その床となる組織部分に欠かせない多糖であることがわかった。藤井先生の勘は当たっていたわけである。ヘパラン硫酸を認識して細胞遊走の鍵となる細胞表面の蛋白質がわかり、それがフィブロネクチンだが、埼玉大学理学部生体制御学科出身、お茶の水大学の林正男氏がこの物質を研究して成果をあげたのを知り、因縁を思う。彼から学会の休憩室でそれは残念と同情されたのを思い出す。私や同僚の追求が手ぬるかったことを後悔、期待に添えなかったことを詫言っている。なお、この頃卒業研究を私のもで行い、現在長岡技術大学教授の古川清氏が、糖鎖生物学の第一人者として活躍し、私にとってよきアドバイザーとなった^(25, 27, 28, 32)。彼が都老人総合研究所の室長であった時に、多くの学生に研究所での研究体験を面倒見てもらい、また糖鎖研究の最近の事情など教えてもらった。

鶏胚のGAGについては初め胚全体、ついで皮膚について調べた。そして皮膚については確かに胚の後期にヘパラン硫酸が増えてきていることを確かめた。またさらに皮膚が浸る羊水についても調べてみた。するとここも後期にある糖が増えてくることがわかった⁽¹⁸⁾。分析するとこれはGAGではなく、シアル酸を含む糖蛋白質であることがわかった。これが一体どこから来るのか不思議だったが、卵白のオボムチンにこれが多量に含まれていて、羊水に取り込まれてくるのだった。そして卵白は水分を羊水中に抜き取られる。シアル酸があると卵白に水が保持される。この水分が羊水のもとになる。羊膜が卵白のシアル酸をはずして、卵白の水分の保持能力を低下させて水を羊膜腔にとりこむ。このようなことに気づいたのだが、論文にしあげるような状況ではなくなった。

草間先生はまた趣味が高じて日本産カミキリムシの大家になっていた。ご多分にもれずひまさえあれば、いや教務委員長などの用があるとおかまいなしに日本中、とりわけ南西諸島に

はしきりに採集に出かけていた。彼の採集にも何回か同行した。彼の仲間たちと5月、和歌山県は有田川上流の山奥で目的の珍品ヨコヤマトラカミキリ採集に出向いたことがある。その時私一人がしかも何の装備もなしで最初に素手で捕まえてしまったことがあった。その時の連中の悔しそうな顔は忘れられない。それだけならよいが悔しさのあまりやたら不機嫌になって八つ当たりしてくるのには閉口したが、内心快哉だった。だが二度目に出向いた時には運転していた車が山道の崖からもう少しでまっさかさまに落ちるところだった。後輪が2つとも100メートルはゆうにある崖縁からつき出しながら、からくも落ちずにすんだ。一緒に死ぬのならお互い別の人であって欲しかった。先生もお前なんかと死ぬるかと思ったに違いないが、私と同様。こんな所で死ぬならもっとロマンが欲しい。共に悪運だけは強かった。それはともかく、彼のカミキリムシのコレクションには大いに驚かされた。翅が閉じてしまってモグラ、というよりオケラのように変わってしまった、ハイボセファラとかいう地中生のカミキリムシの姿はいまだに脳裏に焼きついている。

静岡大学の生物学教室ではまた南アルプスや富士山に行き植相を調査研究している人たちもいた。彼らにもよくついて山に入った。もともと小さい頃からアリが好きだったので、このついでに盛んにアリを採集し、これがきっかけで日本蟻類研究会に入り、日本のアリの大家たちと知己になった。富士山では5合目あたりで植物をコドラート調査をしていた静岡大学の増沢武弘氏の調査地点を借りて、ヤマクロヤマアリ *Formica lemani* の分布を調べた。このアリの分布に沿って、ミヤマハンミョウの幼虫が分布していた。そこにはまたカラフトクロオオアリ *Camponotus sachalinensis* も採集できた。南アルプスでは採集されていたが富士山には見つかっていなかったそうである。調査依頼で静岡の浜岡近くにある丘で採集したアリには、日本一のアリの大家、久保田政雄氏も同定できない

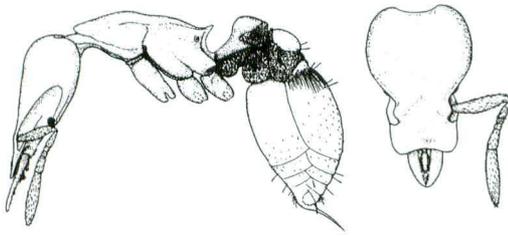


図3 ウロコアリ的一种、ヒラタウロコアリ。
B. Hölldobler & E. O. Wilson “The Ants”, 1990.
The Belknap Press of Harvard University
Pressより引用。

ものがあり、彼がアメリカのアリ学者ブラウン (W. L. Brown) に見てもらったら、即刻新種発見の論文のタネにされてしまった。ウロコアリの仲間、ペンタストルマの一種 *Pentastruma canina* とされた (現在は *Pyramica canina* (Brown & Boisvert, 1979) に改名、和名はヒラタウロコアリ) (図3)。

この頃はまた卒研生たちと夏にはよく山登りを行った。

この植物生態の研究者と一緒に静岡県湖沼・海岸の生態調査を県から依頼されて静岡県の主立った海岸や湖を一体調べ回りもした。伊豆、御前崎、そして浜名湖をずいぶん見て回った。これらのフィールドワークも私には大変よい経験になった。この教室にいてこそ、分子下レベルから生態学のレベルまで幅広く生物学の研究を体験できた。成果は報告書⁽³⁴⁻³⁶⁾どまりだったが、私には大変貴重な体験であった。

埼玉大学教育学部に転任してからのテーマ： ウニ胚の温度感受性

埼玉大学教育学部に転任した、いやできたのはそのような研究の頓挫した頃だった。仕事から何から心機一転させたかった折だったので好機だった。すでに仕事の転機をはかるべく、大学院時代の同僚二人の手助けで、三浦市にある東大附属三崎臨界実験所や、板橋にある老人総

合研究所で、ウニの発生を材料に、まずは種ごとに発生の適温がことなることを始めていた。自動車で静岡から三崎や東京に学生たちを同乗させて連れ、楽しみながら泊まりがけの実験をした。このウニが埼玉大学に来てから今にいたるまでの研究テーマとなった。また幸い理学部には石原勝敏氏や末光隆志氏がおられて、ウニの発生を生化学的に研究されていたので大変にありがたかった。お二人にもずいぶんと便宜をはかっていただいた。石原氏はウニ胚の細胞数変化のデータを知りたがっていたので、これも私の主なテーマにした。

転任当初はあてがわれた部屋には机、本棚、電話機だけ。最初の年にはさすがに卒研学生が寄りつかなくて気楽に過ごしていたが、次の年からすぐ4人の学生が卒研に就いてきた。早速卒研生にふさわしい題目を考えなくてはならない。卒研生たちはウニの胚を見たことがなかった。そこで実習がてら、私の部屋の真ん中にある古い木造の机に、近所のスーパーでもらった発泡スチロールの箱を置き、その中の水を入れ、新規に購入したヒーターやクーラーで水温を一定にして、発生の時間を計ってもらうことにした。これがあらたな研究の発端となろうとは思ってもしなかった。さすがに、温度と発生時間だけではただのデータに過ぎないので、いますこしデータ処理をして考察してみようと、温度と発生速度との関係をグラフにしようともとめてみた。そのグラフはきっとアレニウスの法則にのっとり指数関数的なものになるに違いない。その通りだったらそれで終わり、最初の卒研発表は実習程度の内容にすぎなかったであろう。ところがそのグラフがほぼ直線になったのは意外、瓢箪からコマだった (表1、図4)。

