

# 科学技術動向

2001年 12月号 No. 9

## 12月号の内容

### 1. 科学技術トピックス

#### 1.1 ライフサイエンス分野

- (1) 治療的血管新生療法  
—重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植—
- (2) ほ乳類体細胞における特異的な遺伝子抑制法が開発された

#### 1.2 情報通信分野

- (1) マイクロマシン技術の高周波回路への応用 (RF-MEMS)

#### 1.3 環境分野

- (1) 第9回世界湖沼会議で琵琶湖宣言が発表される
- (2) 廃棄物新時代に向けての提言  
—第12回廃棄物学会研究発表会から—

#### 1.4 ナノテク・材料分野

- (1) リン酸およびアンモニウムイオンセンサーに関する動向

#### 1.5 エネルギー分野

- (1) 燃料・動力源・駆動方式の組合せにおける自動車の運転システム効率比較

#### 1.6 製造技術分野

- (1) 新しいプロピレンオキシド製造法

#### 1.7 社会基盤分野

- (1) 日本都市計画学会が「新世紀日本の都市づくりビジョン」を提言
- (2) 西南日本で発見された地殻底低周波微動

#### 1.8 フロンティア分野

- (1) 海洋深層水の食品利用の現状

### 2. 特集：バイオインフォマティクスの動向

### 3. 特集：バイオエネルギー利用の動向と展望

### 4. 特集：マテリアル・シミュレーションの動向

—第一原理計算を中心として—

Science & Technology Trends

December 2001 No.9

文部科学省 科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター



今月号の概要	1
<b>1. 科学技術トピックス</b>	
1.1 ライフサイエンス分野	4
(1) 治療的血管新生療法—重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植—	
(2) ほ乳類体細胞における特異的な遺伝子抑制法が開発された	
1.2 情報通信分野	5
(1) マイクロマシン技術の高周波回路への応用 (RF-MEMS)	
1.3 環境分野	6
(1) 第9回世界湖沼会議で琵琶湖宣言が発表される	
(2) 廃棄物新時代に向けての提言 —第12回廃棄物学会研究発表会から—	
1.4 ナノテク・材料分野	7
(1) リン酸およびアンモニウムイオンセンサーに関する動向	
1.5 エネルギー分野	8
(1) 燃料・動力源・駆動方式の組合せにおける自動車の運転システム効率比較	
1.6 製造技術分野	9
(1) 新しいプロピレンオキサイド製造法	
1.7 社会基盤分野	10
(1) 日本都市計画学会が「新世紀日本の都市づくりビジョン」を提言	
(2) 西南日本で発見された地殻底低周波微動	
1.8 フロンティア分野	11
(1) 海洋深層水の食品利用の現状	
<b>2. 特集：バイオインフォマティクスの動向</b>	
2.1 はじめに	12
2.2 バイオインフォマティクスの定義	12
2.3 バイオインフォマティクスの位置づけと分類	12
2.4 バイオインフォマティクスの現状	14
2.5 バイオインフォマティクス推進への取組	17
2.6 おわりに	19
<b>3. 特集：バイオエネルギー利用の動向と展望</b>	
3.1 はじめに	20
3.2 バイオマスとバイオエネルギー	20
3.3 地球温暖化防止とバイオエネルギー	21
3.4 わが国の動向	21
3.5 海外の動向	23
3.6 バイオエネルギー変換・利用技術の概要	26
3.7 バイオエネルギーの資源ポテンシャル評価	27
3.8 バイオエネルギー導入に向けて	29
<b>4. 特集：マテリアル・シミュレーションの動向—第一原理計算を中心として—</b>	
4.1 はじめに	32
4.2 マテリアル研究におけるシミュレーションの役割	32
4.3 第7回技術予測調査におけるマテリアル・シミュレーション	33
4.4 現在の第一原理計算の水準	34
4.5 おわりに	36
<b>科学技術動向研究センターのご紹介</b>	38

# 今月号の概要

## 1. 科学技術トピックス

### 1.1 ライフサイエンス分野

#### (1) 治療的血管新生療法—重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植—

重症虚血肢は放置すると肢切断に至る可能性が非常に高く、実際に肢を切断される患者は日本国内だけでも年間1万人から2万人いる。治療としては、血行再建術(外科治療)が第一選択であるが、その適応とならない症例もあり、新しい治療法が望まれる。

九州大学病院では、重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植を、これまでに3例施行し、良好な結果を得ている。この方法は、内皮前駆細胞を患者の末梢血から採取し虚血部位に移植するという、世界で初めての方法である。

末梢血幹細胞移植は骨髄細胞移植に比して侵襲性の低い治療法であり、今後、重症虚血肢に対する新しい治療法になると思われる。

#### (2) ほ乳類体細胞における特異的な遺伝子抑制法が開発された

2重鎖RNAを用いた特定遺伝子の発現抑制は、RNA-mediated interference(RNAi:RNAを介した遺伝子発現抑制)として知られ、最初に報告された線虫に加えて、ショウジョウバエ、植物、カビ、さらには、マウスの初期胚や胚性幹細胞などに応用され、遺伝子機能解析の簡便かつ有効な手段として注目されている。しかし、ほ乳類の培養細胞(体細胞)では、特異的な発現抑制という現象は見られなかった。

今回、21ヌクレオチド程度の短い2重鎖RNAを用いると、ほ乳類の様々な培養細胞でRNAiを起こすことがわかった。

この技術は、従来のアンチセンス法などよりも格段に優れた遺伝子抑制法として、高等動物における遺伝子機能解析に大きな役割を果たすことが期待される。

### 1.2 情報通信分野

#### (1) マイクロマシン技術の高周波回路への応用 (RF-MEMS)

近年進歩が目覚ましいマイクロマシン技術の高周波帯回路への応用が注目されてきている。高周波帯では半導体デバイスに比べて機械的なスイッチやバリコンの方が損失などで有利となるからである。3次元微細構造作成が可能な半導体プロセス技術を用い、小型で高性能な回路素子が国内外において実現されつつあり、システム、デバイスの極小型化、極軽量化、極低廉化に大きなインパクトを与える可能性があると考えられている。

### 1.3 環境分野

#### (1) 第9回世界湖沼会議で琵琶湖宣言が発表される

第9回世界湖沼会議が大津市で開催され、「湖沼の重要性を再認識し、20世紀の先進国の生産・生活様式を批判的に見つめながら湖沼環境の保全、再生が必要」と強調する琵琶湖宣言が公表された。

会議の中心である講演・討論では、市民、行政、メディア、研究者、学生、企業などのあらゆる参加者が対等な立場で議論する方式が採用されるなどの新しい試みがなされた。講演・討論を通して、自然界の仕組みを検証し、特に生態系の仕組みを重視して社会が抱える課題の新たな解決策を探ることへのメッセージが示された会議であったと総括できる。

(2) 廃棄物新時代に向けての提言～第12回廃棄物学会研究発表会から～

第12回廃棄物学会研究発表会で、NPOの加藤三郎氏が特別講演を行い、「循環型社会」の法定コンセプトを共有することなど8項目の提言を行った。これらの提言は、ゴミゼロをめざす循環型社会を実現させる上で示唆に富むものであり、新たな静脈産業育成の観点からも、今後真剣な検討が期待される。

#### 1.4 ナノテク・材料分野

(1) リン酸およびアンモニウムイオンセンサーに関する動向

これまで余り進展してこなかったリン酸イオンあるいはアンモニウムイオンを認識するイオンセンサーの開発において、指針となる重要な研究結果を、名古屋工業大学の湯地昭夫教授のグループと慶應義塾大学理工学部の鈴木孝治教授のグループが、日本分析化学会で相次いで発表した。

#### 1.5 エネルギー分野

(1) 燃料・動力源・駆動方式の組合せにおける自動車の運転システム効率比較

スウェーデン政府の Natinal Road Administration (スウェーデン道路公団) は、天然ガスあるいはバイオマスからの代替燃料における Well-To-Wheel Efficiency と題する研究の成果公表した。研究では、燃料、エンジン等の動力源、駆動方式の3要素の組合せにおいて、燃料の製造から消費までの運転システム効率の優劣について比較を行っている。動力源を内燃機関とし駆動方式をシリーズまたはパラレルハイブリッド方式とした組合せで効率向上の効果が大きい、燃料電池と何れかのハイブリッド方式の組合せではハイブリッド方式利用の効果が少ない、などと結論付けている。

#### 1.6 製造技術分野

(1) 新しいプロピレンオキシド製造法

住友化学工業は重要な工業原料であるプロピレンオキシドの新しい製造技術を開発した。従来の製造法は何れも大量の併産物が生成する為併産物の需要や価格動向の影響を受け易かったが、今回、併産物を生成しない新しいプロセスの構築に成功した。

#### 1.7 社会基盤分野

(1) 日本都市計画学会が「新世紀日本の都市づくりビジョン」を提言

先頃、日本都市計画学会が今後の都市づくりのビジョンについて発表した。少子高齢化、情報化や消費社会からの転換等といった今後の日本の都市をめぐる変化を前提とし、ビジョンを「都市社会」と「都市」、そしてそれを実現する「都市計画の方法」にわけ、「循環システム」や「参加と合意形成を促すわかりやすい計画過程」など17の提言にまとめている。

(2) 西南日本で発見された地殻底低周波微動

高密度の高感度観測網 (Hi-net) の最近の展開により、西南日本の広い範囲で地殻深部広域において低周波微動が度々発生していることが発見された。これは地殻深部流体の活動等を示唆しているとも考えられる。沈み込み帯での大地震発生メカニズムや内陸地震発生メカニズムの研究に有効な情報を提供し、今後、地震予知の研究に弾みをもたらす可能性がある。

#### 1.8 フロンティア分野

(1) 海洋深層水の食品利用の現状

高知県工業技術センターを中心に取り組まれている室戸海洋深層水の食品利用現状が報告されている。この深層水は低温安定、富栄養、清浄といった特徴があり、これまでに冷媒利用、医薬品原料の開発、最適醸造用水への応用といった研究が行われている。今後の進展が期待される。



## 2. 特集 バイオインフォマティクスの動向

2001年2月にヒトゲノム配列の概要が報告されたことや、60以上の生物種のゲノム配列が決定されてきていることから、ポストゲノム研究が本格化してきている。この過程で生じる膨大で多種多様な生物情報を効率よく整理・解析し、その生物学的・医学的意味を明らかにする必要性が高まっていることから、バイオインフォマティクスの重要性が大きくなっている。

