

《研究紹介》

作用素環の指数理論「(無限次元) / (無限次元) = 有限」

泉 正 己 (数理科学研究科)

izumi@ms.u-tokyo.ac.jp

n 行 n 列の複素行列全体(行列環)は、和、積、複素数倍、随伴行列に移る(*演算)という四つの演算を持っている。行列を初めて習った高校生が最も戸惑うのは、上の演算のうち(高校生は最初の三つしか習わないが)積が可換ではないことであろう。尤も、この世のほとんどあらゆる操作は順番を換えてしまえば異なる結果を導くことを考えると、この積の非可換性はしごく当然なことである。行列環のように、和、積、複素数倍、*演算の四つの演算を持つ数学的対象を、*代数と呼ぶ。私の研究対象である作用素環とは、ヒルベルト空間の作用素からなる*代数のことである。実際に我々の興味があるのは無限次元の作用素環であるが、その最大の特徴の一つである非可換性を理解するには、行列環を考えてもらえば十分である。数学者以外の方がヒルベルト空間という言葉を目にするのは、たいていの場合、量子力学においてであろう。実際、作用素環論の創始者である F. J. Murray と J. von Neumann は1936年の第一論文で、この分野を開拓する理由の一つとして量子力学の基礎付けを挙げている。その後この分野は、場の理論や量子統計力学などと密接な関係を持ちつつ発展を続けているが、現在では創始者の予想をはるかに越えて、非可換で無限

次元の数学の実験場の役割を果たしている観がある。

無限の自由度を持つ数学的対象を扱っている人々が共通に感じていることの中に、「無限の自由度を持つ系に、無限の自由度を持つ拘束条件(例えば対象性)を課することで得られる有限性は、数学的にもしるい構造を持つ」というのがある。尤もこれは素手で無限の自由度を扱うことの困難さの裏返しとも考えられる。作用素環論において、この「(無限自由度) / (無限自由度) = 有限」の構図が最も顕著に現れたのが、私の専門とする指数理論である。基本になる発想はごく簡単で、無限次元の作用素環を二つ考え、一方の他方への埋め込みを考えるのである。しかしここで重要なのは、本来この二つの作用素環の「次元の比」は「(無限大) / (無限大)」で意味を持たないにも関わらず、あたかもそれが有限であるような状況を考えることが数学的に可能であるということである。この「次元の比」は指数の名で呼ばれており、指数が有限な埋め込みがいかなる構造を持つか、それをいかにわかり易く記述するかという問題に私は取り組んでいる。この分野は結び目の不変量や有限群の量子化など多くの副産物を生みつつ現在も発展し続けている。

情報学とは何か

平 木 敬 (情報科学専攻)

hiraki@is.s.u-tokyo.ac.jp

学問分野の範囲を定義することは、研究のみならず教育および産業・社会との関連というコンテキストと深く結び付いている。本稿では、現在情報科学専攻で検討している情報科学研究科設立の背景にある「情報学とは何か」と述べたい。

現在実施されている情報関連の教育・研究の源流は、かつて広く論じられてきた「ソフトウェア危機」に代表される問題に対応できる、情報処理の担当者を育成し、品質の良いソフトウェアを多量に生産すること、ソフトウェアの運用・保守・改善を円滑にすることにあった。

しかしながら、予想に反し、量的な意味でのソフトウェア危機より質的なものがより深刻な問題となった。すなわち、大規模複雑化し、実社会や自然と高度に関係し、さらに優れたヒューマンインターフェイスを持つ情報システムは、情報に関するより大きな枠組を理解する極めて高度な人材により初めて実現可能であることが明確になってきた。実際、今日のマイクロアーキテクチャ、基本ソフトウェアからアプリケーションに至るまで海外における研究開発に強く依存する結果となって現れている。

これら背景を踏まえると、情報学の今日における重要

性は次の4点に要約される：

1. 複雑化し、具体化した自然現象、生物現象、社会現象にわたる広範な世界を理解するための重要な基礎概念
2. 情報化社会という言葉で象徴される急速な計算システムの進歩とその学術的・社会的・産業的利用の展開が持つ重要性
3. 自然科学と人文科学を統合するという人間にとっての知の重要性
4. 行動的情報の発現や受理による広範な応用分野の持つ重要性

これら情報学の要点は別個に存在するものでなく、図1に示す様に相互に深い関係を持つと共に、関連する学問分野や更には社会全体と深い関係を持つものである。従って、情報学の効果的教育体制と更なる発展のための研究体制は情報学の中核部分全てをカバーし、総合的であることが必然であるとともに、効率的である。

以上の考察をさらに進めるためには、「情報学の核」部分とは何かということを明確化することが必要である。

図1に示すように、情報学は社会、生物、自然と人間を結びつけ、知を解明する学問体系であり、「知」と

「計算システム」を結ぶ情報を扱う主体を横軸に、「アクティブインフォメーション」と「コミュニケーション」を結ぶ情報の形態を縦軸に捉えることが可能である。これら4個の柱に囲まれた領域を、情報学教育・研究において出発点となる核部分とし、その周辺部分、すなわち関連学問分野との融合部分を情報学関連領域であると定義することが自然であろう。理学系研究科の例では、情報科学専攻は計算・基礎数理を中心とする中核部分をカバーし、他の専攻における計算物理、計算化学、遺伝子情報処理、地球・宇宙シミュレーションなどの情報学関連分野を担当している。

現在、検討が進みつつある新しい形態での「情報学」教育体制への試みは、まさに上記問題意識の反映としてとらえられる。そこでは情報を「複雑化し、具体化した自然現象、生物現象、社会現象にわたる広範な世界を理解する基礎概念」と規定し、情報処理技術やソフトウェア作成技術より深層にある情報とその発現を扱う。本学会が対象としているソフトウェア科学は、その基礎科学として位置付けられるとともに新たに発展的に再定義されることを期待している。