ここでの最初の卒研段階からすぐさま、東大理学部の動物学教室の図書館に向いて、胚発生と温度とに関する古い文献を探しまくり多くの過去の研究を掘り出した。20世紀初頭に多くの研究者が似たような結果をいろいろな動物の胚や成体で散発的に報告していた。だがあまり

表1 バフンウニ胚の発生時間(分)と相対発生速度

胚期	温度(°C)					
	5	10	12	15	20	23
2細胞期	343±6 (0.18±0.01)	162±6 (0.37±0.02)	127±2 (0.47±0.01)	90±0 (0.67±0.00)	65±0 (0.92±0.00)	60±0
4細胞期	513±12 (0.18±0.01)	245±15 (0.38±0.01)	188±8 (0.49±0.01)	137±2 (0.66±0.01)	97±2 (0.93±0.02)	90±0
8細胞期	703±12 (0.17±0.01)	323±20 (0.38±0.02)	263±26 (0.48±0.01)	192±13 (0.66±0.01)	133±5 (0.92±0.00)	122±2
16細胞期	888±43 (0.18±0.01)	412±28 (0.38±0.01)	330±29 (0.48±0.02)	240±10 (0.65±0.01)	170±10 (0.93±0.01)	155±5
孵化	2740±348 (0.21±0.01)	1447±105 (0.43±0.02)	1127±88 (0.55±0.02)	865±53 (0.72±0.02)	633±21 (0.98±0.00)	620±22
間充織陥入	4150±40 (0.16±0.01)	1800±30 (0.37±0.00)	1440±30 (0.47±0.01)	1010±10 (0.66±0.00)	735±5 (0.91±0.00)	665±5
原腸陥入	5035±35 (0.16±0.00)	2170±20 (0.38±0.00)	1755±15 (0.47±0.01)	1250±10 (0.65±0.00)	890±10 (0.92±0.01)	815±5

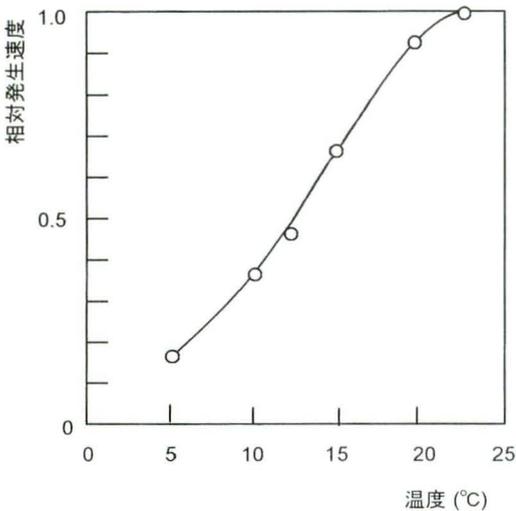


図4 バフンウニ胚の相対発生速度と温度

まとまって結論を得ている人はいないようだった。これでこの結果は格好のテーマになった。

その後長年、いろいろなウニで胚の発生速度と温度との関係を確認した。また同種のウニでも、生息場所や産卵期の異なる場合についても確かめた。バフンウニ⁽¹³⁾やユウレイホヤ⁽¹⁴⁾で特に入念に調べた。バフンウニは北海道から九州まで広く分布するが、ほぼ同じ春に産卵す

る。水温は最大12°Cも異なっていた。またユウレイホヤは一世代が数ヶ月しかなく、春と冬では体験温度がやはり10°C以上も異なる。このような場合に共に、適温温度域は3°Cくらい上限、下限ともシフトする。しかし発生速度はほとんど変わらないことを確かめた。

このような研究は教育学部の学生にとっては好都合と自負している。磯などに出向いてウニの生きている様を観察したり、顕微鏡の使い方に慣れたり、動物の飼育を経験したり、定量的なデータ解析を経験したり。そればかりでなく、これらの実験の結果を総合して、動物の発生と温度との関係について、以下のような二つの原則、温度に関する発生原則を見いだすことができた。

1. 発生には、正常発生が保証される適温温度域が種ごとにほぼ確定している。

たとえばバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* は三崎で冬場から早春にかけて産卵する。つまり放卵・放精する。このウニの胚はおよそ5°Cから22°Cくらいの間で正常に発生する。それ以外の温度では奇形になってしまいまともな成体になることはできない。バフンウニはこの温度

が保証されるような季節に繁殖する。繁殖期の海水温度は三崎でおよそ10~17℃で、まさに好都合な時期に胚発生を進めるようにしているわけである。

逆にムラサキウニは三崎で夏場に放卵・放精する。このウニの胚の適温温度域はおよそ15℃から29℃くらいである。このウニの繁殖期の海水温度はおよそ19~27℃で、このウニ独自の胚の温度感受性に合わせて繁殖期を定めているといえることができる。

なお、胚発生の適温温度域が種ごとにほぼ確定していると述べたのは、ウニがすんでいる場所の温度環境によつていくらか胚の適温温度域がシフトしていたからである。バフンウニがよい例で、これは北海道から鹿児島まで広く分布している。それでいて繁殖期があまり変わらず冬からせいぜい初夏までのうちに放卵・放精している。その時期の海水温度は北海道と鹿児島とでは12℃ほども違っていた。これくらいも違っていたらさすがに胚発生の適温温度域も3℃くらいはシフトしていた。

2. 相対発生速度は胚の時期にはかわらない。

胚の発生速度は温度が高いほど大きくなる。ただし適温温度域内でのことで、この温度域上限で最大となる。それ以上温度を高めても発生速度は高まらずただ奇形になるだけ。そこでこの最大の発生速度を基準にとって1とする。これが相対発生速度で、それ以下の温度での発生速度は1以下となり、温度ごとにその値が決まる。この相対発生速度をそれぞれの温度ごとに、胚の時期、つまり第一卵割、第二卵割、第三卵割、第四卵割、孵化、間充織陥入、原腸陥入などについて調べてみる。すると相対発生速度の値はこの時期の違いには関係しない。つまりある温度での第一卵割や第二卵割、第三卵割などの相対発生速度はどれもほぼ等しい。

以上の二つの、温度に関する発生原則については二つの論文にまとめて共に国際誌に発表し

た^(10,11)。

この実験には温度制御の実験装置が決め手となる。初めは水槽内の水を冷やすクーラーと、精密なヒーターとを選んで組みあわせて使い、ぎこちないセットを組み立てて、私の研究室内や、臨海実験所や他大学や研究所などにお邪魔して発生を観察してきた。この実験はすべて徹夜しなければならなかった。これが辛くもあり楽しくもあった。途中の待ち時間は深夜数時間もざらで、気分紛らしに飲酒などしてはならない。これは若くなくてはもたない実験なので学生が何より頼りだった。私も学生や大学院生の頃は一人でよく徹夜した経験があったので、男女別なく情け容赦なく命じた。

ぎこちなく組み立てた温度調節セットではなく、コンパクトにまとまり、一台で5点もの温度設定ができる5連式水槽をようやく手に入れることができたのは1988年近くになってからだった。このような水槽を作製できる会社をふと森沢所長からうかがった。彼はアクア社に大規模な水槽飼育施設を三崎臨海実験所につくらせていたが、この会社がそのような水槽も扱っていたのであった。初め持ってきたのはとても一人では持ち運べないような代物だった。そこでなるべく手軽によそに持ち運べるような物を特注で造ってもらった。これは大変に重宝し、その翌年、アメリカ、ワシントン大学付属のフライデイ・ハーバー臨海実験所(Friday Harbor Laboratories)に出かけて、北極圏にすむウニ、ホクヨウオオバフンウニ*Strongylocentrotus droebachiensis*(図5)の発生を調べた際に役だった。以来この水槽でもっぱら実験を続けてきている。

この実験所に行くきっかけは、1985年に日本で開かれた国際細胞生物学会の分科会に参加させてもらった時に得られた。名古屋大学の中埜栄三氏が伊勢の大王崎でこの分科会を開き、世界の主立ったウニ研究者、日本、アメリカとイタリアの学者たちがここに一同に会した。といっても家族連れが多く、夏なので短パン姿の