本稿では、まず、データベース、データ解析手法およびハードウェアについて研究の現状を述べ、課題を検討した。現在進められているデータベースやデータ解析手法の整備は、主にDNA塩基配列やタンパク質立体構造の解析を対象としているが、今後は、細胞機能や個体機能の研究開発を戦略的に推進していく必要がある。また、アノテーション更新などのデータベース管理や、データベースの統合化などの取組も重要である。ハード面については、ハイパフォーマンスコンピュータの性能向上や、ハイパフォーマンスコンピュータ上で動作するアプリケーションの並列化などソフト面での対応も望まれる。

次に、バイオインフォマティクスに対する政策的な取組について現状を述べ、課題を検討した。我が国では、バイオインフォマティクス推進のための拠点形成や人材育成のためのプログラムなどに関する取組がまだ始められたばかりである。今後の生命科学におけるバイオインフォマティクスの重要性を考慮すると、継続的な施策の推進がより一層望まれる。

## 3. 特集 バイオエネルギー利用の動向と展望

現在、地球温暖化対策として、種々の経済的および技術的オプションが提案されているが、個々の効果はいずれも限定的であり、わが国としては的確かつ柔軟な政策遂行の基盤を確保するため、多様な地球温暖化対策技術の研究開発を推進していく必要がある。

一方、バイオマス(生物資源)を利用するエネルギー、すなわち、バイオエネルギーが二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー源として注目されており、政府内でもバイオエネルギーを「新エネ法」に基づく導入支援措置の対象とするよう所要の規定の整備を検討しているところである。

本稿では、バイオエネルギーの概要、地球温暖化対策としての位置付け、国内外の導入状況、各国政府等の取り組み、エネルギー転換・利用技術、国内外の利用可能量について概説した。

さらに、わが国におけるバイオエネルギー利用の導入・普及に向け、①バイオエネルギー研究の拡充、②外部経済に配慮した制度設計、③広範囲に及ぶ効率的なバイオマス原料収集システムの構築、④石炭等との混焼プラントの研究開発の推進、⑤発展途上国との共同・連携、の5つの提言を行った。

## 4. 特集 マテリアル・シミュレーションの動向—第一原理計算を中心として—

コンピュータの性能の急激な向上、シミュレーション手法の進展、ナノメートルスケールにおける実験技術の向上といった背景に支えられ、シミュレーションのマテリアル研究に対する貢献度の向上が期待されている。

今後、コンピュータの性能の更なる向上などにより、精密なシミュレーションである第一原理計算の適用範囲が拡大し、マテリアル設計におけるシミュレーションの寄与が著しく高まる事が期待できる。さらに、シミュレーションによるマテリアル設計が実用的になったとき、「マテリアル・シミュレーションを十分に活用できるかどうか」が研究開発力の格差に繋がる事が予想される。

今のうちから新規マテリアルや新デバイスの研究開発におけるシミュレーションの活用率を向上させると共に理論研究と実験研究の協働スタイルを定着させることが重要である。

# 1. 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(12月号は11月3日より12月7日まで)を「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。

## 1.1 ライフサイエンス分野

### (1) 治療的血管新生療法

#### — 重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植 —

重症虚血肢は放置すると肢切断に至る可能性が非常に高く、実際に肢を切断される患者は日本国内だけでも年間1万人から2万人いるといわれている。重症虚血肢の治療としては、血行再建術、すなわち外科治療が第一選択である。しかしながら血行再建術の適応とまらない症例もあり、新しい治療法が望まれるところである。

従来、成人の血管形成は、血管内皮細胞が遊走、増殖し血管新生(angiogenesis)により起こると言われていた。しかし、近年、胎児期のみ存在するとされてきた、未分化な血管内皮前駆細胞(endothelial progenitor cell: EPC)が分化し血管を形成する過程である脈管形成(vasculogenesis)が成人でも起こっている事が明らかとなってきた。血管内皮前駆細胞を分離して虚血部に移植する細胞移植療法は、血管新生を目的とした新しい治療法であり、重症虚血肢への適用が期待されている。

九州大学病院の我々の施設では、重症虚血肢に対する末梢血幹細胞移植を、これまでに3例施行し、良好な結果を得ている。我々の方法は、骨髓液を採取し単核球成分を移植するこれまでの方法と違い、内皮前駆細胞(CD34陽性細胞)を末梢血アフエーシス<sup>①</sup>で採取し虚血部位に移植するという、世界で初めての方法である。この末梢血幹細胞移植により、症例1)虚血性潰瘍が治癒し、レーザードップラーやサーモグラフィで血流の改善がみられ、安静時疼痛が消失し歩行可能となった、症例2)最大跛行距離が60mから200mへ延長した、症例3)最大跛行距離が120mから300m以上へ延長した、といったように虚血性潰瘍の治癒及び跛行距離の延長などの良好な結果が得られた。

末梢血幹細胞移植は骨髓細胞移植に比して侵襲性の低い治療法であり、今後、重症虚血肢に対する新しい治療法になると思われる。

(九州大学大学院消化器・総合外科 杉町 圭蔵氏)

### 用語説明

#### ①末梢血アフエーシス

患者の末梢血から必要な細胞を採取したのちに、ふたたび血液を患者自身に輸注すること。

### (2) ほ乳類体細胞における特異的な遺伝子抑制法が開発された

2. 重鎖 RNA を用いた特定遺伝子の発現抑制は、RNA-mediated interference (RNAi: RNA を介した遺伝子発現抑制)として知られ、最初に報告された線虫に加えて、ショウジョウバエ、植物、カビ、さらには、マウスの初期胚や胚性幹細胞などに応用され、遺伝子機能解析のきわめて簡便かつ有効な手段として注目されている。しかし、ほ乳類の培養細胞(体細胞)では、特異的な発現抑制という現象は見られなかった。

昨年来 RNAi のメカニズムの解析が進み、細胞に導入された 2 重鎖 RNA が切断されて生じる、21 ヌクレオチド程度の短い 2 重鎖 RNA (3' 側が突出)が、標的とする遺伝子の mRNA を分解することに関係していることが明らかとなった。

今回、ドイツ・マックスプランク研究所の Sayda M. Elbashir らの報告(Nature (2001) vol.411 Page 494~498)と米国 NIH の Natasha J. Caplen らの報告(PNAS (2001) vol. 98 no. 17 Page 9742~9747)によると、21 ヌクレオチド程度の短い 2 重鎖 RNA を用いると、ほ乳類の様々な培養細胞で RNAi を起こすことがわかった。

従来の RNAi はすべて長鎖の 2 重鎖 RNA を用いており、これがほ乳類体細胞ではインターフェロンを誘導して、インターフェロン系を作動し、様々な遺伝子の発現に影響を及ぼしてしまうことにより、特異的な効果を得ることができなかったようだ。

この技術は、従来のアンチセンス法などよりも格段に優れた遺伝子抑制法として、高等動物における今後の遺伝子機能解析やヒトへの応用に大きな役割を果たすことが期待される。

(横浜市立大学医学部 大野 茂男氏)

## 1.2 情報通信分野

### (1) マイクロマシン技術の高周波回路への応用 (RF-MEMS)

近年多くの分野で進歩が目覚ましいマイクロマシン(Micro Electro-Mechanical Systems: MEMS)技術の高周波帯回路への応用(RF-MEMS)が注目されてきている。3次元微細構造作成が可能な半導体プロセス技術を用い、小型で高性能なスイッチ・フィルタ・キャパシタ・インダクタ等の高周波回路および回路素子が国内外において実現されつつある。9月18-21日に開かれた電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会 TC-1において、このRF-MEMS技術のチュートリアルセッションが開かれた。

ここで言う高周波(RF)回路とはマイクロ波・ミリ波からテラヘルツ波(1GHz~THz)のアナログ回路を意味しているが、このような高周波帯では半導体スイッチやバラクタダイオード<sup>①</sup>に比べて機械的なスイッチやバリコンの方が損失やアイソレーション、消費電力の点で有利となる。また、軍事、民生、宇宙用のレーダや通信システムなどでは、さらに高周波帯の需要が増えてきており、高周波化による回路寸法の小型化で製作精度や製作方法自体も問題となってきた。

これらを解決するためのMicromachining技術は、システム、デバイスの極小型化、極軽量化、極低廉化に大きなインパクトを与える可能性があると考えられている。逆に反応速度や耐久性が課題となるが、まだまだ十分とは言えないまでも着実に改善されてきている。

米国などではMicromachining技術を用いた極微細3次元回路のミリ波帯での応用が盛んになってきているようである。米国ミシガン大学のL. P. B. KatehiらのグループがSi基板上での3次元ミリ波回路等でRFへの応用を積極的に行っている。

最近国内でもRF-MEMSの応用例として機械的スイッチやバリコンが報告されている。東北大、村田製作所、オムロン、松下等で研究されているようだ。

国内のRF-MEMSに関する研究体制はまだ確立したものはないようだが、マイクロ波分野からのアプローチとしては、本チュートリアル講演をオーガナイズした電子情報通信学会マイクロ波研究会やMWE

(Microwave Workshop and Exhibition) 実行委員会等で議論が活発になってきているようである。なお12月に開催予定のされるMWE(会場:パシフィコ横浜)では"RF MEMSの技術と展望"(オーガナイザ:村田製作所 石川 容平氏)と題してワークショップも開催される予定である。

今後のRF-MEMS技術の普及と、MMIC等との組み合わせなどにより、新たな高周波回路技術の展開が期待できる。

(山口大学工学部 真田 篤志氏の報告)

#### 用語説明

##### ①バラクタダイオード

可変容量ダイオード、バリキャップとも呼ばれる。逆バイアス電圧によって静電容量が変わり、バリコンとして動作する。



### 1.3 環境分野

#### (1) 第9回世界湖沼会議で琵琶湖宣言を発表

11月12～16日の期間、滋賀県と(財)国際湖沼環境委員会の主催で第9回世界湖沼会議が津市で開催された。この会議は、1984年8月に第1回が滋賀県で開催されて以来17年ぶりの地元開催であったこと、市民に最も身近な水を扱った会議であること等により、研究者ばかりでなく主婦や中高生も参加できるような工夫がなされたため、期間中のべ71ヶ国、約3700人の参加者を数えるに至り、水に対する社会的関心の高まりを示すものとなった。