情報学を構成する教育研究分野

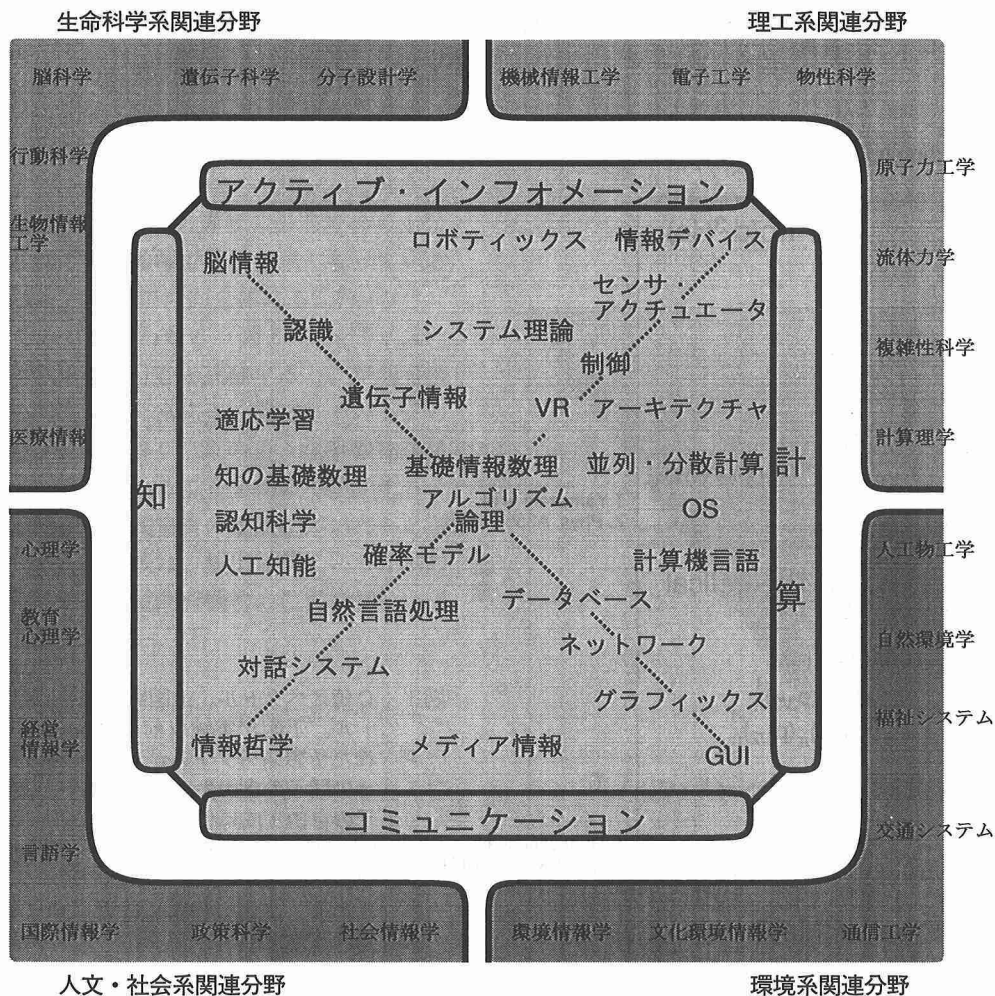


図1 情報学を構成する学問分野

深く束縛された π 中間子原子の発見

早野 龍五 (物理学専攻)

hiyano@phys.s.u-tokyo.ac.jp

板橋 健太 (物理学専攻)

itahashi@nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp

電子の代わりに約300倍も重い π 中間子が原子核に束縛され π 中間子原子を形成した場合、1 s や 2 p のような深い軌道は電磁相互作用から考えると、完全に原子核に埋没している。 π 中間子は原子核に触れると強い相互作用によって即座に消滅してしまうのに、理論的な予言によると、そのような軌道でも π 中間子が安定に生存し観測可能であると言う。そのような予言に基づいて、幾度かの探索実験が行われたが、観測に成功したものはいかなかった。我々は過去の実験から得た知識を元に様々な改良を施した実験を設計した。

実験は、平成8年4月にドイツ重イオン研究所で行った。 π 中間子原子を生成するためには、 $^{208}\text{Pb}(d, ^3\text{He})$ という原子核反応を用いた。この手法の特長は、ビームのエネルギーや標的変える事で、 π 中間子の束縛される状態を選択的に生成する事が出来る点にある。観測量は反応における Q 値である。Q 値は終状態のポテンシャル・エネルギーと関連するので、束縛状態が生成した場合 Q

値のスペクトルには、その寿命に応じた幅を持つピークとして現れるはずである。

図1に得られた Q 値スペクトルを示す。横軸は Q 値である。上図が実験結果で、縦軸はスペクトル強度を任意スケールで示している。下図は Hirenzaki 等によって実験以前に計算された理論予想スペクトルである。上下の図を比べる事により、 $Q = -135\text{MeV}$ 付近に見えるピークは、 π 中間子が 2 p 状態に束縛された事を示すと同定される。 π 中間子の 2 p 状態の束縛エネルギーは $5.4 \pm 0.2\text{MeV}$ 、2 p 状態の中の上限值は 0.8MeV と決定された。

今回の実験によって発見された π 中間子原子の深い束縛状態は、原子核反応という観点からも見る事が出来る。その場合、原子核から π 中間子が一叩きあげられて、基底状態より 140MeV あまりも高い所に、非常に巾の狭い、新種の共鳴準位が見出された、と言うことになる。

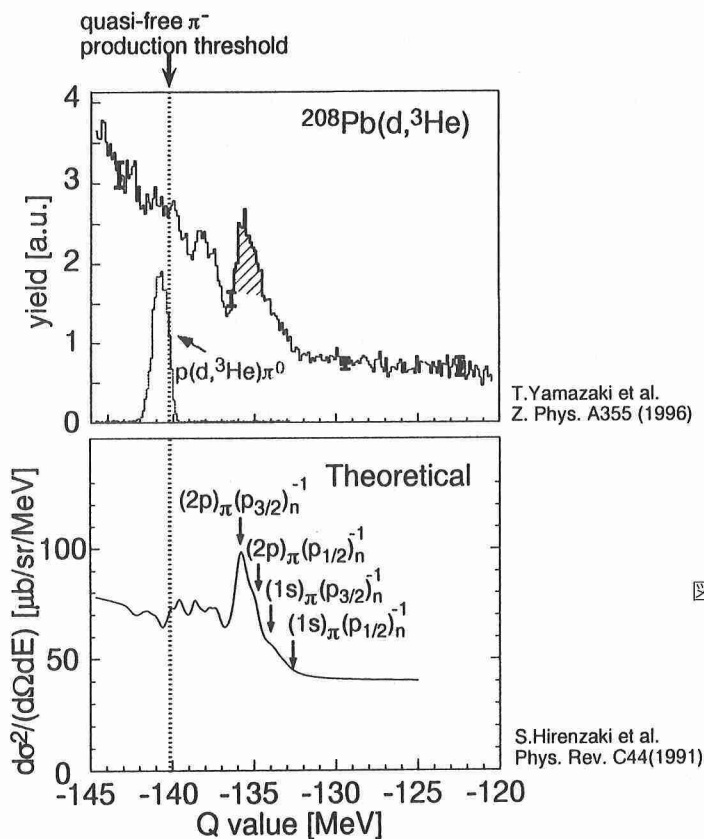


図1：Q 値スペクトル。上図実線が今回の実験で得たスペクトル。下図が実験以前に Hirenzaki 等によって計算された予想スペクトル。Q 値 140MeV 付近の縦の点線が π 中間子の自由生成閾値を表す。上図、左から π 中間子の自由生成に伴う連続スペクトル、3 p あるいは 4 p に対応する構造 (-140 から -137MeV 付近まで)、続いて今回発見した 2 p 状態のピーク (-136MeV 付近) がある。上図 -140MeV 付近に CH_2 標的を用いた場合の、 π^0 生成に伴う単色ピークを重ねて表示した。