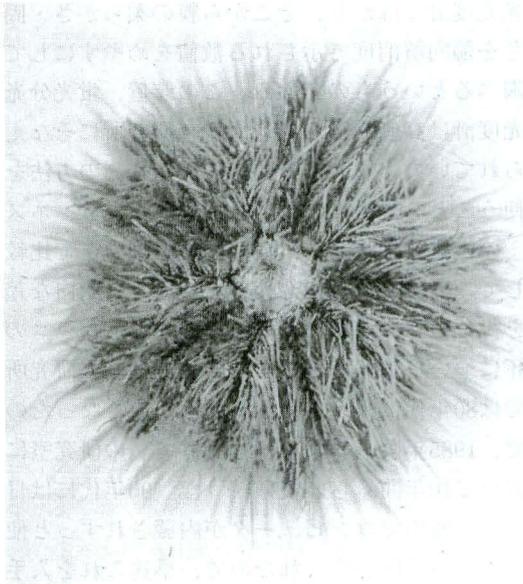


図5 ホクヨウオオバフンウニ

いでたちで実にラフな、くだけた雰囲気での発表を進めていった。この会への参加には両宮氏の力添えがあった。この会場では、ワシントン大学のアーサー・ホワイトレー (Arthur Whiteley) 氏と知り合いになり、私の仕事の話をつつとどしく話したら、フライデイ・ハーバーにいるリチャード・ストラスマン (Richard Strassmann) 氏を紹介してくれた。長研の番が幸運にもまわってきたので、即刻計画をたて、あらかじめ彼のもとを訪ねて施設の様子などを下調べした。彼は同年代だったのも好都合だった。この大学には医学部の方に、岩田氏が勤めていたのも幸運、いろいろ便宜をはかってもらった。

この実験所に向いたついでに、ホワイトレー氏から彼の懸案だったテーマをもれ聞いて即実験した。彼は偶然、ハスノハカシパンの一種 *Dendraster excentricus* の卵をアルカリ処理すると、アメリカムラサキウニ *Strongylocentrotus purpuratus* の精子で受精し、ハイブリッドをつくることを見つけていた。たださすがに種が違いすぎるのでこのハイブリッドは原腸胚までしか発生が進まない。なお逆のハイブリッドはで

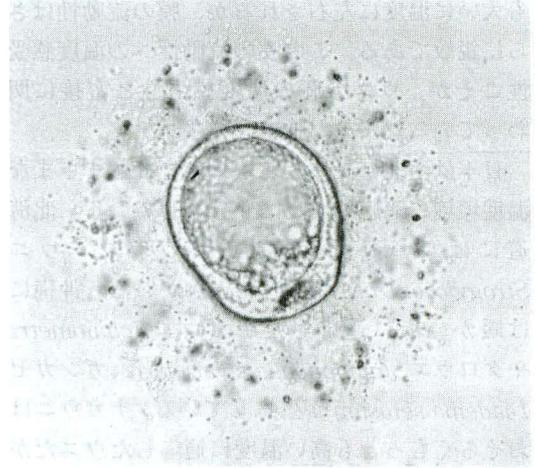


図6 ハイブリッド胚: 周囲に存在している細胞はカシパンの一種 *Dendraster excentricus* の色素細胞。アメリカムラサキウニ *Strongylocentrotus purpuratus* の精子を受精させてつくった。胚の形が精子のゲノムの影響を受けたことを示す。

きない。奇妙な話ではある。この二種の胚の温度感受性は幸いにも少し違っていた。そこでこのハイブリッドの温度感受性を調べてみたら、さすがに卵の方、つまりカシパンの胚の温度感受性と同じだった。胚の温度感受性は卵の方で決まる。この、ひょんなことから降ってわいたテーマを調べて、胚の温度感受性は卵の細胞質成分で決まるという格好の証拠を得ることができた。ホワイトレー氏が気づいて長年あためておいた問題はあっさり片づけてしまった。長らく温度感受性を調べてきていたからわけはなかった (図6)⁽¹²⁾。アメリカは競争社会ではあるがまた信じられないくらいに人のよい、寛容な社会、あるいは隠蔽は罪とでも見なす社会でもあるのだろうとはこの時に実感した。

ウニ胚細胞の膜の流動性と胚の温度感受性

細胞の表面や細胞内の仕切り部分には脂質でできた膜がある。この膜の固さ、柔らかさ、すなわち流動性あるいは粘性は、温度の影響を敏感に受ける。もちろん蛋白質、特に酵素の活性

も大いに温度に左右されるが、膜の流動性はさらに鋭敏である。この膜の流動性への温度感受性こそが、ウニの胚の温度感受性と密接に関わっているだろうと推察してきた。

日本は南北に長く、北から南までさまざまな温度環境に適応したウニが分布している。北海道には寒い海に適応したエゾバフンウニ *Stroglyocentrotus intermedius* がいる。沖縄には暖かい海に適応したナガウニ *Echinometra* やクロウニ *Stomopneustes variolaris*、ガンガゼ *Diadema setosum* が生息している。ナガウニはおそらくもっとも高い温度に適応したウニだが、もっとも寒い温度に適応したウニとしては北極圏ではホクヨウオオバフンウニ、南極にはストレキヌス・ニューメリ *Strechynus neumaeri* がいる。エゾバフンウニはこれら2種のウニほど寒さに適応してはいないが、ホクヨウオオバフンウニには近いと思われる。

これらのウニの胚の適温温度域は種により低温あるいは高温にずれており、たとえばエゾバフンウニでは4℃から18℃くらいまで、ナガウニは22℃から32℃前後までである。ホクヨウオオバフンウニではさすがに北極圏にいるウニだけあって、氷につけた海水中でも卵割くらいまでは進んだ。これの胚の適温温度域は2℃くらいから12℃くらいまでと判断した。南極にいるウニはさらに低温に適応しているようで、-2℃から8℃くらいまでと報告されている。このことを報告したのがスティーブンス (R. E. Stephens) 氏で、1985年夏、ウッズ・ホールで会うことができた。このウニも手がけたく、いろいろ手はずを考えてみたが結局果たせずじまいに終わった。

細胞の膜の流動性 (membrane fluidity) は、1970年代には方法が確立され広く計測されるようになっていた。その方法とは要するに、ジフェニルヘキサトリエン (diphenyl hexatriene; DPH) という蛍光色素を膜のリピド分子の間にはさみこませて、この色素分子の運動を蛍光分

光光度計ではかり、そこから膜の柔らかさ・固さを偏向解消度で示される数値をめやすにして調べるといふものである。この装置、蛍光分光光度計は高価な物が都老人総合研究所にそなえられていて、友人の野間口隆氏からこの方法を使うことを奨められた。まず適温が違う、ネズミの繊維芽細胞とウニの胚の解離細胞とで比較してみて、この方法が使えるか試し、明白な差を得たので、以来この方法をいろいろなウニの胚について調べてきた。この装置は老人研究所では80年代に入って使う必要性がなくなったので、1985年頃、これを譲り受けて私の研究室に置いて10年間くらい使い続けた。90年代には日立から廉価でコンピュータが内蔵されずっと使いやすい装置が作られたので、早速これ入手し、温度調節を行えるように装置を組んで、調べなおした。精度もずっとよくなり、おかげでやっと、ウニ胚の温度感受性と胚細胞の膜流動性との明白な対応をつけた結果を得ることができた (図7) ⁽²⁶⁾。