会議最終日に公表された琵琶湖宣言では、「湖沼の重要性を再認識し、20世紀の先進国の生産・生活様式を批判的に見つめながら湖沼環境の保全、再生が必要」と強調され、①住民、研究者、芸術家、政治家、学生、行政、NGO、企業、メディア等のパートナーシップの構築と充実、②情報公開と環境教育の推進、人材の育成、③調査研究とモニタリングの推進、④統合的流域管理の推進、⑤国際協力推進と連帯の確立、⑥資金調達に関する方式の検討が盛り込まれた。

会議の中心である講演・討論は5つの分科会に分かれて行われた。市民、行政、メディア、研究者、学生、芸術家、NGO、企業などのあらゆる参加者が対等な立場で議論する方式が採用されたこと、また、琵琶湖宣言文についても公開方式で、草案から議論が活発になされるなど、今回の会議の新しい試みが見受けられた。

特に地元市民から積極的な意見が表明された。従来と同様なポスター方式で発表された研究成果においては、有機物質や富栄養化湖水をはじめとする水質汚染改善に関する発表、降雨時などには定量的把握が困難であった森林や市街地等の汚濁負荷発生源が平面的に分布する場合での流出負荷量管理をGIS<sup>①</sup>や新たなモデルを用いて推定する技術に関する発表などが注目された。

市民への知識共有・参加を目指す市民に馴染みやすい講演も数多くあった。都市部の川や雨水・水道水などを日本各地で採取して凍らせ、本来正六角形である結晶の歪んだ形状によって水の汚染状態を視覚的に訴えた発表、市民がサービスを楽しむだけの立場からリスク管理の参加者に移行するためには、リスクを市民自ら判断する権利の行使、市民が環境汚染リスク管理に参加できる社会の形成、行政による情報開示

等が必要であるとした発表などが注目された。

地球上に存在し、生活に利用できる淡水は地球上の水の僅は約14億Km<sup>3</sup>の水があると言われているが、この内淡水は約3%である。しかもその殆どは南・北極地域の氷としてか0.8%しかない。会議初日の基調講演において、世界水パートナーシップ総裁などを務めるM. Catley-Carlson氏は、環境破壊から湖を回復し救済するには従来とは異なった解決策が必要であると、現在直面し今後さらにやって来る危機を解決できるのは、多くの場合において新たな技術進歩ではなく、私たちの水を利用し管理する心構えや方法の変更であるとした。分科会の講演にはヨシ群落の持つ高い水質浄化能力に注目した発表や湖に限定せず視野を広く水系全体としてとらえる考え方が数多く発表されたが、自然界の仕組みを検証し、特に生態系の仕組みを重視して社会が抱える課題の新たな解決策を探ることへのメッセージが示された会議であったと総括できるのではないだろうか。

#### 用語説明

① Geographic Information System 地理情報システム

#### (2) 廃棄物新時代に向けての提言

##### ～第12回廃棄物学会研究発表会から～

11月1日、横浜市において開催された第12回廃棄物学会研究発表会で、加藤三郎氏(NPO 法人環境文明21代表、環境文明研究所所長)による標記の題目の特別講演があった。加藤氏は、旧厚生省および旧環境庁在職時には公害・環境行政を担当され、現在は廃棄物問題に関する屈指の論客の一人である。この講演で、加藤氏は循環型社会形成に向けた8項目の提言を行った。

##### 1. 「循環型社会」の法定コンセプトを共有しよう

「循環型社会」については、循環型社会形成推進基本法での定義を基にして、平成13年版循環社会白書の中で「なによりもまず資源を効率的に利用してごみを出さないこと、出たごみは資源として利用すること、どうしても利用できないごみは適正に処分すること」という考え方が社会経済の基本原則として定着した、持続的な発展を指向する社会」と記述されている。このような定義や解釈では意味合いが狭いと、不満を持つ専門家も多い。しかし、この

コンセプトに基づいて議論を進めないと、「循環型社会」という言葉の概念を巡っていたずらに混乱が続く恐れがある。

## 2. 廃棄物を再定義しよう

リサイクル法の対象となる廃棄物について、廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃掃法)法における廃棄物の定義(「汚物又は不要物」)に基づく観点で捉えてみると、リサイクルの推進に不必要と思われる規制が存在し、循環型社会を円滑に構築する上で支障となっている。廃棄物の定義とその運用実態を1~2年かけて見直し、その後に定義を改訂すべきである。

## 3. 一般廃棄物と産業廃棄物の区分を見直そう

一般廃棄物と産業廃棄物の区分は、合理性を失いつつあるだけでなく、リサイクルや処理にあたって障害を生じているため、廃棄物の定義と一体的に見直し、費用負担や管理の実態に即したものとすべきである。

## 4. どのまちでもごみ処理を有料化しよう

市町村でのごみの処理やリサイクルについては、排出源(家庭や事業所)を問わず、その費用をごみの量や質に応じて、公平に負担することとすべきである。

## 5. 容器包装リサイクル法を改正し、デポジット制を導入しよう

## 6. 国民への周知と施策の普及に格段の努力をしよう

## 7. 民間団体への支援を強化しよう

## 8. 廃棄物・リサイクル対策と温暖化対策を連動させよう

加藤氏によれば、今年1月の省庁再編時に廃棄物の所管が旧厚生省から環境省に移ったということは、廃棄物行政が、従来の衛生行政から今後は環境行政へと変わることの意味する。以上の提言は、ゴミゼロをめざす循環型社会を実現させる上で示唆に富むものであり、新たな静脈産業育成の観点からも、今後真剣な検討が期待される。

## 1.4 ナノテク・材料分野

### (1)リン酸およびアンモニウムイオンセンサーに関する動向

「化学センサー」のなかで、「イオンセンサー」と呼ばれる「特定のイオンを検出するセンサー」は、すでに臨床検査のなかで電解質検査(ナトリウム、カリウム、カルシウムあるいはマグネシウムイオンなど)に広く利用されている。イオンセンサーは、体温計ほどの大きさの感応部分を試料溶液中に浸すだけで目的とする物質を定量でき、余分な試薬を必要としないため「環境負荷が極めて小さい」理想的な分析法となる。

しかし、上述した電解質に対するセンサー開発には10年単位の長い年月を費やしてきている。その理由は、特定のイオンを高感度・高選択的に認識するセンサー材料を開発する難しさにあった。ちなみに、水素イオンを認識するpHガラス電極は1930年代に実用化されたが、その後、臨床化学分析を可能にしたカリウムイオンセンサーは1960年代後半、マグネシウムイオンセンサーに至っては1990年代に入ってから開発されている。このような状況のなかで、これまで開発が余り進展してこなかったリン酸イオンあるいはアンモニウムイオンを認識するセンサー開発について、大きな進展があった。

11月23日から25日にかけて熊本大学で開催された日本分析化学会第50年会で、名古屋工業大学の湯地昭夫教授のグループは、これまで不明だったリン酸イオンを認識する化学センサーの機構を明らかにした。すでに、リン酸イオンセンサーについては、1980年代にジアルキルスズを使用したセンサーが開発されたが、この化合物の安定性が悪く、余り注目されなくなった。しかし、この不安定性の原因は、①スズ化合物が加水分解されやすく複数のスズ原子を含む複核錯体に変化しやすいこと、②また、この変化した構造がリン酸イオンを認識していることに起因することが同教授のグループにより見出された。この研究をきっかけに、構造的に安定なスズの複核錯体が合成されれば、優れたリン酸イオンセンサーが開発できるものと期待される。

また、アンモニウムイオンセンサーについても、これまで使用されてきたナノクチン<sup>®</sup>が生体内に多量に含まれるカリウムイオンとの識別能が悪いことで、選択性の向上が長い間望まれてきた。同年会で、慶應義塾大学理工学部の鈴木孝治教授のグループが、このノナクチンに代わる物質探索を行った結果、六置換ベンゼン誘導体の一種がノナクチンよりも、10倍以上もカリ

ウムイオン選択性が高いことを見出した。さらに研究が進展することにより、優れたアンモニウムイオンセンサーが開発される日も近いと思われる。

一方、イオンセンサーを上述した無機イオンから有機イオンに展開しようとする研究も幅広く行われるようになった。特に、有機アンモニウムイオンを認識する材料開発が、生体内に存在する様々な生体アミンの検出も含めて進展しつつある。有機アンモニウムイオンを認識させるためには、アンモニウムイオンの部分と疎水性部分との両方を認識させる必要があったが、最近、岡山大学薬学部の勝孝助教授のグループは、覚せい剤アンフェタミン類似のフェンテルミンという化合物(複雑な構造をもつ有機アンモニウムイオン)を強く認識する化合物を見出している(第40回日本薬学会中国四国支部大会、2001年11月(徳島))。有機アンモニウムイオンを認識するセンサーが開発されれば、生体内でリセプターとして働くタンパク質に代わる人工超分子にもなりうることから、注目すべき研究動向である。

今後、「イオンセンサー」の研究開発はその速度を速め大きく進展することが予想される。

#### 用語説明

##### ①ナノクチン

1960年代に開発されたリング状の構造をもった化合物で、アルカリ金属イオンを輸送する機能をもつ。

## 1.5 エネルギー分野

### (1) 燃料・動力源・駆動方式の組合せにおける自動車の運転システム効率比較

スウェーデン政府の Natinal Road Administration (スウェーデン道路公団)は、今年10月、天然ガスあるいはバイオマスからの代替燃料における Well-To-Wheel Efficiency と題する研究の成果を WEB 上で公表した。この研究成果について、(株)いすゞ中央研究所の中田輝男氏が以下のように報告した。

この研究は、自動車からの CO<sub>2</sub> ガス排出量を抑制するために、燃料、エネルギー変換装置(エンジン等の動力源)、駆動方式の3要素について98通りもの組合せを想定し、燃料の製造から消費までの運転システム効率(Well-To-Wheel Efficiency)を比較して組合せの優劣を定量的に評価したものである。燃料については、天然ガス若しくはバイオマスを原料とする、ディーゼル油や燃料電池用燃料などの炭化水素系合成燃料・エタノール・メタノール・DME(ジメチル・エーテル)・メタン・水素の6種類、エネルギー変換装置については、オットーサイクルエンジン<sup>①</sup>・ディーゼルエンジン・燃料電池の3種類、駆動方式については、オートマテックマニュアルギアボックス・パラレルハイブリッド方式<sup>②</sup>・シリーズハイブリッド方式<sup>③</sup>の3種類が対象項目である。利用する車両は小型乗用車を仮定し、今後期待できる車両軽量化や走行抵抗低減などの技術革新も考慮している。