宇宙空間中の有機物の検出

尾中 敬 (天文学専攻)
onaka@astron.s.u-tokyo.ac.jp

昨年、火星の隕石中に生命活動の証拠があるというニュースが一時話題となったが、その証拠のひとつとして挙げられていた多環式芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon ; 通称 PAH) の特徴を持つ赤外スペクトルは、これまでも、すでにいくつかの天体でも検出されていた。天体で観測されている物質の同定については、種々の仮説があり、まだ収束していないが、原因物質がベンゼン環を含む有機物であることはほぼ確実と考えられている。PAH は有力な候補であるが、天体で観測されるスペクトルを完全には再現できていない。実験室内でメタンのプラズマから合成した急冷炭素質物質も、観測と似たスペクトルを示すことが報告されている。

一部の天体では観測されていたものの、一般の星間空間にもこのような有機物が存在しているかどうかは、大きな未解決の問題であった。1995年に H II ロケット 3 号機により打ち上げられた SFU 衛星に、日本で初めて、世界でも 3 番目の軌道赤外線望遠鏡 IRTS が搭載され、星間空間中の広い領域で有機物の特徴を示すスペクトルの検出に初めて成功した。銀河面の周りで観測されたスペクトルには、6.2、7.7、8.6、11.2 μm にこのような有機物の特徴を示すバンドが見られる (図 1)。このうち 7.7 μm のバンドの強度の銀河面の周りの分布を作ると、星が活発に生成されている領域で強度が強くなっているが、これらの領域を除いた銀河面全体にも 7.7 μm のバンドが広く存在しているのがわかる (図 2)。星間ガス、あるいは星間固体微粒子の分布と比較すると、星間有機物は、これらの星間物質と非常によく混在していることがわかる。IRTS の観測により、このような有機物が星間空間に普遍的に存在していることを初めて確認することができ、星間有機物は星間物質の重要なメンバーと考えられるようになった。今後は、検出されている 4 本のバンドの強度変化等から、星間有機物の性質の詳しい研究が進むことが期待される。

この観測は NASA のグループと東京大学のグループが共同で開発した観測装置で行われた。IRTS は宇宙科学研究所が中心となって行われた計画で、多くの方の協力によって成功を収めることができた。IRTS には 4 つの観測装置が搭載され、この他にもいろいろの興味深い成果が得られている。なお、IRTS は今年始めに、若田飛行士が搭乗したスペースシャトルによって回収され、現在、飛翔後の試験が行われている。

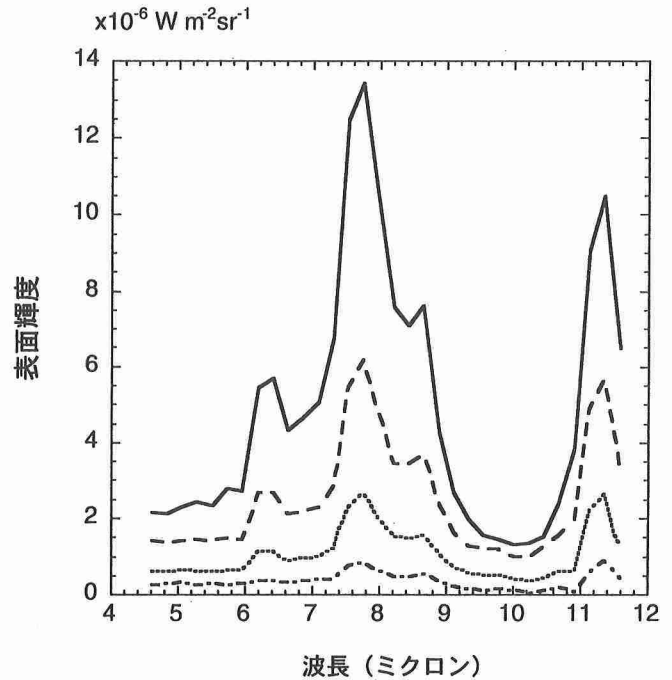


図 1. IRTS による銀河面の周りの星間物質からの赤外放射スペクトル。実線、破線、点線、一点鎖線と銀河面から離れていくスペクトルを示す。いずれにも 6.2、7.7、8.6、11.2 μm の特殊な有機物の特徴を示すバンドがみられる。

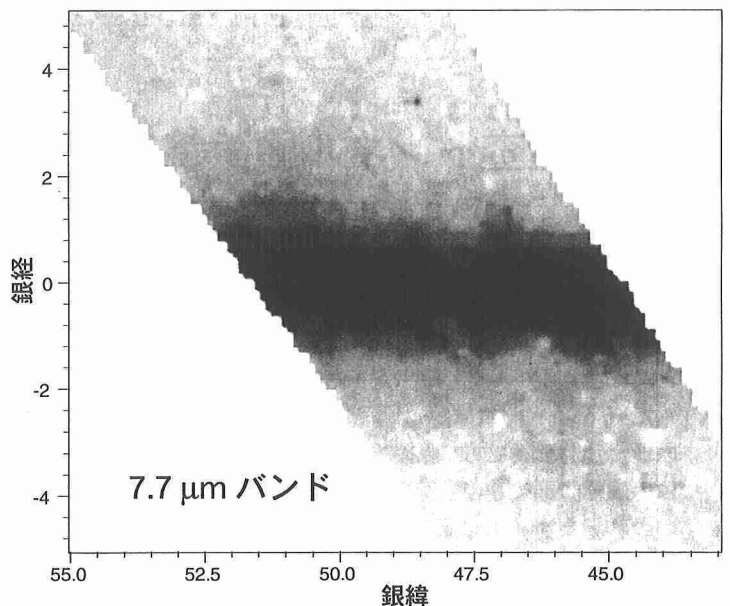


図 2. 銀河面の周り 7.7 μm バンドの強度分布。銀河座標で示す。銀河面は中央、水平に位置する。強度の強い領域は星生成領域であるが、これら以外に銀河面のまわりにバンドが淡くひろがって分布しているのが見られる。