この結果、適温温度域の上限、つまりウニ胚が正常に発生できる温度で高い方の限界での膜

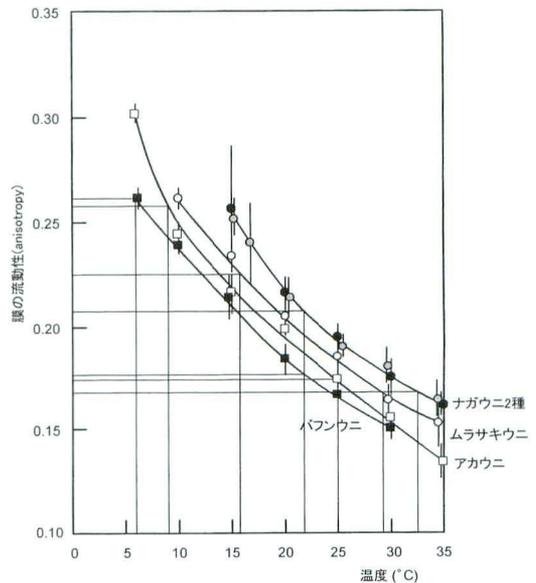


図7 ウニの胚の細胞の膜流動性と温度との関係

の流動性がある値でほぼ共通していることがわかった。このことはそれぞれの種で、この値以下に膜がやわらかくなってしまうと正常に発生できなくなることを意味する。そのようなやわらかさに達する温度が種によって異なっているわけである。

ただこれにも例外があった。エゾバフンウニ胚では膜が適温温度域内では、これまで調べた他のウニに比べてはるかに固いのである。タコノマクラ胚もエゾバフンウニ胚ほどではないが、同様の傾向を示した。この意味はいまだにわからない。温度以外では水圧が膜の流動性に影響すると考えられるが、確証はない。

それはともかく、ウニ胚の細胞の膜の流動性と胚の温度感受性との間にきれいな相関関係を見いだせたので、次はこの膜の流動性と膜の脂質成分との対応を調べてみることにした。東京学芸大学の三田雅俊氏が以前、ウニなどの海産動物のリピド組成分析を手がけていて、この方法に精通しているので、彼の協力を得て目下これを進めているところである。予想としては、膜のやわらかさは不飽和脂肪酸の多さによるということを再確認することになるだろうが、具体的にウニではどのような脂肪酸が多いのか、種の違いによってどのようにその成分比が違っているのかはまだ調べられていない。互いになかなかおちついてとりかかることができず遅々として進められなかったのが残念だった。

ウニ胚の細胞数

雨宮昭南氏は1970年代、イタリアのジョバンニ・ジウディツェ (Giovanni Giudice) が調べた現象、ウニ胚を解離して再凝集させるとまた胚のような現象に注目し、この様子を走査電子顕微鏡で丹念に調べていた。この実験をしていて彼は、この再凝集過程には種特異的温度依存性があるらしいことに気づいていた。これを検討して彼の気づいていたことを確証した。

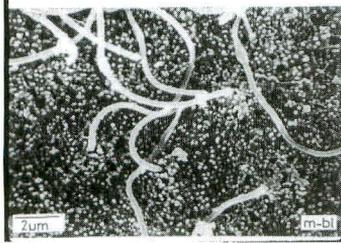
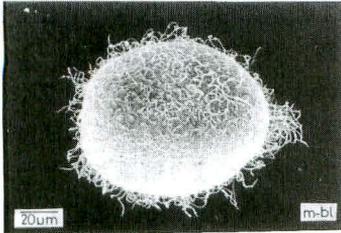
ウニの胚を天然海水からカルシウムとマグネ

シウムのない人工海水に移し、さらに浸透圧を海水に等しくした、つまり等張の蔗糖液、この中には、わずかのカルシウムをもとりのぞくための試薬EDTAを含ませてあるが、この液に胚を入れてゆすってやる、つまり解離させると、胚は個々の細胞にバラバラになる。このようにした胚細胞、単離胚細胞は再び天然の海水にもどすと、再び互いに接着しあい、さらにはもとの胚のような形になり、プルテウス幼生もどきのようになる (図8)。

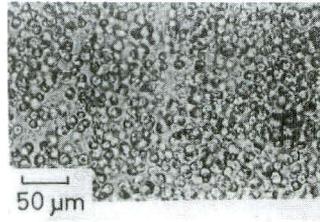
この実験こそ私がウニの発生に手をつけたきっかけとなった。ただ成果は学会発表とマイナーな邦文誌に載せた^(9, 19-23)までで、正規の論文にまでは仕上げられなかったが。

この実験をしている過程で、胚を解離させることを定量化すること、つまり解離率を割り出すこと、また解離させた細胞の数を数えて、胚の細胞数をわりだせることを思いついた。そしてこの方法で、胚発生過程の細胞接着の強さや、細胞数を調べることを始めた。

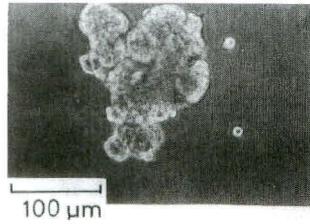
ウニ胚は亜鉛イオンによって胞胚にはなるが、その先が進まなくなり、いわゆる永久胞胚になってしまう。外胚葉化ともいえる。あるいは動物極化胚ともいわれる。またリチウムイオンがあると、胚全体が三部分にわかれた、プルテウス幼生の消化器のようになってしまう (図9)。これは内胚葉化ともいえる。あるいは植物極化胚ともいわれる。この両方の胚について、細胞接着の強さと、細胞数とを調べてみた。動物極化胚では細胞接着が相対的に弱く、また細胞数は相対的に多かった。対して植物極化胚では細胞接着が強く、また細胞数は相対的に少なかった (図10)。この成果は短報誌「エクスペリエンシア (*Experientia*)」に発表した⁽⁸⁾。まったく独自に書き上げ一流外国雑誌に投稿した論文である。この成果はジウディツェ氏が知って彼のモノグラフ「*The Sea Urchin Embryo*」(1986)に引用してくれた。恥ずかしながらようやくにしてこれが独自に行い海外の一流誌にのせた最初の論文だった。