比較検討の結果、天然ガスとバイオマスで共通に高効率が得られるシステムとして、DME やメタノールを燃料としたディーゼルエンジンと何れかのハイブリッド方式との組合せ、および圧縮水素燃料電池と何れかのハイブリッド方式との組合せが選択肢として有望、という結果を得ている。さらに、MIT や GM での研究成果もあわせて、以下の結論を述べている。

- ・ 駆動方式におけるハイブリッド方式利用は総合効率の向上に有望である。特に内燃機関と何れかのハイブリッド方式の組合せでは効率向上の効果が大きい。燃料電池と何れかのハイブリッド方式の組合せではハイブリッド方式利用の効果が少ない。エネルギー変換装置において、燃料電池は火花点火機関(オットーサイクルエンジン)に比べると高効率だが、圧縮着火機関(ディーゼルエンジン)に対する



効率上の優位性は少ないか、若しくはない、という程度である。

- ・天然ガスあるいはバイオマスを原料として製造された DME やメタノール、水素は、ディーゼル油などの炭化水素系合成燃料に比べて運転システム効率が良い。電力から生成された水素利用については効率が最も低い。
- ・今後のバイオ燃料の利用拡大という視点においては、取り扱う温度と圧力の容易さも考慮すると、DME やメタノールをもっと真剣に検討すべきである。

自動車からの CO<sub>2</sub> 排出に関する燃料と動力源を種々組み合わせたときの予測研究(Well to Wheel Analysis)での研究成果を総合してみると、ハイブリッド化を前提として、ディーゼルと燃料電池がほぼ互角、というのが一般的結論と言える。利用する燃料の形態としては、水素が将来は最も有望とされてはいるが、超低温の液体または超高压の気体として取り扱う必要性から自動車への積載量や航続距離への制約が生じるという問題がある。水素社会の構築という視点に立った場合、水素そのものの取り扱い、水素生産時の CO<sub>2</sub> 固定化、水素燃料電池のコスト・重量・信頼性の確保などの問題解決に時間がかかるのであれば、本研究での提案のような DME やメタノールをディーゼルと燃料電池の共通燃料とする形態も注目に値する。

#### 用語説明

##### ①オットーサイクルエンジン

内燃機関の一種で、ピストン四行程の間に断熱圧縮・等容加熱・断熱膨張・等容冷却の一サイクルを行う等容サイクル機関であるが、本研究の中では、圧縮着火機関(ディーゼル)との対比で、火花点火機関の総称をオットーエンジンと称している。

##### ②パラレルハイブリッド方式

エンジンとバッテリーから給電されたモーターが車輪を駆動する方式を言う。二つの駆動力を状況に応じて使い分けし、動力の流れが並列であることから「パラレルハイブリッド」と呼ばれる。エンジン動力でバッテリーを充電しながら走行することも可能な方式である。

##### ③シリーズハイブリッド方式

エンジンで発電機を駆動して電力を発生させ、電力をモーターに給電して駆動する方式を言い、動力の流れが直列であることから「シリーズハイブリッド」と呼ばれる。小さな出力のエンジンを最も効率の良い条件で運転しバッテリーも充電しながら走行できるという長所があるが、モーターが大きく重くなるという欠点もある。

## 1.6 製造技術分野

### (1)新しいプロピレンオキサイド製造法

プロピレンオキサイドは、エラストマー(ゴム状弾性を有する物質)、塗料、接着剤などの原料として我が国で年間約 30 万トン生産されている工業上重要な化合物であるが、住友化学工業が開発した新しい製造法が C&EN, 22 Oct. 2001 で紹介された。

プロピレンオキサイドは現在、下記の2つの方法で製造されているが、何れも大量の併産物が生成する為に併産物の需要や価格動向の影響を受け易かった。

- 1) プロピレンに塩素と水を反応させ、生成したクロロヒドリンを水酸化カルシウム或いは水酸化ナトリウムで処理する方法。(併産物:塩化カルシウム或いは塩化ナトリウム)
- 2) イソブタン或いはエチルベンゼンを酸素と反応させて得られたヒドロパーオキサイド(過酸化物)でプロピレンを酸化する方法。(併産物:ターシャリーブチルアルコール或いはスチレン)

住友化学工業は上記2の方法でイソブタン或いはエチルベンゼンの代わりにイソプロピルベンゼン(クメン)を用い、生成するクミルアルコールを脱水/水素化してクメンに戻すことにより、併産物を生成しない新しいプロセスの構築に成功した。住友化学工業はこの新しいプロセスを採用したプラントを 2003 年に我が国で稼働させるとしている。

なお、併産物を生成しないプロセスを目指し、過酸化水素によるプロピレンの酸化およびプロピレンの酸素による直接酸化が検討されているが、過酸化水素の価格が高い、或いは反応の選択性が著しく低いなどのために開発には成功していない。

## 1.7 社会基盤分野

### (1) 日本都市計画学会が「新世紀日本の都市づくりビジョン」を提言

21世紀の日本の都市をめぐる状況(少子・高齢社会、低成長化での活力持続や分配の公正さが課題、アジア中進国との経済・人の交流・競争関係が高まる、情報技術が人間社会を変える、エネルギー技術が都市構造を変える、モノの生産・消費・廃棄を縮小することを是とする価値観の転換が進む)を大前提として、都市社会及び都市のビジョンを描き、それを実現する広い意味での都市計画の方法に関する以下17の提言がされた。

#### A. 都市社会ビジョン:

1. 多様な生活スタイルの選択を包容する都市
2. 多重コミュニティが支える市民社会
3. 創造性に支えられた産業発現の場
4. 多様で個性的な豊かな風土が形成される都市社会

#### B. 都市ビジョン:

5. 共生を実現する自然親和型都市づくり
6. ゆるやかな連携により自立する都市
7. 自由と安心を享受できる都市
8. 豊かな「間(ま)」と「時(とき)」が生み出す日本型都市空間へ

#### C. 都市計画ビジョン:

9. 都市計画における公共圏の拡大にねざした社会的ルールの再構築
10. 地区の発想から始まる都市づくり
11. 多様な用途の共存を成り立たせる空間秩序
12. 公民パートナーシップによる都市開発システム
13. 負荷の小さいモノと人の循環システム
14. 個を集団に展開する広域調整システム
15. 環境都市計画のシステム
16. 参加と合意形成を促すわかりやすい計画過程
17. 信頼にもとづき市民の価値を代弁する専門家

都市計画は本来、社会計画としての側面を強く持つ。そのため、社会思想は都市計画の前提である。今回のビジョンでは、顕在化してきている人間・社会の種々の問題を都市計画の重要課題と認識し、「人間の生涯発達を支える都市づくり」に真正面から取り組む覚悟が必要であるとする。それは専門家だけの責任ではなく、あるべき日本社会の姿に関してより上位の社会思想が国民に醸成されなければならない。

(茨城大学工学部 金 利昭氏)

### (2) 西南日本で発見された地殻底低周波微動

地殻深部広域において低周波微動が度々発生していることが発見された。この微動は、高密度の高感度観測網(Hi-net)の最近の展開により西南日本の広い範囲で観測されている。多くの発生源はフィリピン海プレートの沈み込み帯におけるプレート上面が30~40kmに達するゾーンの真上、深さ20~30kmの地殻底である。2Hzないしそれ以上の微動が卓越し、震動継続時間は数時間から数日、ときに数週間に及ぶ場合もある。エネルギーの集中する波群があり、それを低周波地震として抽出し、震源の位置を決定した。S波の波群と考えると震源がよく決まる。低周波地震の震源の分布から、低周波微動の発生場所が推定された。

#### 発見の糸口:

1) 大学、気象庁、防災科学技術研究所などの観測網を一元化し、さらに稠密度化したHi-net高感度地震観測網が整備されてきて、広域の微動を把握し易くなったこと。

2) 低周波地震と呼ばれる現象が注目されてきていて、そのタイプの地震を見る目が育ってきたこと。

この現象の地球科学的意味や課題:

1) 地殻深部流体の活動を示唆。

2) 沈み込み帯における脱水過程に伴う振動源を示唆。

3) 火山直下のマグマの挙動に似た間隙熱水の活動を示唆。

4) フィリピン海プレートの沈み込み帯のうち、微動が発生していない場所(紀伊水道、四国東部など)もあるが、その理由がまだ分かっていない。

5) 通常の地震活動が微動の発生を誘発することの示唆。例:2001年3月24日の芸予地震(M6.4)の直後から四国西部の微動が活発化した。

6) 微動長期活動とテクトニクスの関係の示唆。長期的活動には、数週間以内の活動期と数ヶ月の静穏期が見られる。プレートの運動との関連はどうか。

将来の科学技術に与える影響:

1) 沈み込み帯での大地震発生のメカニズムの研究に有効な情報を与える。

2) 沈み込み帯だけではなく内陸地震の発生メカニズムの解明に有力な情報を提供する。

3) 以上の研究が進展することにより地震予知の研究に弾みをもたらす可能性がある。

(東京大学地震研究所 佃 為成氏)

## 1.8 フロンティア分野

### (1) 海洋深層水の食品利用の現状

食品膜技術懇談会第13回秋季研究例会における久武陸夫氏の講演要について、(財)高知県産業振興センター 都築 俊夫氏より以下の報告があった。

国内外における海洋深層水の食品利用開発状況の報告。高知県工業技術センターにおいて、久武陸夫氏を中心として1990年頃から継続研究されてきた、室戸海洋深層水の食品利用研究が詳しく報告されている。外国では自然エネルギー研究所(ハワイ)、ベルゲン大学海洋生物学部(ノルウェー)、国内では他に富山県、沖縄県のそれぞれの研究が含まれている。世界をほぼ網羅していると思つてよい。

室戸深層水から見た深層水の特性として、

- ・低温安定性(室戸で年中10~15度C)
- ・富栄養(植物プランクトンの栄養素が多い)
- ・清浄性(微生物汚染が少ない)

があげられる。

こうした特性を利用して、高知県においては深層水が食品産業に多用されている。

今後の深層水利用の可能性は前記の3特性を如何に産業に利用していくかにあると指摘し、

- ・低温安定性を省エネ、低コストの冷媒として利用(NEDO研究事業)
- ・富栄養を有用特殊微細藻類の大量培養に利用し、ガン抑制物質などの医薬品原料等の開発
- ・清浄性を水産種苗生産に利用
- ・ミネラル成分調整法の開発と最適醸造用水などの生産(NEDO研究事業)

