

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（11月号は2002年10月5日より2002年11月1日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① 食品の調理過程でアクリルアミドが生成する機構が解明された

今年4月にスウェーデン国立食品局は、動物実験で発がん性が指摘されているアクリルアミドという化合物が、高温で調理されたでん粉を含む食品中から検出されたと発表した。報告されたアクリルアミドの量は、ポテトチップ1キログラム中に1,200マイクログラム、ポテトフライ1キログラム中に450マイクログラム等である。毎日40グラムのポテトチップを食べ続けたときの発がんリスクは1万分の7と推計されており、これは、安全域とされる100万分の1から10万分の1と比較して、100倍から1,000倍近く高い。

世界保健機構（WHO）と国連食糧農業機構（FAO）が招集した専門家会議はこの問題を重視し、(1)調理過程でアクリルアミドが生成するメカニズムの解明、(2)ヒトの発がん性に関する疫学研究、(3)

他の食品中のアクリルアミドに関する研究、(4)欧州や北米以外の食物中のアクリルアミドに関する研究、を進めるようにとの勧告を出している。

Natureの10月3日号によると、英国レディング大学のMottramらの研究グループと、スイス・ネスレ研究センターのStedlerらの研究グループは、それぞれ独立に行った研究により、アミノ酸と糖類が高温下でメイラード反応^①によって糖アミノ化合物を生成し、さらに熱によって糖アミノ化合物からアクリルアミドが生成することを突き止めた（Nature 419, 448-451（2002））。Mottramらによれば各種アミノ酸の中でアスパラギン、メチオニン、グルタミン、アスパラギン酸が糖類の存在下高温条件でアクリルアミドを生成するが、グルタミン、アスパラギン酸からの生成は僅かであり、その他のアミノ酸からは全く生成しないという。また、反応は溶媒のある条件で起こりやすく、焼いたりトーストを作ったりするような乾燥

した条件では生成し難いという結果を得ている。

ジャガイモ、小麦粉、ライ麦には比較的多くの遊離したアスパラギンが含まれているので、ポテトチップ、フライドポテト、クラッカー（特にライ麦粉を含むもの）等に高濃度のアクリルアミドが含まれている理由が今回の研究結果から説明できる。

今後、上記(2)~(4)に示した、ヒトの発がん性に関する疫学研究などを早急に進めることが強く期待される。

② 国家的なバイオリソース戦略の必要性

現在の日本のバイオリソース計画は、直ぐに有用になると期待される遺伝子資源を対象としているように思われる。しかしバイオリソースの有効利用という点では、研究上あるいは産業上で将来的に役に立つ可能性のある遺伝子資源をも対象とすべきである。このことは国内資源の保護の観点でも必要であり、これにより国内のバイオリソースの有用性が飛躍的に増大すると予想される。

最近、中国やマレーシアなどの発展途上国は、自国に生育する野生動植物の遺伝子資源としての価

用語説明

①メイラード反応

アミノ酸などのアミノ基と、糖などのアルデヒド基が反応して、褐色色素を生成する反応。

値に注目し、外国へ生きた状態で持ち出すことを制限する施策を打ち出している。実際、現地メディアや国際ニュース誌等でもよく報道されているように、こうした国々で伝統的医薬品の原材料として用いられてきた野生生物から、欧米の大手製薬メーカーが医薬品を開発し、特許料で利益を生むケースが多々ある。この場合、生物資源の供与国となった国には特許料は支払われず、恩恵を受けることがない。

翻って日本の場合を考えてみる

と、発展途上国の施策のような自国の生物資源・遺伝子資源の保護はおろか、保管施設の体系的な整備すらなされていない。多くの場合、生物資源・遺伝子資源の維持・保存・保管は、各研究者に任されている。例えば植物は、複数の国立の研究機関や大学の植物園等で自国産を中心に多種類のものが正確に種の同定をされた上で維持・保管されている。これに対して、遺伝子資源に関しては、海外学術調査の際に、正式な研究協力関係のある国（ネパールなど）か

らDNAサンプルを日本に持ち帰ってくるケースが多々あり、これらの保管は研究者の所属の研究室等で行っているのが現状である。

こうした遺伝子資源を体系的に整備し、活用するシステムを作ることで、科学技術研究投資はさらに有効に機能するものと思われる。そうした取り組みを、次のバイオリソース計画に盛り込むことを是非提案したい。