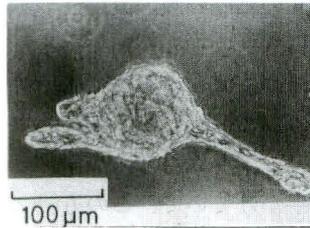
タコノマクラ胞胚全体図と表面



解離細胞

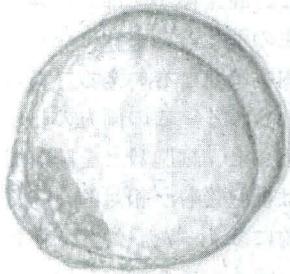


凝集

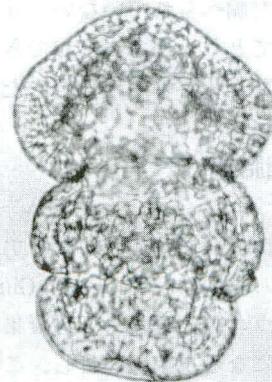


プルテウス様凝集体

図8 ウニ胚分離細胞の再凝集



Zn処理胚



Li処理胚

図9 バフンウニの亜鉛およびリチウム処理胚

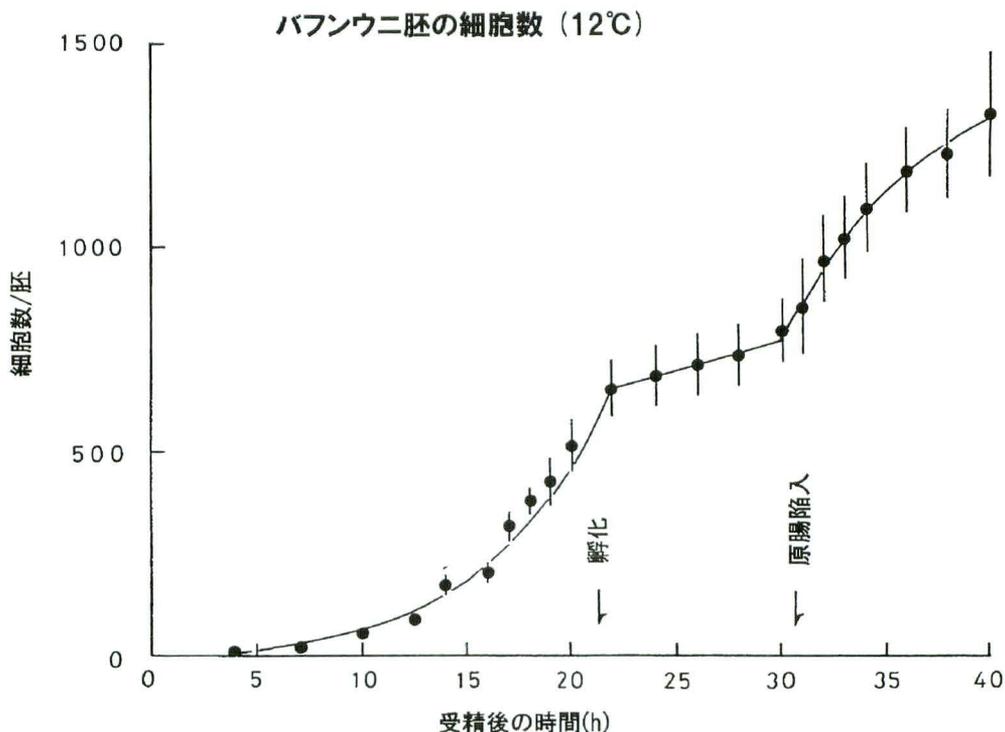


図10 バフンウニ胚の細胞数変化

一種類のウニの胚について、接着の強さの変動も調べてみた。そのため材料の胚はなるべくゆっくり発生を進めるのが調べやすい。ただそのかわり徹夜をしなくてはならない。これはきわめて過酷だった。二泊三日間、1~2時間おきに胚を集め、解離させ、解離した割合を顕微鏡で観察、数人が調べた結果を統計処理していかなくてはならない。かろうじて食事に行くのとトイレに行く以外の余裕のない実験である。1980年代中頃にこの実験を敢行、当時の卒研の学生はこのような実験を遂行できる根性がまだあったし、私もまだ元気があった。この結果、ウニは孵化して泳ぎだし、間充織細胞が陥入、正確には一層となっている細胞の一部が胞胚腔に落ちこんで間充織細胞になるという時期に、一時的に胚全体の接着が弱くなることを見つけた。おそらくかの陥入によって胚細胞の位置再編を起こしたためだろう。この実験はその

後もう二度と行わなかった。いや行えなかった。

だがこの実験結果から、細胞数の変化が単調でないこともわかった。孵化までは1個から2個、4個、8個というように分裂が繰り返されて細胞数が増えていく。いわば指数関数的に増加する。ところが孵化してから原腸陥入開始の時までの間はうって変わって直線的に少しずつ増えるにとどまる。原腸陥入が始まると再び増加は高まる(図10)。この原腸陥入前の細胞数増加の割合の低下はもう一つのテーマになった。細胞数は初め面倒な方法、解離した細胞の一定体積中の数を血球算定盤で数え、また胚の1ml中の数をルーペで数えて、両者から胚一個あたりの細胞数を割り出すという方法で調べていた。しかし、落射蛍光顕微鏡を入れてから楽になった。細胞の核をDNAと結合する蛍光色素で染め、スライドガラス上で胚をつぶして広げ、紫外線を当てて核の部分之光らせ、写真に撮って

において、この画像をあとでプロジェクタでホワイトボードに投射し、サインペンで印をつけながら手で数える。こうすると個々の胚の細胞数をより正確に数え上げることができる。この方法でより正確に胚の細胞数変化を追えることができた。もちろん結果はほとんど同様だった。解離方法よりずつと楽になったので、いくつかの種の胚、あるいは温度条件を変えた場合の胚でも調べ上げた。細胞数増加のパターンは変わりなかった。どれも孵化してから原腸胚に入るまでの期間、つまり遊泳胞胚の期間は細胞数の増加は一時的になだらかな直線のようになる。

アフイディコリン、アポトーシス

アフイディコリンという抗生物質は、広島大学の池上晋氏が東大農学部におられた時に見いだした、きわめて有用な阻害剤である。彼とは三崎の臨界実験所やら学会でよく会った。真核生物にあるDNA複製酵素、DNAポリメラーゼⅡだけを特異的に阻害する。この酵素をウニ胚に効かせるとDNA合成がおさえられ、しいては細胞数が増加できなくなる。この阻害剤を使ってウニ胚の原腸形成がどうなるか調べてみた。その動機は理学部の石原勝敏氏の仮説を確かめるためだった。彼は胚の細胞数の増加が圧力になって中に陥入して原腸ができるのだらうと考えていた。彼は原腸形成に関心をよせていて、胞胚腔の中にある液を濃縮して他の胚の外側から与えると、原腸が陥入するのではなく、外に出べそのように突き出す現象(図12)⁽²⁴⁾を追求していた。そのいきさつから原腸がともかく中であれ外であれできるのは、一層の細胞層で細胞が増えるのがじかの原因になっているのだらうと考えていた。原腸のできる位置が植物極に決まっている。それも動物極側で細胞数がずっと増加するからと見ていた。そのことは、動物極化胚が植物極化胚より細胞数がずっと多いという、私が見いだした結果(図11)から推察していた。そこでアフイディコリンで細胞数増加

を抑えてみる実験をした。もし石原仮説が正しいならその結果原腸はできないはずである。アフイディコリンを効かすタイミングが大切だが、とにかく細胞数が増加できなくなっても原腸はできることがわかった。石原仮説は否定された。だがこの仮説は有益な作業仮説だった。

惜しいことにこの成果は、当時アメリカの若いウニ発生学者、ウィスコンシン大のジェフ・ハーディン(Jeff Hardin)にしてやられた。鼻先をかすめられて発生学の雑誌「Developmental Biology」に先に報告されてしまった。1985年にウッズ・ホールで開かれたウニのシンポジウムに、細胞数の変化についてポスター発表したのが、これが彼によいヒントを与えてしまったに違いないと推測している。惜しいことをしてしまったと、いまだ悔やみきれない。

アフイディコリンを使う実験からまた私には思いがけない現象が見つかった。アフイディコリンを効かせた胚では細胞数の増加が停止するばかりかむしろ減ったのである。しかも減るのは決まった時期に限られるようだった。だからアーティファクトではない。つまりこの薬の副作用というものではない。当初は実験がうまくなかったのではとも思ったが、再現されるのもともと減るようになっていたことに違いなかった。そうすればアポトーシス(apoptosis)、つまりプログラム細胞死が起こっていることになる。即これが遊泳胞胚期の細胞数の増加がなだらかなる原因かと思ひ至る。

幸い、老人総合研究所にいる知人、新海正氏が、アポトーシスを直接目で見てわかるようにする技術に熟達していた。しかも温厚、親切なので私にはうってつけだった。彼のもとに卒研の学生ともども、ウニ胚を固定して持参し、アポトーシスの検出をしてもらった。死んだ細胞だけを褐色に識別させる方法である(図13)。そしてこのアポトーシスを起こした細胞の数を数えてみると、果たして遊泳胞胚の時期に特に多いことがわかった(図13)。いかんせん正確にその数を数えるのは難しい。しかし明らかにその

バフンウニ胚の細胞数；亜鉛およびリチウムの影響 (12°C)