の各研究が始められている。

海洋深層水の特性と機能の研究については、未だ始まったばかりであるが、今後、大きな進展と共に利用可能性が拡大すると見られている。



## 2. 特集：バイオインフォマティクスの動向

ライフサイエンス・医療ユニット 庄司 真理子、茂木 伸一

### 2.1 はじめに

2001年2月に国際解析チームとセセラ社からそれぞれヒトゲノム配列の概要が報告され、60以上の生物種のゲノム配列が決定されてきていることから、遺伝子発現解析、タンパク質の構造決定、プロテオーム解析、分子間相互作用解析等をはじめとする、いわゆるポストゲノムシーケンス研究が本格化してきた。これらの研究において、膨大で多種多様な生物情報を効率よく整理・解析し、その生物学的・医学的意味を明らかにすることが必要であり、バイオインフォマティクス(Bioinformatics)が必要不可欠となっている。

本稿では、ヒトゲノム研究を中心とするバイオインフォマティクスの概要を説明し、この分野の課題を述べる。

### 2.2 バイオインフォマティクスの定義

バイオインフォマティクスは、生命科学に情報科学的な視点や概念を導入した研究分野であるが、近年、この用語の意味する範囲は広がってきている。

東京大学医科学研究所の高木利久教授は、バイオインフォマティクスを以下のように定義づけている。

調べるべき、あるいは、実験で確かめるべき膨大な探索空間(例えば、遺伝子やタンパク質の数、あるいは、それらの相互作用の組合せ、など)を狭めてくれる情報技術およびそのための基礎理論

米国では、国立衛生研究所(NIH)の生物医学情報科学技術イニシアチブ(BISTI)コンソーシアムが、バイオインフォマティクスとコンピューショナルバイオロジー(Computational Biology)という用語を使い分けて定義している。

バイオインフォマティクス:

生物学、医学、行動学、健康に関するデータの取得、蓄積、体系化、データベース化(archive)、解析及び可視化を含めた展開のためのコンピュータツール及びアプローチの研究、開発または応用

コンピューショナルバイオロジー:

生物学、行動学及び社会システムの研究に関するデータ解析手法、理論的手法、数学的モデリング技術及びコンピューターシミュレーション技術の開発及び応用

両者とも本質的な概念は同様であり、NIHでは当面の課題を具体的に表しているものと言える。本稿では、NIHの定義するバイオインフォマティクスの事項を中心に述べる。

### 2.3 バイオインフォマティクスの位置づけと分類

#### 2.3.1 バイオインフォマティクスの位置づけ

バイオインフォマティクスは、主にゲノム解析を活用したライフサイエンス分野の研究を支える基盤技術の一つとして重要な役割を担っている(図表1)。

#### 2.3.2 ポストゲノム研究におけるバイオインフォマティクスの分類

図表2には、ポストゲノム研究の方向性と、それに対応するバイオインフォマティクスのデータベースおよびデータ解析手法を示した。ポストゲノム研究は、「構造の世界」の研究から「関係性の世界」の研究へ移行してきており、さらに、生命のシステム的な理解を目指して、細胞や個体の機能(「機能の世界」)の研究を志向している。

「構造の世界」には、DNA塩基配列やタンパク質立体構造などの解析が分類される。この解析で一般的に用いられるデータ解析手法の一つに、ホモロジー(相同性)検索がある。これは、配列を比較し、そのホ

モロジーから遺伝子の構造や機能などの知識を抽出する方法である。この他にも、遺伝子配列に観察される統計的な特徴から遺伝子の位置を推定する手法などが開発されてきている。

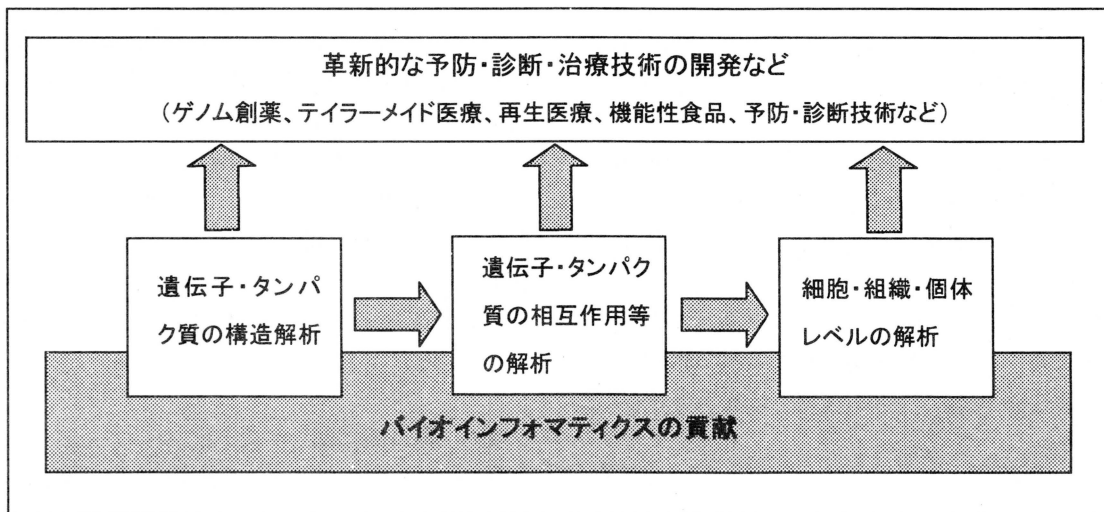
「関係性の世界」には、遺伝子のスイッチのオン・オフを見る遺伝子発現解析や、タンパク質間などの相互作用を見る分子間相互作用解析などが分類される。ここでは、種々の条件下における遺伝子発現情報による遺伝子分類や、アミノ酸配列から予測されるタンパク質の物理化学性を基に細胞内でのタンパク質の挙動を予測する細胞内局在位置予測といった解

析が行われている。

「機能の世界」には、細胞間でのシグナル伝達や個体発生のメカニズムなどの解析が分類される。ここでの有効なデータ解析手法は、ほんの一部を除いてまだ開発されていない。

現在は、「構造の世界」の研究開発に関しては、重点的に公的資金が投入され、整備が進められている。しかし、「関係性の世界」や「機能の世界」、とくに「機能の世界」におけるデータベース整備や、データ解析手法への大規模な取組はまだほとんど手つかずの段階であり、今後の戦略的な推進方策が必要である。

図表 1 ライフサイエンス分野におけるバイオインフォマティクスの位置づけ



(科学技術動向研究センター作成)

図表 2 ポストゲノム研究におけるバイオインフォマティクスの分類

	研究概要	データベース	データ解析手法	
構造の世界	配列 立体構造	DNA 塩基配列、遺伝子多型、 タンパク質アミノ酸配列、 タンパク質立体構造 など	ホモロジー(相同性)検索、 遺伝子発見、モチーフ抽出、 タンパク質立体構造予測 など	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">                     進行中 研究開発が                 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; background-color: #e0e0e0;">                     今後の戦略的な 推進が必要                 </div>
関係性の世界	発現 局在 相互作用	遺伝子発現情報、分子間相互作用、 プロテオーム など	細胞内局在位置予測、分子間相互作用予測、 遺伝子発現クラスタリング など	
機能の世界	細胞機能 個体機能	シグナル伝達、発生・生理機能、 免疫機能、脳機能 など	パスウェイ比較、計算機シミュレーション など	

(東京大学医科学研究所高木利久教授の資料をもとに科学技術動向研究センターで作成)

## 2.4 バイオインフォマティクスの現状

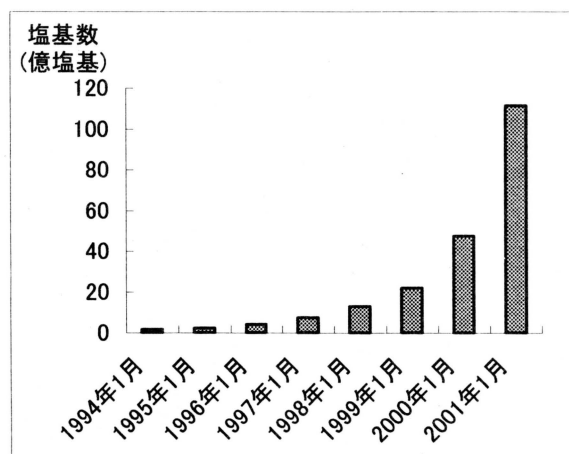
### 2.4.1 データベース

#### (1) データ量の増加

解読された DNA 塩基配列などは、公共データベースである GenBank(米)、EMBL(欧)、DDBJ(日本 DNA データバンク: DNA Data Bank of Japan)のいずれかに登録することになっている。三者のデータベースは相互にデータのやり取りを行っているため、データ内容はほぼ同じになっている。近年、mRNA の部分配列 (EST) が多数登録されたことや、各種生物の DNA 塩基配列が次々と明らかにされたことを反映して、ここ数年のデータ量の増加は著しく、2001 年 1 月には約 111 億塩基、2001 年 10 月には約 141 億塩基の配列が登録されている(図表 3)。

データ構築の際には、単に塩基の文字列を羅列するだけでなく、遺伝子領域の位置やその構造や機能、またその遺伝子に関連する文献など、解析の結果分かった事項の注釈づけ(アノテーション)を行い、それらの情報も併せてデータベースに収録している。今後は、ここに示した配列データ量が増加することに加えて、配列データのアノテーションを質、量ともに充実させることが重要である。

図表 3 DDBJ に登録されている塩基数の推移



(DDBJのデータをもとに科学技術動向研究センターで作成)

また、様々な条件の組合せによる遺伝子発現や分子間相互作用のデータなどが加わることにより、データは複雑化してくる。従って、情報システムのハード面では、常に高速化やディスク容量の増加が必要になる。また、研究者によるアノテーションの更新により、高品質なデータを蓄積していくことも重要な課題である。

#### (2) データベースの例

図表 4 には、ゲノム研究等で利用される代表的なデータベースを示した。一般に、タンパク質に比べて DNAの方が精製しやすく、DNAシーケンサーを用いることにより配列を比較的容易に決定できることから、DNA 塩基配列のデータベースが最も規模の大きいものになっている。DNA 塩基配列の公共データベースには、(1)で述べたデータベースのほか、ヒト遺伝子の DNA 塩基配列や一塩基多型 (SNPs) のデータベースなどがある。