準定常ロスビー波と大気循環異常

中 村 尚 (地球惑星物理学専攻)
hisashi@geoph.s.u-tokyo.ac.jp

地球大気・海洋の大規模な流れは水平発散が弱く、自転に伴う渦度の緯度依存のため、ロスビー波が存在する。西向位相速度が波長と共に増大するため、西風の強い中高緯度対流圏では水平波長約8 km以上の波は地球に対し静止し得る。この定常ロスビー波は分散性で、背景西風の倍近い東向群速度を持つ。大山脈や海陸温度差で励起される波長約1.5万km以上のものは惑星波とも呼ばれ、西風・南北気温差の東西不均衡を作り出す。南北気温差を弱めようと発達する波長約5千km、周期4日程度の移動性波動の平均振幅分布もこうして東西非一様となる。

惑星波には波長1万km程度の準定常擾乱が常に重畳するが、その位相関係はまちまちだ。重畳した特に強い高気圧性擾乱はブロッキング高気圧と呼ばれ、西風を蛇行させ、移動性高低気圧波の経路や振幅を大きく変えてしまう。中高緯度の持続的異常気象の殆どがこうした準定常擾乱に起因する。厄介なのは、異常な活動をする移動性擾乱が、その原因たる準定常擾乱を維持・強化するようなフィードバック (FB) を及ぼすことである。

ここ20年の研究の結果、ブロッキングの形成・維持は主に移動性擾乱からのFBに因るとの定説が得られた。筆者の学位論文もその路線であった。近年、移動性擾乱の弱い大陸上でも定説通りなのかと、過去30年に北半球各地で起こったケースを虱つぶしに調べた結果、大陸上

のブロッキングの形成・発達には、入射する準定常ロスビー波束が最も寄与する事実を初めて指摘できた。惑星波に伴い元々西風が弱い所に入射する波束の先端が高気圧性なら、その風が更に弱まる結果波束の伝播が阻害され、入射する波のエネルギーがそこに蓄積され高気圧が発達する。この正のFBは高気圧がブロッキングとして「飽和」するまで続き、溜ったエネルギーが新たな波束として東方へ放出され高気圧は衰える。高気圧内の渦度の振舞は、ロスビー波の臨界層内の碎波に伴う吸収・過剰反射と同種の非線型力学として理解できそうだ。日本の冷夏の原因たるオホーツク海高気圧を伴うブロッキングの形成が、上記の機構に因る事も初めて指摘した。

さて、惑星波で強さや向きが緩かに変わる西風中を準定常ロスビー波束が3次元的に伝播する様を、位相依存しないフラックス形式で記述するのは、時間平均や東西平均が取れず容易ではない。最近、M2の高谷君と筆者は、波の作用と活動度との2つの保存式を結合させて定式化に成功した。前者は重力波と同様、エネルギーに関連する保存量だが、後者は渦度の平方 (エンストロフィー) に関連するロスビー波独特の保存量である。

対流圏の定常ロスビー波が10年規模の気候変動に果たす役割も研究中だが、その紹介は別の機会に譲りたい。

走査トンネル顕微鏡による金属酸化物表面の動的観察

大 西 洋 (化学専攻)
oni@chem.s.u-tokyo.ac.jp

走査トンネル顕微鏡 (STM) は固体表面に存在する原子・分子を実空間で直接観察できる顕微鏡である。我々は、固体表面で化学反応が進行する過程を原子分解能でかつリアルタイムに観察することをめざして、金属酸化物の表面を舞台としたSTM観察に取り組んでいる。イオン性化合物である金属酸化物の表面では、拡散に対するエネルギー障壁が高いので、個々の吸着種や反応サイトの高分解能観察が反応温度 (室温以上) でも可能になると期待したからである。さらに、金属酸化物表面には多様な組成や配位構造をもった反応サイトが共存してお

り、単一元素からなる金属や共有性半導体の表面にはない複雑な反応環境が存在することも大きな魅力である。

これまでに我々は、表面温度あるいは共存気体雰囲気中の圧力を変えながらのリアルタイムSTM観察をおこなって、反応中間体の生成・消滅や表面拡散をその場観察することに世界ではじめて成功している。その一例として、二酸化チタン単結晶の(110)表面に吸着したギ酸イオンが表面を拡散する過程の連続STM像を示そう。二酸化チタン表面に作ったギ酸イオンの単分子吸着層をSTM観察しながら、STMの探針-表面間に高い電圧を加え

ることによって探針直下のギ酸イオンだけを分解して取り除き、基板表面を露出させることができる。このようにして作成した基板表面パッチに、ギ酸イオンが周囲から拡散する過程を連続観察した。16nm 四方の正方形に作成したパッチ(図 a) は次第に縮小し (b, c)、1 時間後には消失した(d)。基板表面の構造を反映して、吸着イオンの移動速度には明らかな異方性が認められた。図の上下方向 (結晶の[001] 方位) に沿った移動速度は、直交する方向の速度の10倍以上大きかった。さらに、こ

の過程のビデオ映像をこまどり編集して個々のイオンの移動を手取るように観察し、隣りあったギ酸イオン間の反発力が表面拡散の駆動力であることを明らかにした。

原子スケールの分解能をもつ STM で表面反応を反応中に動画像化する技法をさらに発展させ、また STM 自身の時間分解能を向上させることで、表面反応場や反応分子の位置・配向を反応条件下で識別するチャンスがあると期待される。

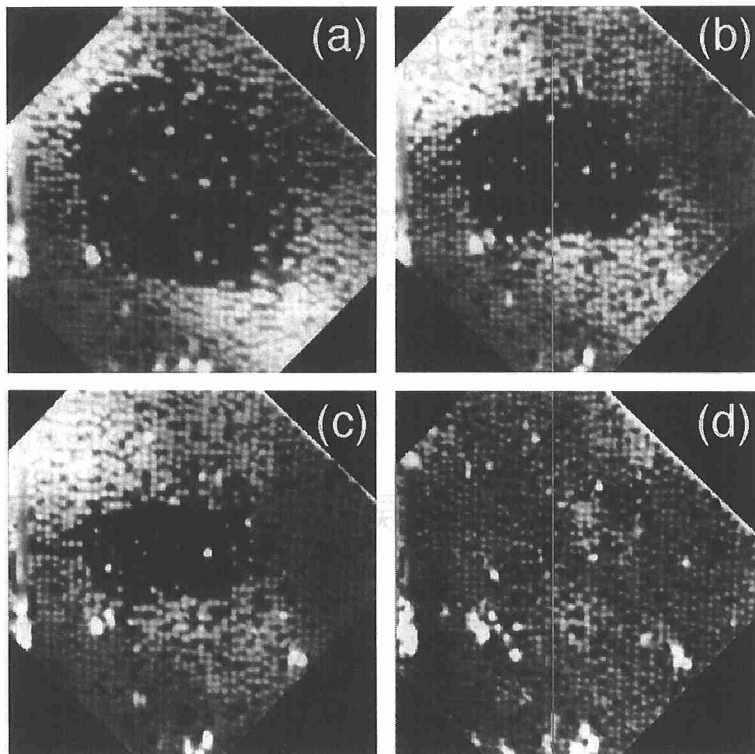


図 TiO₂(110) 表面に吸着したギ酸イオンの拡散過程の STM 像。画像サイズ：30×30 nm。分子操作によって16nm 四方に吸着したギ酸イオンを取り去った後、(a):10, (b):26, (c):35, (d):63分後に観察した。白い粒子がギ酸イオンである。