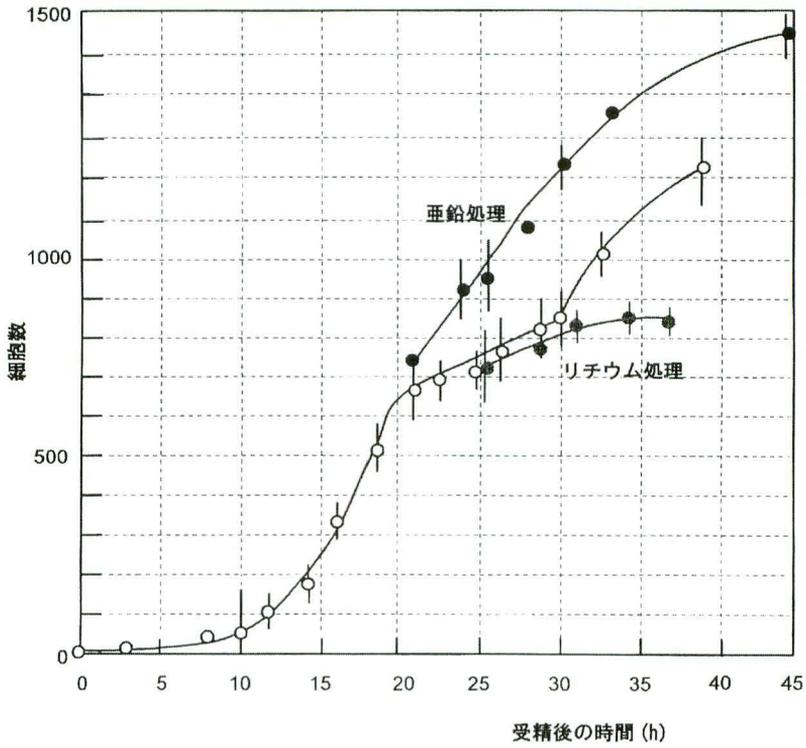


図11 バフンウニ胚の細胞数変化：亜鉛およびリチウムの影響

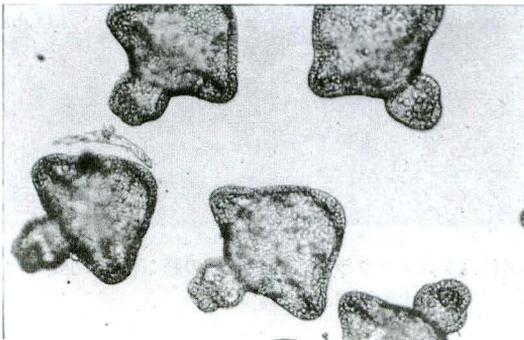
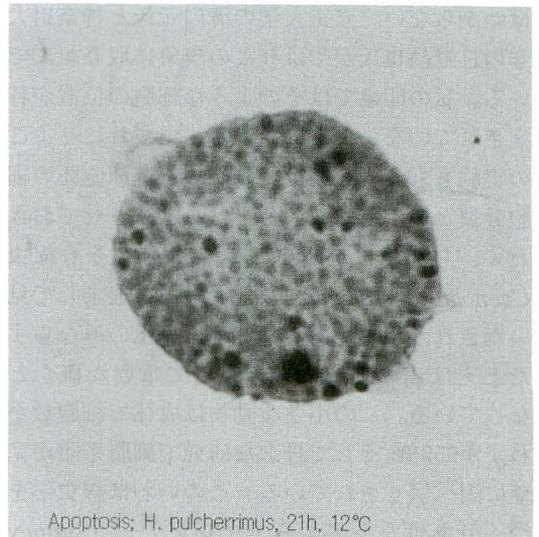


図12 ムラサキウニの外原腸胚 (exogastrula)



Apoptosis; *H. pulcherrimus*, 21h, 12°C

図13 アポトーシスを起こした細胞：濃く染まっている部分。バフンウニ胞胚

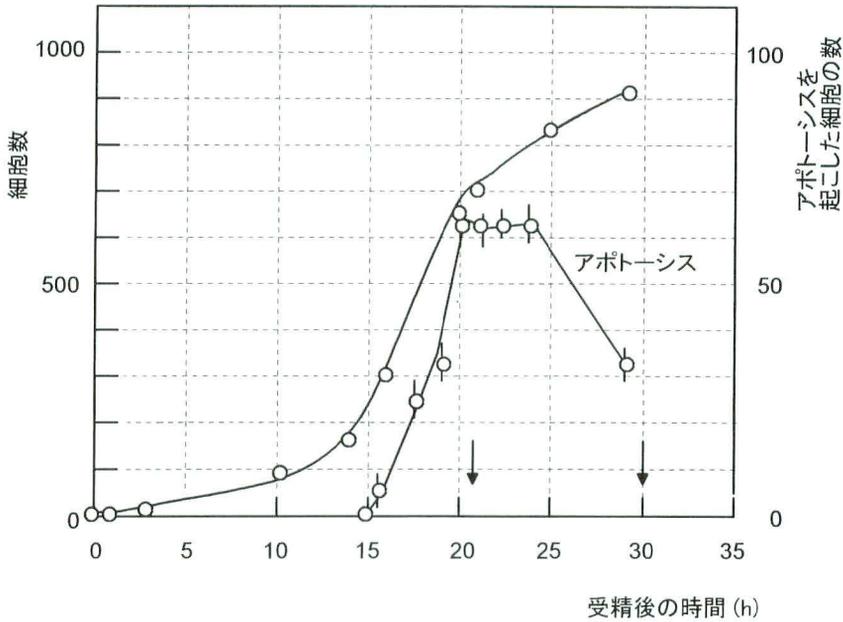


図14 バフンウニ胚の細胞数の変化とアポトーシス

傾向は見る事ができました。定性的には明確である。ウニ胚は遊泳胞胚の時期に盛んにアポトーシスを起こし、その後で原腸陥入という形態形成に入っていく (図14)。

どのような細胞が死ななくてはならないのかはわからない。立正大学の溝口元氏と神奈川大学の日野昌也氏がやはりこの現象に取り組んでいる。私の印象ではそのような細胞の位置が特定されていないように見える。いずれにせよこの実験ももう少し続けて確かめ、遊泳胞胚の細胞分裂とアポトーシスとははっきりさせておきたい。ちなみにアポトーシスはそもそも線虫 *Caenorhabditis elegans* の発生過程を追求して見いだされた現象である。これは発生のみならずたとえば癌の理解にもきわめて重要な概念となっている。この小さな動物は成体で細胞数がわずかに959個。そして丹念な研究で細胞系譜が完璧に調べ尽くされている。このいわば線虫学をつくりあげたシドニー・ブレンナー (Sydney Brenner) の執念にはつくづく敬服する。

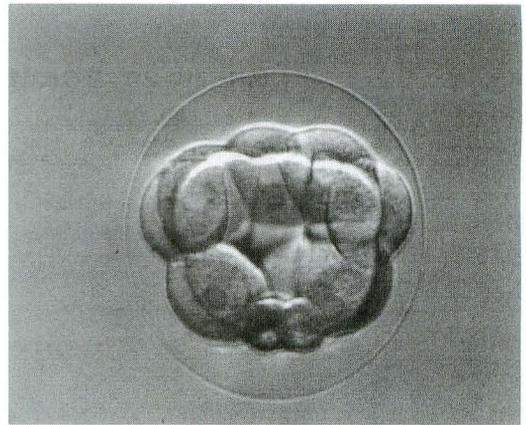


図15 タコノマクラ胚の16細胞期の胚：下側に小さい4個の小割球が見える。

小割球

ウニ胚は、プルテウス幼生をつくる発生を行うものでは第4卵割のときに植物極側先端に4個の小割球ができる (図15)。いきなり植物極側の4個の割球が不等分裂してきわめて小さな割