また、タンパク質のアミノ酸配列、機能を予測するために有用なモチーフ配列、立体構造のデータベースなどがある。このようなデータベースは世界に約 400 種類あると言われている。なお、Nucleic Acids Research 誌の毎年 1 月 1 日号が、各種データベースの特集号になっている。

また、我が国に関して言えば、パスウェイデータベースなどいくつかのデータベースを除いて、外国からも頻繁にアクセスされるデータベースは数少ないと言われている。ポストゲノム研究において我が国が主導権をとっていくためには、ある程度の規模と独自の内容をもつデータベースを構築して、我が国から世界に情報を発信していくことが必要であろう。



図表 4 データベースの例

データベースの 主な内容	データベース名称 (運用国)	データベースの主な内容	データベース名称 (運用国)
DNA 塩基配列	GenBank(米)、 EMBL(欧)、 DDBJ(日)	アミノ酸配列	SWISS-PROT (欧)、 PIR(米)
ヒト遺伝子の DNA 塩基配列	UniGene(米)	アミノ酸配列 ドメイン	Pfam(欧)
一塩基多型	dbSNP(米)、 JSNP(日)	アミノ酸配列 モチーフ	PROSITE(欧)、 BLOCKS(米)
遺伝病	OMIM(米)、 Mutation Database(欧)	タンパク質 立体構造	PDB(米)、SCOP (欧)、 CATH(欧)
総合的なヒトの配 列情報	HGREP(日)、 Ensembl(欧)	パスウェイ	KEGG/PATHWAY (日)
ヒトの総合情報	LocusLink/Refseq(米)、 GDB(カナダ)	文献	MEDLINE(米)

(科学技術動向研究センター作成)

### (3) データベースの統合化

バイオインフォマティクスを用いた解析では、一種類のデータベースだけを用いることは少なく、様々なデータベースや検索システム

を組み合わせて行われる。そのため、各種データベースや検索ソフトウェアを Web 上でリンク付けさせることによって統合化したシステムが構築されてきている。代表的なデータベース総合検索システムの例を図表 5 に示した。

データベースの統合化に関する課題としては、データベースのデータ表示方式や検索条件の記述方式などの標準化や統一が図られていないことが挙げられる。そのため、研究対象ごとに特有な概念や用語を使うのではなく、統制された語彙や記述方法による体系的な理論(オントロジー)の構築の重要性も指摘されている。

例えば米国では、INCOGEN や Oracle など 40 以上のバイオ企業および情報系企業等から成る Interoperable Informatics Infrastructure Consortium(I3C)が発足し(2001 年 1 月)、ライフサイエンス分野におけるデータ交換・管理等における標準化を推進する活動に取り組み始めている。I3C では、XML によるデータ記述や、通信プロトコルを標準化する

ることなどを検討している。

図表 5 データベース総合検索システムの例

データベース総合 検索システム	サービス提供機関
DBGET(日)	京都大学化学研究所、東京大学医学研究所
Entrez(米)	米国国立バイオテクノロジー情報センター(NCBI)
SRS(欧)	欧州分子生物学研究所 (EMBL)

(科学技術動向研究センター作成)

### 2.4.2 ハードウェア

2.4.1.(1)で述べたように、バイオインフォマティクスでは急速なデータ量の増加などから、ハイパフォーマンスコンピュータ(スーパーコンピュータ)を基盤にした高度な情報システム構築の必要性が高まっている。

ゲノム解析に必要とされるコンピュータの性能は、図表 6 のように試算されている。また、生命系のような複雑な系を記述し、シミュレーションする技術などの展開も含めると、少なくとも数千台から 1 万台程度のプロ

セッサからなる並列機で、数十 Tera flops から数百 Tera flops が必要とされている(「ゲノム情報科学における我が国の戦略について」(2000年11月、科学技術会議ライフサイエンス部会ゲノム科学委員会))。

一方、2001年11月に発表された世界中のハイパフォーマンスコンピュータのランク付けTOP500において第一位である ASCI white は、ピーク性能 12.3Tera flops である。

またバイオインフォマティクスでは、並列処理アルゴリズムや並列コンピュータの開発が進められているが、その一方で、ハイパフォーマンスコンピュータ上で動作するアプリケーションの並列化が難しいことなど、ソフト面の対応が後れていると言われている。(注:flopsは1秒間に浮動小数点計算を何回行えるかという、計算機の演算性能指標の一つ。Tera=10<sup>12</sup>)

図表 6 主なゲノム解析に必要とされるコンピュータ性能

ゲノム解析	性能(flops)
タンパク質ファミリー分類	1 Tera
系統発生図	10 Tera
シーケンスアセンブリ	10 <sup>2</sup> Tera
シーケンス比較	>10 <sup>2</sup> Tera
遺伝子モデリング	10 <sup>5</sup> Tera

(米国 DOE の科学シミュレーションイニシアチブ (SSI:Scientific Simulation Initiative)レポート「Advanced Computational Structural Genomics」の 2000 年のデータをもとに科学技術動向研究センターで作成)

### 2.4.3 データ解析手法とソフトウェア

データベースから目的とする知識を発見するデータ解析手法とそれを実行するソフトウェアの例を図表 7 に示した。

図表 7 主なデータ解析手法とソフトウェア

解析手法	解析の概要とソフトウェアの例
ホモロジー検索	配列を比較し、そのホモロジー(相同性)から知識を抽出する方法で、最も一般的に行われている解析方法。BLAST、FASTA、Smith-Waterman などのほか、弱い相同性をも抽出する感度の高いプログラムである PSI-BLAST や SAMT99 などがある。
遺伝子発見	遺伝子配列に観察される統計的な特徴に着目した推定方法。ホモロジー検索では発見できない未知の遺伝子配列を抽出する方法で、GENSCAN や DIGIT などがある。
モチーフ抽出	DNA 結合部位や酵素活性中心などの機能部位がもつ特徴的な短い配列(モチーフ)を見つけた方法。アミノ酸配列のモチーフを集めた PROSITE などのデータベースに対して配列を比較する手法などがとられている。
細胞内局在位置予測	アミノ酸の疎水性指標や電荷などの物理化学性や局在化シグナルなどの配列を基に、タンパク質が生合成された後、細胞内のどこへ行くかを予測する。シグナル配列の位置を予測する SignalP、局在位置を予測する PSORT、膜貫通領域を予測する SOSUI、TMHMM などがある。
タンパク質立体構造予測	配列の相同性からタンパク質の立体構造を予測するホモロジーモデリングとして、Swiss-Model、MODELLER などがある。また、立体構造の比較から類似性をみる DALI、MODBASE などがある。

(実験医学「ゲノム医科学と基礎からのバイオインフォマティクス(Vol.19 No.11(増刊)P.61~66、P.73~81)」を参照し、科学技術動向研究センターで作成)

## 2.4.4 バイオインフォマティクスの産業化

近年、先進国を中心にバイオベンチャー企業の活動が盛んであり、2000年には、我が国に約160社、米国に約1,300社、欧州に約700社のバイオベンチャー企業が存在する。

バイオインフォマティクス分野では、既存のツールやデータベースを利用者向けにカスタマイズしたデータベース、ソフトウェア等を提供するバイオベンチャー企業などが活躍している。ゲノム情報を用いた実際の研究開発では、公表されている公共データベースやソフトウェアだけでは不十分であり、高度なセキュリティ、解析スピードの高速化、研究内容に即したデータ管理システムや検索支援システムなどが要求されるためである。欧米の主なバイオインフォマティクス関連のバイオベンチャー企業を図表8に示した。

図表 8 欧米の主なバイオインフォマティクス関連ベンチャー企業

会社名	主な事業内容
Incyte Genomics(米)	cDNA データベース、遺伝子発現(DNA チップ)など
Human Genome Sciences(米)	分泌タンパク質、膜タンパク質データベース、遺伝子薬開発など
Celera Genomics(米)	ゲノムデータベース(ヒト、マウス、ショウジョウバエ)、プロテオーム、SNP など
Gene Logic(米)	遺伝子発現データベースなど
CuraGen(米)	遺伝子発現データベース、SNP データベースなど
Genset(仏)	SNP データベースを用いた疾患解析など
deCODE genetics(アイスランド)	臨床データベース、家系データベース、多型性データベースなど

(「ゲノム医学の最先端と世界のバイオベンチャー『ゲノム情報系ベンチャー(p.96~102)』羊土社(2001年)」をもとに科学技術動向研究センターで作成)

## 2.5 バイオインフォマティクス推進への取組

### 2.5.1 政策的な取組

近年、バイオインフォマティクスは、ゲノム研究の推進を図るために必要不可欠なものとして、世界各国で政策の重点化が図られている。我が国及び米国におけるバイオインフォマティクスの主な推進拠点を図表9に示した。そのほかにも、大学を拠点とした取組が活発に行われてきている。

我が国では、第2期科学技術基本計画(2001年3月、閣議決定)において、ライフサイエンス分野で重点的・戦略的に取り組む課題の一つとしてバイオインフォマティクスが挙げられている。「平成13年度科学技術の振興に関する重点指針」(2000年6月、科学技術会議政策委員会)でも、バイオインフォマティクスは重点化項目の一つとして挙げられ、2001年度予算では104億円が計上された。2001年度より、文部科学省では科学技術振興事業団にバイオインフォマティクス推進センター(東京都千代田区)を、経済産業省では生物情報解析研究センター(東京都江東区)及び生命情報科学研究センター(東京都江東区)を新たに発足させている。また、87社の民間企業が参画しているバイオ産業情報化コンソーシアム(JBiC)では、産学官連携のもと、バイオインフォマティクスの研究開発が進められている。

図表 9 日米におけるバイオインフォマティクス推進のための主な拠点

日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 文部科学省                             <ul style="list-style-type: none"> <li>— 国立遺伝学研究所生命情報・DDBJ 研究センター</li> <li>— 東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター</li> <li>— 京都大学化学研究所バイオインフォマティクスセンター</li> <li>— 理化学研究所ゲノム科学総合研究センター</li> <li>— 科学技術振興事業団バイオインフォマティクス推進センター</li> </ul> </li> <li>➤ 経済産業省                             <ul style="list-style-type: none"> <li>— 産業技術総合研究所・生命情報科学研究センター (CBRC)</li> <li>— 産業技術総合研究所・生物情報解析研究センター (JBIRC)</li> </ul> </li> </ul> <p style="text-align: right;">バイオ産業情報化コンソーシアム (JBIC)                      etc.</p>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 健康福祉省(DHHS)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>— 国立衛生研究所(NIH)                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>— 国立医学図書館(NLM)   <ul style="list-style-type: none"> <li>— 国立バイオテクノロジー情報センター(NCBI)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>— 国立バイオメディカルイメージング・バイオエンジニアリング研究所(NIBIB)</li> <li>— 国立一般医学研究所(NIGMS)                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>— バイオインフォマティクス・コンピューショナルバイオロジーセンター(CBCB)</li> </ul> </li> <li>— 国立ヒトゲノム研究センター(NHGRI)</li> <li>— 生物医学情報科学技術イニシアチブ(BISTI)コンソーシアム</li> </ul> </li> <li>➤ エネルギー省(DOE)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>— 生物・環境研究局(BER)</li> </ul> </li> <li>➤ 全米科学財団(NSF)    etc.</li> </ul>