海の猛毒・マイトトキシンの化学構造

村田道雄 (化学専攻)
murata@chem.s.u-tokyo.ac.jp

天然物有機化学の主な研究対象は、生物の二次代謝産物である。二次代謝産物があるからには、当然、一次代謝産物という物も存在する。一次代謝産物とは、核酸、アミノ酸、糖、脂質などの生命活動に必要なものを言う。これ以外のものが、二次代謝産物ということになる。身近な例では、抗生物質や色素などが含まれるが、毒もそのひとつである。海洋生物は、想像を絶する強力な有毒物質を生産しているが、図に構造を示したマイトトキシンは、そのなかでも一際強い毒性を示す。現在知

られている最も複雑で分子量の大きい二次代謝産物である。マイトトキシンは、単細胞藻類である渦鞭毛藻によって生産されるが、実際、魚類を通じて人が摂食することがあり食中毒の原因となる。マイトトキシンの化学構造は、最近、当研究室において最後の部分が解明され、20年におよぶ構造研究によりやく決着がついた。

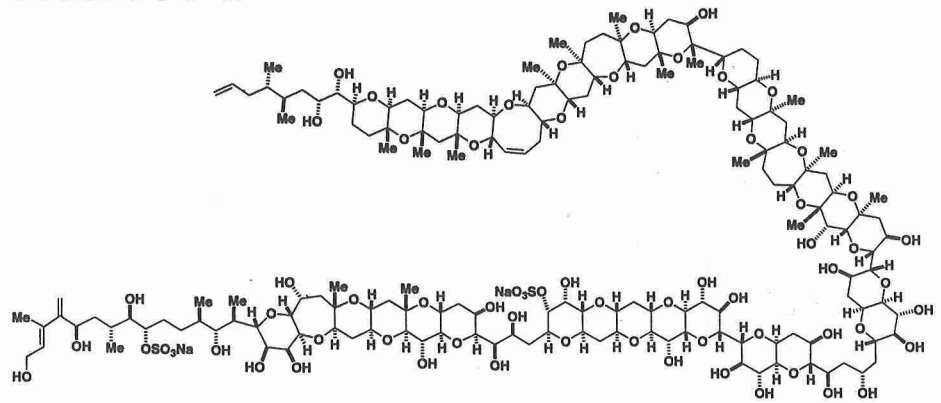
一次代謝産物であるタンパク質や DNA などの生体高分子を生合成する時は、人間でも渦鞭毛藻でも例外なく類似した繰り返し単位 (モノマー) をまず作って、それ

らをつなぎあわせて分子量を大きくする。マイトトキシンの構造を特徴づける32個のエーテル環は、一見類似した構造単位の繰り返しに見えるが、実はそうではなく、端から少しずつ作っていったと考えられる。すなわち、その生合成においては、142個の炭素鎖のどこにメチル基が入り、どこに酸素がエーテル環を作る、といったことが、すべてプログラムされていることになる。これをいちいち酵素の特異的反応によって行ったとすると一体

どれだけの数の酵素が必要になるだろう。渦鞭毛藻は比較的遺伝子の量が多いと言われているが、あってもなくても命に別条ない二次代謝産物に、膨大な遺伝子を割くことは許されないだろう。渦鞭毛藻は生合成において我々の思いもよらない技を身につけており、少数の酵素で複雑な化学構造を作ることができるのかもしれない。その技を知りたいものである。

図：マイトトキシンの構造

伸ばせば全長110オングストロームにも及ぶ細長い分子である。分子の後半（構造図では、上の部分）が疎水的で、その他の部分は親水的である。この界面活性剤のような構造が、生理活性に関係していると考えられている。



アフリカツメガエル卵に存在するDNA捻り/巻き戻し因子(DUF)の発見

室 伏 擴 (生物化学専攻)

shmuruf@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

DNA が正確に複製されることは、細胞の増殖にとって必須な条件である。DNA の複製機構およびその制御機構の解明は、理学的見地のみならず、がんの治療という医学的見地からも非常に重要である。アフリカツメガエルの初期胚はDNA複製活性が高く、卵をつぶして得た抽出液に二重鎖DNAを加えると、それを鋳型としてDNA複製を行う。さらに、驚くべきことに、抽出液を適当な温度で保温すると、生きた細胞と同じように周期的にDNA複製が起こる。これらのことから、アフリカツメガエル卵は、DNA複製およびその制御機構の研究材料に最適であると考えられる。

筆者らは、二重鎖DNAに結合して二重鎖を局部的に開き、その部分を鋳型としてDNA複製を開始させる因子を、アフリカツメガエル卵抽出液から初めて精製した。この因子は、二重鎖DNAに負の捻れを導入して二重鎖を局部的に開く活性と、ATPの水解エネルギーを利用して二重鎖を巻き戻して一本鎖部分を増加させ、DNAポリメラーゼによるDNA合成を開始させる働きを持つことを見いだした(以下、この因子をDNA Untwisting(捻る)/Unwinding(巻き戻す)Factor、DUFと呼ぶ)。DUFに対する抗体を作って、卵の抽出液からDUFを除くと、抽出液のDNA複製が起こらなくなった。

DUFは二種類のサブユニットからできており、それらのアミノ酸配列を決めたところ、小さい方のサブユニットは、二重鎖DNAに結合してDNAを折れ曲げる働きを持つSSRPと呼ばれるタンパク質(細胞内での機能はまだわかっていない)と同じであり、大きい方のサブユニットは、酵母の転写調節に関わるCcd68とよばれるタンパク質(このタンパク質の機能も十分に解明されていないが、SSRPと同じく二重鎖DNAの構造変化をもたらすと考えられる)とある程度の類似性を持つことがわかった。DUFも二重鎖DNAに結合してDNAの立体構造を変化させることによって二重鎖を巻き戻し、一本鎖部分を作ることによってDNA複製を可能にすると思われるが、そのメカニズムは今後の研究で明らかにしていきたい。さらに、複製の他に、転写や、組み替え、修復などにおいても、二重鎖DNAの折れ曲げ、捻り、巻き戻しなどの立体構造変化が極めて重要であると考えられており、DUFが複製以外のDNAの構造変化にも関与する可能性が高いと思われる。今後、それらの点も検討していきたい。