球をつくるのが昔から注目されていたが、この部分について初めて実験を試みて意義を見いだしたのはヘルシュタディウス (Sven Hörstadius) であると言えよう。大割球を除いてこの部分だけ残しておいても正常発生できることを、彼は明らかにした。この結果は、非常に小さいながらもこの部分には正常発生するのに必要な成分があることを示している。友人の雨宮氏はこの小割球の役割を探ろうと、ヘルシュタディウス以上の器用さを発揮していろいろなウニで追求した。その彼の研究の一環として、この部分だけをうまく染色して追跡することを私は試みた。小割球はさらにもう一度分裂してから、原腸胚の中頃まで細胞分裂を一旦やめる。このときに小割球はさらに小小割球と大小割球とに分かれる。そこでこの分裂の時期を見計らって、プロモデオキシウリジン (bromodeoxyuridine; BrdU) をDNAに取り込ませ、このようなDNAを識別する蛍光抗体を結合させてこの細胞を識別してみる方法を使ってみた。雨宮氏はこの小小割球が、原腸の先でもう一回分裂して8個になり、左右両側に原腸から体腔ができる際に、左側に5個、右側に3個できることを確かめようとしていた。これを私

は確かめることができた(図16)。さらに彼はこの左側の5個の細胞が将来変態するときに5放射相称の成体の原基になるのだろうと推察していた。プルテウス幼生の左側から成体のウニのまず口器部分ができてくる。これは当然ながら5放射相称だが、そもそもそのような相称性が生じるのはこの5個の細胞に由来するのではなかろうかというわけである。これを証明することはまだ成功していない。この5個の細胞だけをうまく除去あるいは死なせてしまうと成体ができないことを実験であかせればよいのだが、うまい手段がない。彼はBrdUをとりこんだDNAはある波長の紫外線にそうでないものより破壊されやすいことに注目し、蛍光分光光度計で試すアイデアを提案した。巧妙なアイデアだがこれには誰もあまり執念を抱かなかった。単にプルテウス幼生を変態にまでこぎつけさせるのさえそう簡単ではなく、いくらか名人芸が必要だった。とても片手間ではできる実験ではなかった。

雨宮氏のもっぱらガラス針でわずか0.1mmほどの径のウニ胚にある小小割球をとりのぞく手作業で実験を遂行してきたが、あまり明確な結果は得られずじまいになってしまった。そうこ

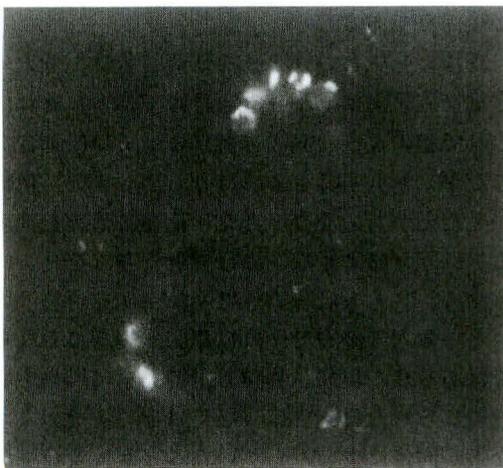


図16 小小割球のプリズム胚における位置：右図、原腸の先の部分で左側に5個、右側に3個と別れている。左図、レーザー共焦点顕微鏡による拡大図。

うするうちに、デューク大学のマックレイ (David McClay) が、両生類胚で一気に解明が進んだ胚発生にかかわる遺伝子の知見をいち早くウニの発生研究に導入して、小割球にベータ・カテニンが局所的に残存蓄積することを見いだした。小割球が両生類胚におけるニューコープ・センターの役割、つまり最初に誘導を行う細胞の役割を担うことをあばいたわけである。これをきっかけにしてウニ胚の小割球について、発生にかかわる遺伝子から解析が進められるようになった。雨宮氏からそそのかされて私がわずかにとりかかったことは、もはや古典的になり、形に残る成果は得られなかったが、まったく別の意味で、動物の系統進化に関して非常に重要な考えをもつきっかけを得た。

それは、ウニなどの棘皮動物が、原口が肛門になるというばかりでなく、体制が祖先の本来の体制から見て左側が発達して新たな相称性を共通につくりだしているということである。そしてそのことが脊椎動物の祖先とされているホヤやナメクジウオでも共通しているということである。このようなことを重視した研究がイギリス人研究者によって主に進められ、96年にサンフランシスコで開かれた国際棘皮動物学会でそのことをつぶさに見聞した。このことに刺激され90年代中頃に書かれたヘンリー・ジー (Henry Gee) の本を手にして即刻翻訳に着手した。当初雨宮氏と共同で訳そうともちかけたが途中で頓挫、結局一人で手がけざるを得なかった。まともな英語でなく、たとえが日本人にはなじみのないのが多く、えらく厄介だったがとにかく電子メールで著者に盛んに問いただしてようやく4年もかけて完了した。この本「脊椎動物の起源」⁽⁵⁾の内容は、古い動物学、今や忘れかけている懐かしい動物学を再びおこしてくれていた。とりわけわれわれの仲間、脊椎動物が、棘皮動物、さらにそれらの共通の祖先に当たるとされる半索動物との関連を新たに古生物学と遺伝子解析とから、古くてまさに伝統的な動物学のおいがる分野を改めて復

活させて再検討しようという、現今の日本の生物学教室では忘れられかけている内容だった。手前味噌だがこのような本こそ翻訳する甲斐があるというものである。原著は読みづらい。それに今はやりの生物学ではなじみのない用語がふんだんに出てくる。それに比べれば分子生物学のテキストなど翻訳する必要などないだろう。この翻訳本「脊椎動物の起源」はあまりに専門的すぎてさすがに売れる本ではなかったが、培風館は儲けを度外視してよく出してくれた。これには大変に感心した。幸い臨海実験所関係、あるいは動物系統に関心をもつ研究者たちには知られ、似たような形式の本や、触発されたと思われる総説などが書かれて、今にしてこの労は報われたと喜んでいる。

結語

本稿で主に大学院生の頃から今に至るまでの研究についてだけを書き連ねてきた。そのうちのいくつかを欧文誌に発表してきたが、学会発表どまりのもの、あるいは卒業研究発表どまりにとどまったものが多かった。これらはいずれも仕上げるまでに至らなかったわけで、今思うと惜しくてならない。今ひとつふんばってやり遂げることができなかった私の脆弱なたちゆえの後悔点である。

ウニの発生というような研究対象は、個人で零細な施設規模でやりうる分野である。それはそれで私のような立場の者にとっては好都合なのだが、ともするとのんびりしてしまい、情報がとだえがちになり、非常に活発に研究を進めるアメリカのような国の研究者に遅れをとってしまう。日本人はその点でハンディを背負っている。個人の努力でそれは克服すべきことなのではあろう。現に生物学分野で見事に成果をあげてこられた日本人は少なくはない。そのような人が同僚に少なからずいたことが大変な励みになった。

なおこのような研究は卒業研究の学生ととも

と一緒に実験してきて初めてできたことではあった。先頃亡くなった江橋節郎先生は、筋肉の収縮制御に関して基本的なことを独自に明らかにしてきた人で、ノーベル賞を受賞してしかるべき成果を上げたことで有名だった。彼はもちろん東大医学部にいて多くのお弟子さんを持ったが、彼の得た成果は文字通り彼自身実験を行ったといわれる。東大紛争時には実験道具を自宅に運んで実験を続けた逸話も聞いたことがある。こういう点で私は学生と一緒にないと実験しないのが習性になってしまい、これが弱点になったと反省している。5人兄弟姉妹の家族で育ち、大勢いる中で初めて一人になる楽しさを覚えるという癖がついてしまったせいもあるかもしれない。一人で徹夜敢行をやるくらいの根性は、研究者には不可欠。そしてこの根性こそ感化すべきことで、この点ではなはだものたりない教員だった。せめて、私のもとに卒研についた学生たちが、ウニの発生をきっかけとして研究の体験を通して、理科にいつそう興味・関心を持てるようになったなら幸いである。