(科学技術動向研究センター作成)

米国では、国立衛生研究所(NIH)を中心に早期よりバイオインフォマティクスの推進が活発に行われている。米国のバイオインフォマティクスの中核を担うNCBIをもつNLMの2001年度予算は約2億4,600万ドル(約290億円)である。また、2001年にはバイオインフォマティクス研究を助成する機関として、バイオインフォマティクス・コンピューショナルバイオロジーセンター(CBCB)が新設され、初年度は約1,000万ドル(約12億円)を大学などに助成することとしている。そのほか、エネルギー省(DOE)、全米科学財団(NSF)、国防総省高等研究計画局(DARPA)などにおいてもバイオインフォマティクス分野の研究推進が取り組まれている。

欧州では、欧州分子生物研究所(EMBL)及びその中の機関の一つである欧州バイオインフォマティクス研究所(EBI)、さらにサンガーセンター(英国)などを中心に推進が図られている。2000年の欧州における公的なバイオインフォマティクス予算は、1億ユーロ(約100

億円)であり、その内 EBI には 1,000 万ユーロ(約 10 億円)が投資されている。

### 2.5.2 人材育成への取組

近年のライフサイエンス分野の研究では、保有するバイオインフォマティクスツールの品質・性能や、それを使いこなすテクニックが、研究開発の進展に大きく関係する。そのため、ツールを使いこなせる人材や、より優れたアルゴリズムやソフトウェアを開発できる人材等の需要が急速に高まっている。しかし、この分野は新興分野であることから、十分な人材が確保できておらず、各国とも人材育成の対策が重要課題となっている。

「ゲノム情報科学における我が国の戦略について」(2000年11月、科学技術会議ライフサイエンス部会ゲノム科学委員会)では、当面の人材育成について必要とされる事項を以下のようにまとめている。

- ① 即戦力の養成:既存の人材を活用するための研修・訓練プログラムの開発、訓練の機会及びインセンティブの提供
- ② 中長期的な人材の育成:大学院の専攻や学部の学科の整備等、研究交流・試行錯誤の「場」としての拠点形成

①に関しては、例えば、2001年度より科学技術振興事業団のバイオインフォマティクス推進センターでは、東京大学医科学研究所と共同で、実践的な研修プログラムである「ゲノムリテラシー講座」に取り組み始めた。ここでは、研究者を対象に、データベースや解析ソフトウェアの利用法を習得するためのプログラムを開催している。

また②に関しては、2001年度の科学技術振興調整費により、バイオインフォマティクスの人材育成事業が始められ、4つのテーマが採択された。これにより、例えば慶應義塾大学では、理工学部生命情報学科を新設する「システム生物学者育成プログラム」を開始した。本プログラムでは、学部教育で、化学、物理・情報、数学を基礎におき、生物を理解する方法としての実験と計算機科学を修得させる。そして、製薬会社やコンピュータ会社、コンサルティング会社などの産業界へ、年間40名程度の学部卒業生、25名程度の修士学位取得者を供給することなどを目標としている。

米国においても人材育成は重要課題として取り組まれている。NIHの研究機関において、人材育成への取組を行っている主な機関には、フォガティ国際研究所(FII)、国立がん研究所(NCI)、国立老化研究所(NIA)、国立一般医学研究所(NIGMI)、国立医学図書館(NLM)、国立ヒトゲノム研究センター(NHGRI)などがある。その中で、例えばNLMでは、エール大学やコロンビア大学など12の人材育成プログラムに助成金を出資している。

## 2.6 おわりに

バイオインフォマティクスは、ライフサイエンス分野の研究を支える基盤技術であると同時に、異分野融合型の生命科学を担う新しい領域として捉えられる。

現在、DNA塩基配列やタンパク質立体構造を解析するためのデータベースやデータ解析手法の整備が進行中である。今後は、細胞機能や個体機能の研究

に求められる、データベースやデータ解析手法の研究開発を戦略的に推進していく必要がある。

データベースは全ての解析のもととなるため、データには常に高い品質が求められる。アノテーションなどのデータ更新等、適切なデータベース管理を維持していくことが重要である。また、効率的なデータベース検索やデータ解析には、データベースの統合化などの取組も必要である。

ハード面については、現在の最高性能のハイパフォーマンスコンピュータでも、種々のゲノム解析に必要とされる性能には足りない状況であり、さらに性能を向上させることが望まれる。また、ハイパフォーマンスコンピュータ上で動作するアプリケーションの並列化などソフトウェアでの対応も望まれる。

我が国では、バイオインフォマティクス推進のための拠点形成や人材育成のためのプログラムなどに関する取組はまだ始められたばかりである。今後の生命科学におけるバイオインフォマティクスの重要性を考慮すると、継続的な施策がより一層望まれる。

### 【謝辞】

本稿をまとめるにあたり、東京大学医科学研究所の高木利久教授には、ご指導いただくとともに、関連資料を提供していただきました。文末にはなりますが、ここに深甚な感謝の意を表します。



### 3. 特集：バイオエネルギー利用の動向と展望

環境・エネルギーユニット 大森 良太  
 ライフサイエンス・医療ユニット 長谷川 明宏  
 環境・エネルギーユニット 根本 正博

#### 3.1 はじめに

今日、われわれは地球規模のエネルギー・環境問題に直面しており、エネルギー (Energy)、環境 (Environment)、経済成長 (Economy) の三つをいかに充足していくか、すなわち 3E 問題の克服が要請されている。

特に地球温暖化対策については、種々の経済的・技術的オプションが提案されているものの、個々の効果はいずれも限定的であり、費用対効果を考慮しつつ、それらを適切に組み合わせて対処していかざるを得ないのが現状である。わが国としても的確かつ柔軟な政策遂行の基盤を確保するため、多様な地球温暖化対策技術の研究開発を推進していく必要がある。

本稿ではこのような地球温暖化対策オプションの一つでもあるバイオエネルギー利用を取り上げる。最近、バイオエネルギーに対する関心は急速に高まっており、政府内でもバイオエネルギーを「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」(平成9年3月施行。以下「新エネ法」という)に基づく導入支援措置の対象とするよう所要の規定の整備を検討している。

わが国では、オイルショック後、バイオエネルギー利用が活発に研究されたが、石油価格の低落傾向が続く中で関心が薄れていった経緯がある。バイオエネルギーも他の新エネルギー同様、エネルギーセキュリティや環境保全等の外部性を重視する社会において大きな寄与をするものである。

#### 3.2 バイオマスとバイオエネルギー

##### 3.2.1 バイオエネルギーとは

植物は太陽からの光エネルギーを利用し、水と炭酸ガスから炭水化物を生成する(光合成)。この炭水化物の化学的エネルギーこそバイオエネルギーの源である。植物が捕食されたり、様々な製品の材料として用いられていく連鎖の過程で、このエネルギーは、様々な農産物や工業製品、さらには農業廃棄物、家畜の排泄物、廃材、生ゴミなどの中へと転移していく。

このような、植物起源の有機資源をバイオマスと呼び、これらを利用するエネルギーがバイオエネルギーである。ただし、食料、木材、肥料など、エネルギーとしての利用が現実的でないものは、狭義のバイオマスには含まれない。

##### 3.2.2 バイオマスの分類

図表1にバイオエネルギー源としてのバイオマスの分類を示す。バイオマスは、生産資源系(エネルギープランテーション系)バイオマスと未利用資源系(残渣系)バイオマスに分けられる。生産資源系バイオマスは主にエネルギー利用を目的として栽培する植物である。ブラジルで自動車燃料用エタノールの原料として栽培されるさとうきびはその典型である。一方、未利用資源系バイオマスは、農林水産業における未利用資源や加工残渣、都市ごみ中のバイオマスなどである。

図表1 バイオマスの分類

分類項目		バイオマス資源例
生産資源系	陸域系	サトウキビ、てんさい、トウモロコシ、ナタネ等
	水域系	海藻類、微生物等
未利用資源系	農産系	稲わら、もみがら、麦わら、バガス*、野菜くず等
	畜産系	家畜糞尿、屠場残渣等
	林産系	林地残材、工場残廃材、建築廃材等
	水産系	水産加工残渣等
	都市廃棄物系	家庭ごみ、下水汚泥等

\*バガス:さとうきびの絞りかす

未利用資源系バイオマスをエネルギー利用する場合には、エネルギーの発生に加え、廃棄物処分、環境保全などの効用が生じる。一方、生産資源系バイオマスの利用に関しては、他の土地利用形態との競合を考慮する必要がある。

### 3.2.3 再生可能エネルギーとしてのバイオエネルギー

世界の陸地のバイオマス存在量(ストック)は乾燥重量にして約 1.2-2.4 兆トン[1]、エネルギー換算で約 24,000-48,000EJ(エクサジュール:1EJ=10<sup>18</sup>J)と評価されている。その大部分は陸上の樹木であり、海洋のバイオマス存在量はその 300 分の 1 程度に過ぎない[2]。

一方、毎年**のバイオマスの純一次生産量(フロー)は 1289 億トンと見積もられている [3]。これをエネルギー換算すると約 2580EJ/年となり、世界の年間一次エネルギー消費の 7-8 倍に相当する。この毎年再生産される量の範囲でバイオマス資源を持続可能に利用する限りにおいて、バイオエネルギーは再生可能エネルギーとみなすことができる。無秩序な森林資源の利用、森林破壊などはバイオマスストックを減らしてしまう。**

勿論、技術的あるいは経済的な面から実際に利用可能なバイオマス資源は極めて限定される上、エネルギー利用以外の用途との競合もある。むしろ、食料、木材、紙など他の用途に用いた方が付加価値が高いのが通常である。実際に利用可能なバイオマス資源量の評価は第7章で述べる。