（岡崎国立共同研究機構 基礎生物学研究所 塚谷 裕一氏）

情報通信分野

①低消費電力LSI設計の研究動向

微細加工技術の進歩による半導体集積度の向上と、トランジスタの高速化により、LSIの単位面積当たりの消費電力は増加して行く。現在の傾向のままでは2020年頃にはパソコン用CPUの発熱密度は太陽の表面並になるという。そのため、低消費電力化はLSIシステムの最重要課題である。低消費電力LSIの研究動向に関して、2つの国際会議、ISPLED (International Symposium on Low Power Electronics and Design)、COLP (Compiler and Operating Systems for Low Power) についての報告があったので紹介する。

ISPLEDの主なトピックは、近年のVLSIシステムで電力消費の多いメモリの低電力化と、特にマイクロプロセッサで電力消費の多い命令発行機構の低電力化であった。

半導体加工技術の微細化に伴い、トランジスタの待機時（オフになっている時間）におけるリーク電流増大が問題となっている。

特に待機が多いメモリでは影響が大きい。そこで、メモリの待機時には電源電圧を落とすなど不活性化してリーク電流を減少し、実際にアクセスされる場所だけを活性化する研究が多く発表されていた。そのために、次のアクセスを予測するハードウェア機構を備える研究が行われている。また、待機時にトランジスタの特性を変化させ、リーク電流を減少する半導体技術を活用するものもあった。高速のマイクロプロセッサでは計算時間よりもメモリとのデータのやりとりが速度上のボトルネックになることが多い。そこで、プログラムの先読みをして、予想される命令やデータをあらかじめキャッシュメモリに取り込むことが行われる。そのため、実際には実行されないのに命令発行部には供給される命令が多いことに着目し、アーキテクチャ上で命令発行部に供給する命令数をあらかじめ絞り込む手法も注目されていた。

COLPでも、メモリシステムの低消費電力化が注目されていた。コンパイラがプログラムを解析することによりメモリアクセスを予

測し、実際にアクセスされる部分だけを活性化し、メモリシステムにおける無駄な電力消費を抑える研究の発表が多かった。また、LSI全体の設計では、OSのタスクスケジューリングを工夫することで、そこそこの速度を出せるように与えられたタスクの締切り（デッドライン）を守りつつ、総消費電力を抑える研究が多かった。

また、Texas Instruments社の実際の商用DSP (Digital Signal Processor) における電力消費を、TI社提供の評価ツールを用いて詳細に報告した米国ライス大学の発表は、かなり詳細かつ現実的なものであり、関心を集めていた。

低消費電力化の研究は、研究対象がデバイスレベルからアーキテクチャレベルへと次第に設計抽象度の上位レベルへ移動してきていた。最近では、ハードウェアレベルだけでなく、コンパイラやOSといったソフトウェアとの協調で低電力化を目指す研究が増えてきており、この流れは注目すべきであろう。

（東京大学先端科学技術研究センター 中村 宏氏）

環境分野

① 土壌から有害なヒ素を効果的に吸収する植物が開発される

土壌が重金属等の有害物質により汚染されると、有害物質の溶出により汚染された地下水の飲用等によって、人の健康に影響を及ぼす恐れがある。近年、土地再開発、売却等に伴う土壌調査等でその汚染が判明する事例が多発しており、この問題に対する関心が高まるとともに、対策が喫緊の課題となっている。そこで、わが国は土壌汚染対策法を公布(2002年5月)し、現在その施行にむけた取り組みを行っている。

植物の環境汚染物質を蓄積・分解する性質を利用したファイトレメディエーションは、物理・化学的処理など従来の浄化技術に比べて環境負荷が低いこと、安価に低濃度・広範囲の土壌汚染浄化ができることから、近年注目されている。

こうした状況の中、ジョージア大学のRichard Meagherらの研究チームは、ヒ素で汚染された土壌からヒ素分を効率的に葉に吸収し、蓄積する遺伝子組み換え植物を作ったとNature Biotechnology誌(Vol.20, No.11 (2002))に発表した。今回、同研究チームが遺伝子組み換えにより作成したシロイヌナズナは、原生のシロイヌナズナに2つの大腸菌遺伝子を挿入したもので、原生のシロイヌナズナもしくはどちらか一方の遺伝子を挿入したものと比較して4~17倍早く成長し、単位重量当たり2~3倍の量のヒ素を蓄積する。