DUFの精製を行うためには多量の卵が必要であるため、百数十匹のアフリカツメガエルを飼育しており、カエルの世話に毎日忙殺されている。

細胞下の性：ミトコンドリアの融合と組換え

河野重行 (生物科学専攻)

kawano@biol.s.u-tokyo.ac.jp

「パラサイト・イブ」はもうお読みになったでしょうか？映画が封切られ、文庫本にもなり、テレビコマーシャルもあったので、「パラサイト」や「ミトコンドリア」という言葉も市民権を得たように思われる。「なぜこんなにもミトコンドリアに魅せられるのだろうか」とは葉月理緒菜演ずる主人公、聖美の言葉である。

石原教授のモデル探しはともあれ、このホラーの中で彼が語る「ミトコンドリアの共生起源説」の影響もあってか、研究のバックグラウンドを説明するのが容易になった。原核生物から真核生物への進化とその分子機構を明らかにすることが、私たちの研究目的の一つである。ミトコンドリアの起源が太古に真核細胞の祖先に共生したパラサイト、原核の好気性細菌にあるなら（共生起源説）、その痕跡は今も微生物や私たち自身のミトコンドリアにも残されているはずである。原始的なミトコンドリアゲノムに原核生物的な情報の痕跡がより多く残されていることが見いだされている。私たちの戦略は、これを一歩進めて、ミトコンドリアの動態そのものなかに進化の痕跡を見出そうとするものである。ミトコンドリアは分裂増殖し、融合し、遺伝子を組み替え、遺伝する。こうした緒過程のなかにも、悠久の進化の歴史のなかで刻み込まれた共生の痕跡が見出されるはずである。

多くの生物でミトコンドリアの融合や組換えが観察されている。融合と組換えとの関係を明らかにするためには突然変異体が単離できることが望ましい。しかし、ミ

トコンドリア遺伝学の最も進んでいる酵母菌でさえ、望むような突然変異体が単離されることはなかった。そこで、真正粘菌を用い、融合の有無をそれぞれの株で一つずつ観察するという単純ではあるが気の遠くなるような戦術で、ミトコンドリアが融合する株と融合しない株を単離することができた。遺伝解析の結果、融合株にはミトコンドリア融合を誘起する特殊なミトコンドリアプラスミドがいることをつきとめた（図1参照）。

mF と名付けたこのプラスミドに特徴的なのは、ミトコンドリア同士を融合させ、融合相手となったミトコンドリアのゲノムに自身を組込むことである。この過程はFプラスミドが支配する大腸菌の有性（接合）過程に酷似している。好気性細菌が共生した太古、それが既に「性」を獲得していたなら、その痕跡が現在のミトコンドリアにもあるはずである。「ミトコンドリアの性」を誘起するこの mF はそれを裏付けるものといえる。

性は細胞の諸過程と密接に関連しており、性の起源と進化はその大部分が生命そのものの起源および進化でもある。性はパラサイトの攻撃に抵抗するために進化してきたと考える「赤の女王仮説」が現在最も有力な学説とされている。これに対して、mF プラスミドの発見は、性の起源そのものがパラサイトであった可能性を示唆している。このパラドックスは論争に新たな火種を持ち込むとともに、性の起源を探る一つの方法論を提示したもののとして高く評価されている。

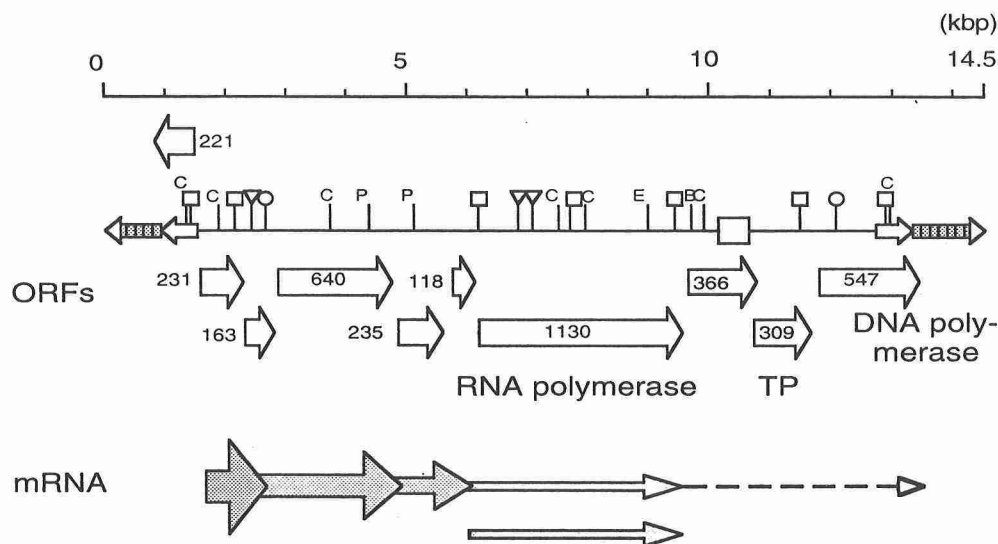


図1 mF プラスミドは、大きさ約14.5kbp (14,500塩基対) の線状 DNA 分子で、10個の遺伝子 (ORFs、数字のある白抜き矢印、数字は遺伝子のアミノ酸数) をもっている。既に機能のわかっている遺伝子に、DNA、RNA ポリメラーゼや TP (末端タンパク質) などがあるが、これは mF のパラサイト的な性質を顕すものでもある。また、両末端の繰り返し構造や mRNA の転写様式にもその性質の一端がうかがえる。

日本海堆積物に記録された最終氷期以降の突然かつ急激な気候変動

多田 隆 治 (地質学専攻)

ryuji@geol.s.u-tokyo.ac.jp

最終氷期終了後の1万年間は、温暖で安定した気候が続き、人類はそれを享受しつつ急速に文明を発展させてきた。しかし、地球の気候は常にこのように安定していたのだろうか？1990年代初頭に、グリーンランド中央で、ヨーロッパおよびアメリカの2つの研究グループにより相次いで氷床の掘削が行われ、過去15万年間の北半球高緯度域における気候変動が詳細に調べられた。その結果、最終氷期（7～1.5万年前）に、数百～数千年間隔で突然かつ急激な気候変動が繰り返した事が明らかになった。この変動は、僅か10年前後に7℃以上も気温が上昇する急激な温暖化、徐々に寒冷化しつつ数百～数千年間継続する温暖期、数十年の間に起こる急激な寒冷化、数百～数千年間継続する寒冷期の繰返して特徴づけられ、発見者にちなんで Dansgaard-Oeschger Cycle (以下 D-O Cycle) と呼ばれる。D-O Cycle は、その急激性ゆえに注目を浴びた。そして、1)それが北半球高緯度域に限られるのか、それともグローバルな現象か？、2)それは氷期に限られるのか、それとも現在のような間氷期にも起こりうるのか？と言った疑問が提起された。