私のウニの研究や教育では、いくつかの臨海実験所の施設を利用させていただいた。とりわけ三崎にある東京大学付属の臨海実験所の施設は毎年のように利用させていただいた。この実験所が比較的近くにあり利用しやすかったことが私の研究・教育に決定的に重要であった。そのスタッフ、東京大学の雨宮昭南氏や、森沢正昭氏、現在の所長である赤坂甲治氏には大変にお世話になってきている。ウニ胚の温度感受性を主なテーマにしていたので、沖縄にも頻繁にでかけた。琉球大学の上原剛氏には長年にわたりナガウニ採集に便宜を図っていただいた。ここに謝辞を述べておきたい。

ところで、大学は小学校や中学校のような基礎学力を身につけるだけの場ではなく、分野を問わずそれぞれの知の体系を知ること、そしてかつまた研究という営みの経験を得る場でもあると思っている。知識を得たり体験したりする

機会が昔と違い、今は格段に多くなった。個々人が得たり体験できる範囲はごく限られるが、その限られた範囲で、一つの分野でも知の体系と研究の体験を大学で得られれば、大学にきた甲斐があろうというものである。それらは、大学を卒業して社会に出てすぐじかに役だつことはないであろう。しかしそれは社会を根本から理解する上で不可欠な教養となろう。その意味で大学というのは予備校や教習所とは異なる。あくまで基本的な教養を見につけ、研究の体験をするのが大学の使命であると考えている。役所文化が強いせいで、このような本来の意義はともするとどこへやら、受験に始まり、やたら成果主義を性急に求め、経費配分などでかえって労力の膨大な無駄を生じさせているのが非常に気になる。今後50年でノーベル賞30などと最高位の大臣がたまうくらいである。予算もいかに獲得するかではもっともらしく形式を整えるのに最大の精力をつぎこむが、とってしまえば結果に関して、事務的に整った報告書だけ。そもそも大学進学に関して、入学には最大の関心を注ぐが、入った後の成果はあまり問わない。欧米では逆のようで、入学に関して日本のように異常に神経をすりへらすことはしていない。私が立ち寄ったワシントン大学では、その教授から学生は定員、これも大雑把に2倍くらいとっていたと言っていた。ただし卒業までには途中で進路変更、中退、あるいは卒業不可となり相当数減ってしまう。定員にはあまり考慮されていないから、講義にはまるでウナギのようにもぐりこんで、あるいは立ちん坊で聴きにくる。聴講からして競争、そして授業も評価され淘汰される。日本の社会はどちらかという形式的にそろえることにこだわって、本末転倒しているような気がしてならない。ただこの点は自らをふりかえって大きなことはとても言えないが。

幸い日本も行政のあり方が根本から問われだし、官僚支配を脱し、事前調整重視から結果重視へと社会のあり方を変えていくよう努力する

ようになった。これは大変に喜ばしい。日本的な、きちんと整ったことを尊ぶという、目的合理性よりも形式美、伝統美の感性がわざわざしていたかもしれない。このような官僚のとりしきる社会では、模索をくりかえして成果を得ていくという、まさにそれこそが研究であるが、そのような営みが前提となつてこない。去年、おととしと同じ田植えのような作業、あるいは開墾のような仕事を毎年そそうなくきちんと続けるというような営み、まさに伝統主義的な営みしか思い浮かんでこない。研究さえこのような営みと見てしまうから、毎年決まって何報などということになる。だからノーベル賞でさえ30などという目標になってしまうのだろう。もちろんそのような研究もあるが、そのような研究はどちらかといえば単純作業的、牛馬的、しらみつぶしの、開墾的な性質のものに違いない。それも大いに必要、それから発見は生まれてこようが、ただ何報などという叱咤激励はこれまたあまりにネガティブな発想に思えてならない。

この点に関してはたまたま目にした、経済学者ハイエクの書は改めて、アングロサクソン社会理念のしたたかさを再認識させてくれた。それが生物学の基礎的な見方、考え方であるダーウィン進化論と相通じる発想であることで関心をいっそう強めさせてくれた⁽²⁹⁾。あいにく私が体験した研究には直接むすびつくような話ではなかったが、生物学の素養として十分にわきまえておかななくてはならない理論ではある。学部の卒業研究で、カエルの眼球を使って視覚の電気生理の実験を行っていた頃、ある先輩がふと語ってくれたことを思い出す。「生物学は究極的には進化論にいきつく」。当時は単に言葉だけでしかなかったが、今にして思えばけだし名言だったと感心している。

ところで、戦後の団塊の世代の人たちは、希望の大学や会社、官庁に入るのに人が多くて、入学や採用試験に並々ならぬ競争を余儀なくされた。そのための受験勉強が貴重な時期の知性

の鍛錬になった。それもかなりの知性の向上に役立ったが、研究とはかなり質のちがう知性であるに違いない。今は大学全入時代、人が少なく学校の方が多く定員割れが心配になる時代に変わった。このような時、かつての受験勉強のような鍛錬はもはやあまり必要はなくなったといえよう。しかし基礎学力は状況はどうあれ不可欠である。低学年のうちに基本的な知識は一通り教えておかなければならない。それに理系（理科の教員も含めて）に進むからには、高等学校から大学の前半までの期間で自然科学全般、数学も含めて物理から化学、生物学、地学までを学ぶ機会を得るようにしたい。日本でこれまで、理系に進んだ学生に対してこのような配慮はほとんどなされてきていない。私自身も学部の学生の頃は、つとめて一般教育科目をとる他に、なるべく自然科学に属する講義は広く聴くようにつとめたが、今思うに十分だったとはとても言えない。いわんや教室の推奨するカリキュラムにのっとっていたなら、ただ動物学だけ、それも古典的な分野の狭い専門にのめりこんでしまったらう。自然科学全般にわたる教養をもつことの必要性を、今にして痛切に感じる。その範囲は膨大で、生涯興味をもって学んでいくことも教養を身につけていくやり方だろうが、できるだけ早いうち、高校生の頃くらいに経験しておくとはるかに有益であろう。そして大学教育は格段に充実したものになるであろう。この意味では、まず小さな大学の理学部につとめ、次に教育学部理科教育講座に属して、これらの点を補完してくれるよい巡り合わせだった。大学院では動物学、それも講座の中の研究分野に集中したが、理学部では生物学全般、いや物理学や化学にもなじみになり、さらに教育学部に籍を置いてからは文系の分野にも無縁ではなくなり、かつ教育現場にも触れられるようになり、様々な分野の人と接することができたことから、門前の小僧ではないが、深く感化を受けてきたように思える。これは単に教養書を読んで得られるようなことではない。全くの

偶然の巡り合わせのおかげである。およそ他人と共有できるすじあいのことでは全くなく、自分独自の境遇の幸運でしかない。ただそう思うと何か寂しい気もする。せめてその巡り合わせによる幸運を形に残しておくことが余生のつとめかと思っている。

謝辞

大学を卒業してこれまで大学の中で36年間を過ごしてきたが、そのうち、埼玉大学教育学部で過ごした期間は27年余になる。その間研究は自由な気風の中であって勝手気まま、好きなよ

うに楽しく行ってきた。そのようなことが可能だったのもひとえに、多くの先達、同僚諸氏や、卒業研究に私のもとで研究を体験することになった学生諸氏、また事務職員の方々のご協力、ご支援の賜である。教えていただいたことは数知れない。とりわけ生物学教室でずっと一緒にしていただいた林正美氏には大変にお世話になった。もともと昆虫は大好きだったが、彼の隣にいたおかげで本格的な昆虫学の研究を随時垣間見せてもらえた恩恵は絶大だった。ここに感謝の言葉を述べておきたい。さらにまた、この雑文を紀要にのせる機会を与えて下さったことに深く感謝する次第である。