インドやバングラディッシュの西ベンガル周辺で、地下水のヒ素汚染が世界で最も大きな規模で発生していることが明らかになってか

ら久しい。しかしながら、その実態の把握と飲料水確保の方策を立てることは急務であるにも関わらず、遅々として進んでいない。また、わが国では、広範囲にわたり微量に存在する有害な内分泌攪乱化学物質(いわゆる環境ホルモン)によって引き起こされている環境汚染の対策が求められている。このような環境ホルモンに代表される広範囲にわたる汚染の処理は、物理・化学的処理など従来技術では対応が困難な分野である。本研究の手法は多種多様な植物にも応用できるとされ、こうした課題の解決策として期待できる。しかしながら、現在、遺伝子組み換え微生物に対する安全性に関連する研究成果は少なく、今後十分な検証が必要である。こうした研究も並行して進めつつ、パイロットスケールでの実証例を積み重ね、信頼性を向上させていくといった研究開発の着実な進展が期待される。

② NASA を中心とする米国研究グループによる地球温暖化評価研究

今日、地球温暖化問題に対する米国の政策に注目が集まっている。昨年、米国は京都議定書の枠組みからの離脱を宣言し、地球温暖化問題への対応に関して国際的に孤立している状況にある。こうした中、9月に米国国家航空宇宙局(NASA)は同局をはじめとする19の研究機関や大学、企業が共同で実施してきた地球温暖化予測研究の結果を発表した。

本研究では地球気候モデルGISS SI2000を用い、過去50年間の気温データの再現を試み、計算値と実測値の良好な一致を確認した。その上で、今後50年間の温

度上昇を、(1)温室効果ガスの排出削減がなされず排出量が現在のペースで増加しつづけるシナリオ(business-as-usual scenario)、(2)大気汚染が改善し、さらに化石資源起源の二酸化炭素排出量が安定化するシナリオ(alternative scenario)について予測評価した。その結果、前者のシナリオでは1~2度の上昇、後者のシナリオでは0.75度以下の上昇と評価された。

今回の結果は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が昨年公表した第3次評価報告書で発表された2050年時点での予測値(~0.7~2.7度の上昇)と整合している。また、後者のシナリオを達成することは容易ではなく、エネルギー効率率の向上、再生可能エネルギーや二酸化炭素の回収・貯留技術の導入促進、さらには、原子力発電の利用促進等といったいくつかの施策を組み合わせることが必要と述べられている。この点も日本や欧州諸国の考え方と基本的に一致している。

現在、京都議定書は米国抜きで発効される見通しとなっている。このような状況の中で発表された本研究は、結果こそ穏当なものであるものの、内外の注目を集めよう。今回の結果は米国の地球温暖化に対する現象的理解が、日本や欧州諸国と一致していることを改めて裏付けたものと言えよう。

一方、対策面に目を向けると、米国の基本的スタンスは経済成長なくして地球温暖化防止なしということであり、肝心の地球温暖化防止対策の具体像が不透明である。最大の温室効果ガス排出国である米国の取り組みは、他の諸国の取り組みに大きな影響を及ぼすことは間違いない。今後の米国の環境・エネルギー政策の動向が注目される。

ナノテク・材料分野

① ナノ構造を利用して透明絶縁体セラミックスを半導体に変えることに成功

科学技術振興事業団の創造科学技術推進事業「細野透明電子活性プロジェクト」(総括責任者:細野秀雄 東京工業大学 応用セラミックス研究所教授)の林克郎研究員らは、透明で絶縁体であるセラミックスを半導体に変えることに成功した(Nature Vol.419, 3 Oct. 2002 pp.462-465)。

透明な半導体は、液晶ディスプレイ、発光ダイオードや太陽電池などの透明電極材料として広く使われており、その需要は増加傾向にある。従来、透明で半導体の性質を示す酸化物は、ITO(インジウム・スズ酸化物)に代表される様に、遷移金属や重金属イオンの

希少資源から成るものに限られており、酸化カルシウム(生石灰)や酸化アルミニウム(アルミナ)などの典型的なセラミックス成分のみから構成される物質は、電気絶縁体であり、半導体にはならないと考えられてきた。

本研究では、セメントの原料にも使われている透明酸化物 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7)のナノ構造に着目し、電気伝導性を与え半導体化に成功した。典型元素のみから構成される酸化物では世界で初めて電子伝導性を示し、セラミックスの新たな可能性を見出した。

C12A7の結晶構造にはナノメートルサイズの籠(ケージ)がある。このケージ中では通常では不安定なマイナスイオンが高濃度に保持される性質がある。この性質を利用して、水素を含む雰囲気での熱処理により水素マイナスイオンをケージ中に導入した。これに紫外