当時、私たち（北大の小泉 格教授と大学院生だった入野智久君）は、日本海の堆積記録を詳しく解析し、過去15万年間の気候・海洋変動の復元を試みていた。日本海深部の堆積物は、数cm～数10cmの厚さの明色、暗色の細粒堆積層の繰返し（明暗互層）で特徴づけられ、それら1枚1枚は、日本海深部全域に渡って対比出来る。即ち、日本海全域に渡り同時に繰返した何らかの海洋変動を反映している。こうした明暗互層は、北半球に本格的な大陸氷床が出来始めた250万年前から出現し、氷期-間氷期変動の振幅が大きくなった120万年前以降、そのコントラストが強くなっている。しかし、1対の明暗の繰返しは、氷期-間氷期サイクルより遥かに短い数百～数千年という期間を表わしていた。この明暗互層が一体どのような気候・海洋変動を反映しているのか、我々が悩んでいるまさにその時にグリーンランド氷床記録が

公表されたのである。日本海堆積物の明暗互層をグリーンランド氷床の酸素同位体比と比較すると、2つのプロファイルは良く一致し、暗色層は D-O cycle の温暖期に対応した。理由はともかく、D-O Cycle のシグナルは、日本海にまで到達していたのだ。

私たちは、このシグナルの意味を明らかにするため、堆積記録を詳しく調べた。その結果、1) 堆積物の色の暗さは有機物含有量を反映し、暗色層は日本海表層での生物生産が高く、かつ深層水中の溶存酸素が欠乏した時に堆積した事、2) それは東シナ海沿岸水が日本海に流入した時期と重なる事、3) 暗色層堆積開始時には、黄砂起源粒子の含有量が減少する事、などが明らかになった。東シナ海沿岸水は、栄養塩に富み、塩分濃度がやや低いので、その日本海への流入は、表層での生物生産を高めると共に日本海内での深層水の形成を抑制したと解釈される。では、D-O Cycle の温暖期に何故東シナ海沿岸水が日本海に流入したのか？暗色層堆積時に黄砂起源粒子が減少した事は、その時期に黄砂の供給源である黄土台地が湿潤化したことを暗示する。一方、最終氷期には現在より60～120mも海水準が下がり、黄河の河口が対馬海峡の入り口近くまで前進したことが知られている。これらの事を基に、私たちは D-O Cycle の温暖期に黄土台地が湿潤化して黄河の流出量が増加し、東シナ海沿岸水が拡大して対馬海峡まで張り出したのではないかと考えた。

以上の結果は、D-O Cycle がグローバルな気候変動現象であり、東アジアにおいては乾燥-湿潤サイクルとして発現した事を示している。一方、後氷期や間氷期には、日本海堆積物中に明瞭な暗色層は認められない。これが、間氷期における気候の安定性を示すのか、海水準が上昇して黄河の河口が退いた事によって黄河の流出量に対する日本海の応答感が鈍化した事を意味するのかについて、現在検討を進めている。

火星隕石 ALH84001中の炭酸塩とその複雑な成因について

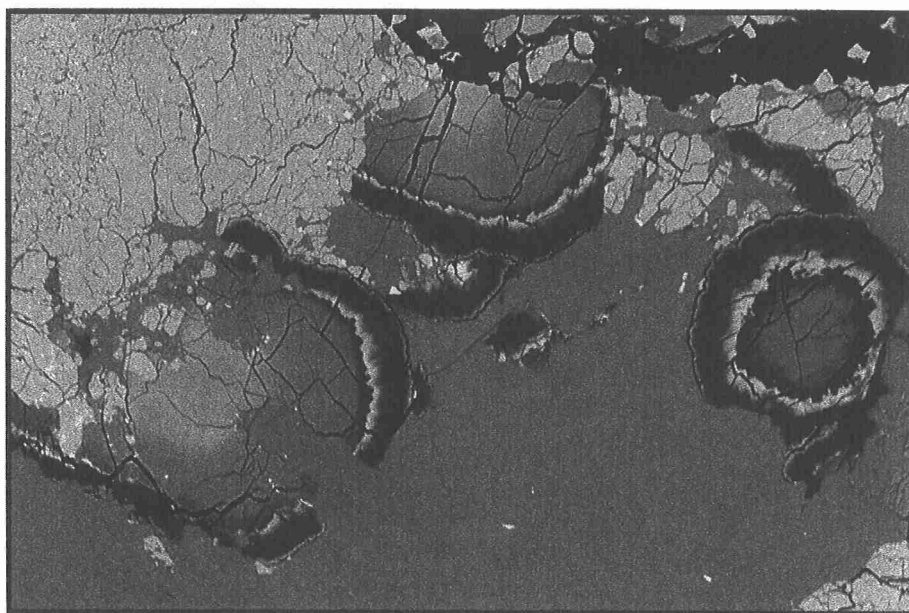
Gordon McKay (NASA Johnson Space Center / 鉱物学専攻)
gmckay@min.s.u-tokyo.ac.jp

三河内 岳 (鉱物学専攻)
mikouchi@min.s.u-tokyo.ac.jp

南極産火星隕石 ALH84001 中に太古の火星に存在した微生物の痕跡が見つかったとの発表以来、この隕石に関する研究が盛んに行なわれている。特にこの隕石中に含まれる炭酸塩（下図）は、生命存在の舞台として注目を集めているが、これまでの数多くの研究にも関わらず、これらの炭酸塩が、いつできたのか、そしてどのような環境でできたのかは、今だに分かっておらず、活発な議論を呼んでいる。我々は、ALH84001 中の炭酸塩を走査型電子顕微鏡および電子線マイクロプローブを用いて詳細に分析し、炭酸塩と共存する長石組成のガラスとの間に観察されるいくつかの特異な組織を見出した。炭酸塩は、通常、下図に見られるように大きさが直径100ミクロン以下の円形をしているが、実際には平たい円盤状だと考えられ、この隕石の大部分を構成する斜方輝石の割れ目などに発達している。化学組成が、Ca、Mgに富んだ中心部分から Fe や Mg に富んだ組成が帯状に見られるエッジに向かって、大きく変化してしているのが特徴であり、明らかに非平衡の状況下で結晶化したものと考えられる。エッジの Fe や Mg に富んだ炭酸塩の部分には、結晶成長の際に、ある結晶学的方位を保って成長したような組織も見られる。炭酸塩の中には、輝石の結晶中のすき間に点在して見られるものもあるが、これらの大きさや化学組成は、円盤状のものと同様で