線を照射すると、水素マイナスイオンから電子が放出され、放出された電子はケージ中にトラップ(捕捉)される。ケージ中にトラップされた電子は、動きやすい性質を持っているので、絶縁体だった同材料が半永久的に電気伝導性を持つ半導体に変換された。この物質は半導体状態に変化しても透明性を維持したままであった。

現状での電気伝導度はITOには及ばず、半導体としては未だn型しか確認されていないが、物質のナノ構造に注目して光照射によって電子を生成させキャリアをつくるというアプローチは材料に新しい機能を付与する可能性を拓く新機能探索分野であり、今後の改良研究によって透明な電気配線、電子回路、薄膜ディスプレイなどへの応用が期待される。

製造技術分野

① シリコン基板上に直接微細なパターンを作製する安価で高速な新手法を開発

Princeton大学のStephen Y. Chouらは、シリコン基板表面に直接微細なパターンを作製する新しいインプリント法を開発したとNature(vol.417, pp. 835-837, 2002年6月20日号)に報告した。

基板上に微細なパターンを作製する場合、通常、フォトリソグラフィ(加工する材料上に感光性樹脂皮膜を形成し、これを光や電子線でパターンに感光し、現像して樹脂パターンを作り、これをマス

クとして加工材料をエッチングしてパターンにする方法)が採用されている。これに対し、インプリント法は、「先ず凹凸のパターンを有する鋳型を作製しておき、その鋳型を感光性樹脂皮膜の上に押しつけてパターンを転写する」手法をいい、フォトリソグラフィに比べて、安価で高速である点が注目されている。しかしながら、従来のインプリント法は感光性樹脂皮膜の塗布および除去の必要があるために、転写パターンが不完全である、パターンニングの精度が落ちるという問題を抱えていた。

今回、Chouらが開発した新インプリント法では、まず電子線描画によって10 nm程度の石英鋳型

を作製し、この鋳型をシリコン表面に押し付け、透明な鋳型の上から308 nmのレーザーパルスを照射することでシリコンの表面を溶解し、鋳型のパターンを転写するというものである。Chouらの実験では、幅140 nm、高さ110 nm、長さ8~17 μmの細線を作製し、その細線パターンに沿って作製した幅10 nm、深さ15 nmの溝の形状も鋳型からの転写に成功、このインプリントに必要な時間は250 nsであったとしている。この方法では、直接シリコン基板にパターンを作製するため、感光性樹脂皮膜の塗布および除去の必要が無くなり、パターン作製時間の短縮、パターンニング精度が落ちない

などのメリットがある。

フォトリソグラフィ技術を用いて10 nmのパターンを作製するには電子線描画を行う必要があるが、シリコンウェーハ1枚ずつに電子線描画をしては時間がかかりすぎて大量生産には向かな

い。しかし新インプリント法では、短時間のうちに8インチウェーハ全体に微細なパターンを作製できるため、微細パターンの大量生産に有望であると考えられている。また、新インプリント法ではレーザ波長を変化させることで、結晶

性シリコンだけでなく、アモルファスシリコン、ゲルマニウム、III-V族化合物半導体、絶縁体などへのパターンの転写が可能であるなど、材料選択の幅が広い手法であることも特徴的である。

社会基盤分野

①房総半島付近で「ゆっくり地震」が繰り返し発生

国土地理院は、GPSを用いた地殻変動連続観測により、本年10月前半に房総半島東部が南東側に向けて1~2cm移動するという地殻変動を観測した。こうした現象の原因は、陸側のプレートと、この下へ潜り込んだフィリピン海プレートとの境界において、「ゆっくりした非地震性すべり」（ゆっ

くり地震）が発生したためと考えられる。今回のすべり量は最大で10cmと見られ、これにより、モーメントマグニチュードにして6.5程度の歪みエネルギーが解放されたと推定される。

この地域では1996年5月中旬にも同様の地殻変動が発生したことが知られている。気象庁の地震観測資料によれば、これら2回の地殻変動が発生した期間のいずれもマグニチュード3.8以下の地震活動が活発化した。

非地震性すべりは、現在、東海

地方西部においては進行中のものなど、これまでもいくつかの観測例がある。しかし、今回のように同じ場所で2度も観測され、しかも地震活動とはっきりした対応が認められたのはきわめて珍しいケースである。

今回得られたデータは、プレート境界における応力蓄積プロセス（地震発生準備過程）を解明する上で大いに役立つものと期待される。（国土交通省国土地理院 熊木 洋太氏）