ある。我々は、円盤状の炭酸塩が破碎されて長石ガラスの中に散らばっているものや、長石ガラスが炭酸塩の縁から侵入しているこれまでには報告されていない組織を見出した。これらの組織は、炭酸塩が形成されたのは、長石ガラスが形成されたのと同時か、もしくは、それよりも前だったことを示している。炭酸塩は、長石か長石ガラスのどちらかを置換して形成されたとこれまでは考えられていたが、我々の観察では、長石ガラスの一部には自形の結晶外形を保っているものが見られることから、炭酸塩はこれら長石ガラスのすき間を埋めただけのものと解釈している。また、長石ガラスは、光学顕微鏡では非常に均質に見えるが、その組成はかなり不均質であることも分かった。

このように ALH84001 中の炭酸塩と長石組成ガラスは、多くの複雑な組織を示していることが分かったが、残念ながらこれらの炭酸塩と長石ガラスが、いつ、どのような条件で形成されたかについては、これまで考えられている以上に複雑な経過を経てできたということが分かったにとどまっており、最終的な形成史を語るには至っていない。今後のさらなる鉱物学的研究により、これらの炭酸塩が、生物起源かもしくは非生物起源かの議論に一石を投じることができると考えている。



図：ALH84001 隕石中に見られる炭酸塩と長石組成ガラスの走査型電子顕微鏡による後方散乱電子像。軽い元素が含まれる部分は暗く、重い元素が含まれる部分は明るい。円形の鉱物が炭酸塩で、中心の灰色の部分は Ca や Mg に富む。エッジの明るい部分は Fe に富み、暗い部分は Mg に富んでいる。灰色の均質な部分が長石組成のガラス。横幅は 350 ミクロン。

維管束組織の形成機構を探る

出村 拓 (理学部附属植物園)
sdemura@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

維管束組織は植物において水や栄養分の通り道となる組織であり、いわば植物の血管とも言える大変重要な組織である。そのため、古くから維管束組織に関する形態学的・生理学的研究が進められ、最近では、維管束組織を構成する個々の細胞（水の通り道である道管や栄養分の通り道である篩管など）の形成機構については徐々に明らかにされつつある。しかしながら、維管束組織には道管や篩管に加えて、前形成層や形成層と呼ばれる一群の始原細胞・道管や篩管を取り囲む木部柔細胞や篩部柔細胞・植物体に機械的強度を与え植物体を支えるための繊維細胞など数多くの細胞が含まれており、維管束組織全体の形成はそれぞれの細胞が相互に作用しながら、あるいは、維管束をとりまく周囲の細胞からの影響を受けながら進行していると考えられ、維管束組織全体の形成機構に踏み込んだ研究は大変少ないのが現状である。これは、維管束組織に含まれる個々の細胞を認識するための分子マーカーがほとんど知られていないことが大きな原因となっているものと考えられる。

私たちは、ヒヤクニチソウの単離葉肉細胞（図1）から管状要素（道管の構成単位、螺旋状の二次細胞壁をもち細胞質が失われた死細胞、図2）への細胞分化系を用

いて、管状要素の形成機構にアプローチしている。特に最近では、この系を用いて、分化に関連して発現する様々な遺伝子のクローニングとその発現様式・機能の解析を進めている。その中で、管状要素分化の形態形成（二次壁形成や細胞質の自己分解）先だてて順次発現する遺伝子群（TED2 ⇨ TED4 ⇨ TED3）を単離し、その維管束組織における発現様式を詳細に解析した。その結果、TED2 が前形成層に、TED4 が木部細胞に、TED3 が管状要素前駆細胞に発現することを明らかにし、それぞれが、前形成層（TED2）・木部細胞（TED4）・管状要素前駆細胞（TED3）の分子マーカーとなることを示した。更にこのことから、ヒヤクニチソウ単離葉肉細胞から管状要素への分化過程が組織内における原形成層から管状要素への分化過程 — 維管束組織形成の初期過程 — を反映しているという仮説をたてた。現在は、単離した遺伝子の機能解析を進めるとともに、この仮説をもとに、ヒヤクニチソウ管状要素分化系を用いて維管束組織形成の初期過程を追跡するための分子マーカーの単離を進めている。このような研究によって、維管束組織の形成機構に迫れるのではないかと期待している。

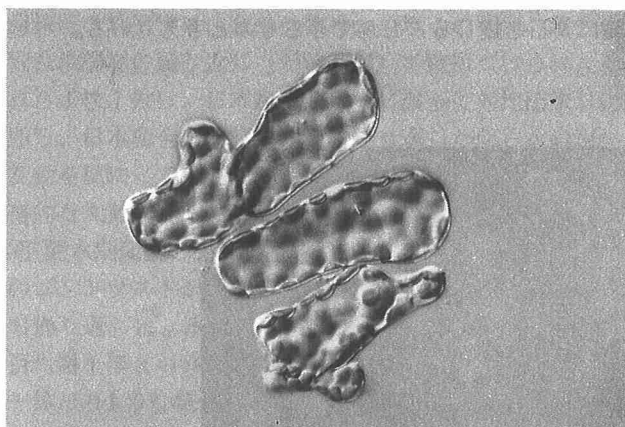


図1 ヒヤクニチソウ芽生えの第一葉から単離した葉肉細胞のノルスキー微分干渉顕微鏡写真。このような葉肉細胞を培養することによって、葉肉細胞は、前形成層細胞様の細胞⇨木部細胞様の細胞⇨道管前駆細胞様の細胞を経て図2に示した管状要素へと分化する。

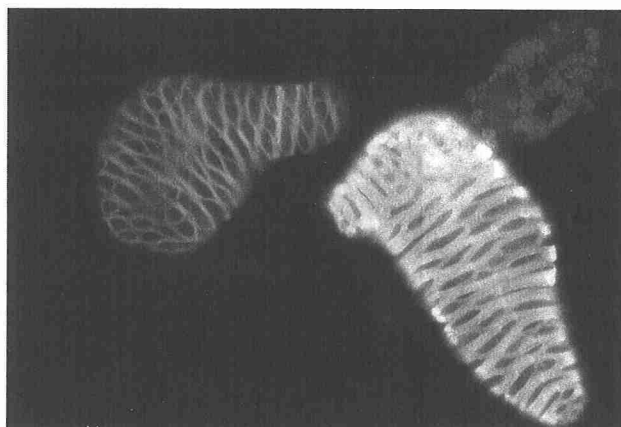


図2 ヒヤクニチソウ葉肉細胞から分化した管状要素の蛍光顕微鏡写真。紫外線の照射によって、管状要素の二次細胞壁が白色の自家蛍光を発している。右側の細胞がより分化が進んだ細胞で、二次細胞壁の自家蛍光が強い。