## 3.3 地球温暖化防止とバイオエネルギー

バイオエネルギーが地球温暖化対策オプションとして注目されている根拠は、それがネットで二酸化炭素を排出しない、すなわちカーボンニュートラルなエネルギー源である点にある。

勿論、バイオマスをエネルギー利用する際、例えば燃焼する際には二酸化炭素が発生するが、その量はそのバイオマスの起源である植物が成長する過程で大気中から固定した二酸化炭素の量に等しい。つまり、ネットで二酸化炭素排出はゼロである。これはバイオマス資源をエタノール、メタノール、バイオディーゼルなどの液体燃料として用いる場合でも本質的に同じである[4]。

また、バイオマスをエネルギー利用しないとしても、いずれは土壌の微生物の作用により、二酸化炭素と

水に分解されてしまうので、エネルギーとして利用した場合と二酸化炭素排出量は同じである。

以上の点で、地下に固定された二酸化炭素を一方向的に大気中に放出する化石資源の利用とは異なり、バイオエネルギーは他の自然エネルギーと同様、クリーンなエネルギー源といえることができる。本年公表された IPCC 地球温暖化第 3 次レポート[5]においても、地球温暖化への対策オプションとしてバイオエネルギー導入の有効性が明記されている。

## 3.4 わが国の動向

### 3.4.1 新エネ法上の位置付け

バイオエネルギーの法律上の位置付けについて概観する。新エネ法第二条において「新エネルギーの利用等」が規定されている。「新エネルギーの利用等」の具体的な内容は、同法施行令において太陽光発電や風力発電など 12 項目が定義されており(令第一条)、バイオエネルギーに関しては、「廃棄物発電」や「廃棄物熱利用」を示す項目に一部含まれるものと考えられるが、「バイオエネルギー利用」を明示的に示す規定ぶりにはなっていない。

今年 6 月、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会がとりまとめた報告書 [7]では、この点が取り上げられ、「バイオマスのエネルギー利用は、現在、新エネルギーとして明確に位置付けられておらず、また、国等による支援策が明示的に設定されていない状況にある」とした上で「バイオマスのエネルギー利用について、新エネ法上の新エネルギーとして明確に位置付け、積極的に導入促進を図っていくことが適当である」と書かれている(同報告書「Ⅲ.新エネルギーの対象範囲の見直し」)。

これを受けて、現在、バイオエネルギーを新エネ法の対象とすべく所要の規定の整備が進められている。具体的には、バイオエネルギーの利用等を行おうとする事業者のうち、主務大臣の認定を受けた者(以下「認定事業者」という)については、新エネ法に基づく支援策である NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)による債務保証や中小企業投資育成株式会社法の特例適用(中小企業投資育成株式会社による認定事業者の株式・転換社債の引受け等)を行おうとするものである。

### 3.4.2 バイオエネルギー導入状況

図表 2 にわが国の新エネルギー導入実績と見直し

[6]を示す。新エネルギー合計で一次エネルギー総供給の約1.2%を占めているが、その2/3は紙パルプ製造工程における黒液や廃材等の利用であり、これらもバイオエネルギーの利用に他ならない。

この黒液・廃材等の利用に比べて、バイオマス発電

の導入量は小さいが、太陽光発電量と同程度、風力発電量の約1.6倍となっている。また、2010年度の導入目標はバイオマス発電とバイオマス熱利用あわせて原油換算で約100万kl(新エネルギーの約5%)となっている。

図表2 新エネルギーのエネルギー供給実績と見通し

	1999 年度実績 (原油換算万 kl)	2010 年度見通し/目標(原油換算万 kl)	
		現行対策維持ケース	目標ケース
<b>(発電分野)</b>			
太陽光発電	5.3	62	118
風力発電	3.5	32	134
廃棄物発電	115	208	552
バイオマス発電	5.4	13	34
<b>(熱利用分野)</b>			
太陽熱利用	98	72	439
未利用エネルギー (雪氷冷熱を含む)	4.1	9.3	58
廃棄物熱利用	4.4	4.4	14
バイオマス熱利用	—	—	67
黒液・廃材等	457	479	494
新エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給 に対する割合)	693 (1.2%)	878 (1.4%)	1910 (3%程度)
一次エネルギー総供給	約 5.9 億 kl	約 6.2 億 kl	約 6.0 億 kl

(総合資源エネルギー調査会報告書[6]から引用)

### 3.4.3 導入インセンティブ

新エネ法に基づき、バイオエネルギーのうち廃棄物発電や廃棄物熱利用を行う認定事業者に対し、NEDO による債務保証(保証限度:対象債務の90%、保証料率:年0.2%、平成12年度年間保証限度額(保証枠):300億円)や、中小企業投資育成株式会社の特例適用(中小企業投資育成株式会社による認定事業者の株式・転換社債の引受け等)が行われている。

さらに、NEDOは認定事業者に対してバイオエネルギー導入に必要な経費に対する補助金の交付(補助率:対象経費の1/3、平成12年度事業費114.9億円)を実施しており、これまでもペーパースラッジや木くず等の廃棄物の燃焼熱を利用する事業者に対して当該補助金が交付されている。この他、バイオエネルギーの導入のための直接的な支援措置ではないもの

の、廃棄物発電等の導入のためのフィールドテスト事業を、NEDOと事業者が共同して実施してきている。

一方で、大手の電力会社等11社の出資により平成12年11月に設立された日本自然エネルギー株式会社では、風力などの自然エネルギーの利用を希望する企業等から発電を受託し、適切な自然エネルギー発電事業者を選定して建設・運営を再委託し、発電された電気を地元の電力会社を通じて供給する「グリーン電力証書システム」を設けている。これまで、この自然エネルギーによる発電実績は、社会的な認知度とコストの問題から、風力のみが対象とされ、約20社の企業に対して1社当たり年間100~450万キロワット時の契約を締結してきたが、今後は、バイオエネルギーについても対象に含め積極的に導入することを計画している。

さらに、総合資源エネルギー調査会新エネルギー

部会においては、バイオエネルギーを含む新エネルギーの導入促進に向けた「新たな市場拡大措置」として、RPS制度(renewable portfolio standard: 証書を用いた再生可能エネルギーの導入基準制度)の具体的なあり方についての検討が行われている。この制度は、新エネルギーによる発電実績に応じて政府が証書を事業者に発行し、電力会社等に対して一定量の証書保有を義務づけるものである。証書は市場を通じた売買が可能である。

### 3.5 海外の動向

#### 3.5.1 米国

##### (1) バイオエネルギー導入状況

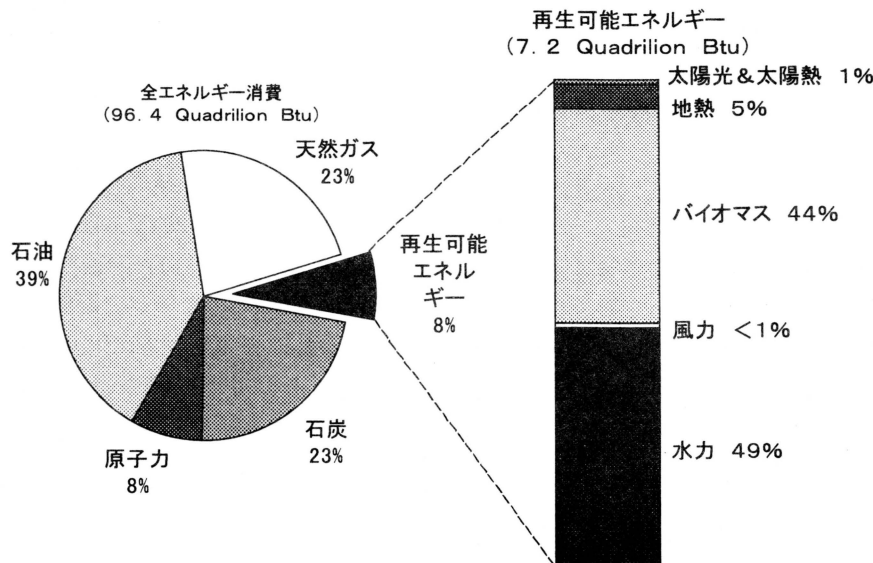
米国エネルギー省エネルギー情報局(DOE/EIA)のデータに基づき、米国のバイオエネルギー導入状況を概観する。図表3に示すように、再生可能エネルギー(水力を含む)は米国のエネルギー消費の8%を占めている。バイオエネルギーはその内の44%を占め、太陽エネルギーや風力に比べてかなり利用が進んでいる。ただし、電力以外の用途が大半を占め、全体の80%強は産業部門で消費されている。また、形態別では、木質系バイオマスが80%、都市廃棄物系バイオマスが17%となっている。

また、再生可能エネルギー源ごとの発電量で比較すると(1999年)、水力80%、バイオマス14%、地熱4%、風力1%となっている。バイオマス発電の大部分は非公益電気事業者(コージェネレーション等の小規模発電業者および独立系発電業者(IPP))によって行なわれており、1999年におけるバイオマス発電設備容量は1101万キロワットである。

米国では、主にとらもろこしを原料としたエタノールを10%程度ガソリンに添加した自動車燃料アルコールブレンドガソリン(ガソホールとも呼ばれる)の使用が普及し、中西部のいくつかの州では、全自動車燃料に占めるガソホールの割合が40%近くに達している。米国での自動車燃料用エタノール生産量は、1980年以降、年率平均12%のペースで伸び、1998年には14億ガロンに達している[7]。現在では、ガソリン消費の約1%をエタノールが代替している。

また、現在、改質ガソリンの添加剤として用いられているMTBE(メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル)による飲料水の汚染が深刻となっており、多くの州ではMTBEの添加の禁止を検討している。エタノールはMTBEの代替添加剤として最も有望視されており、近い将来需要が急増する可能性もある[8]。

図表3 米国の再生可能エネルギー導入状況(1999年)



(DOE/EIA のデータから作成)

## (2) 政府の取り組み

米国ではエネルギー省と農務省が中心となり、エネルギー安全保障、環境保護、農業振興の観点からバイオエネルギー利用を推進している。エネルギー省では、エネルギー生産の観点から、バイオ燃料関連 R&D プログラムとバイオ電力 R&D プログラムを推進している。農務省では農業の保護と振興の観点から、バイオマスの品種改良、バイオ燃料研究などに関するプロジェクトを推進している。

1999 年 8 月、クリントン大統領は大統領令 13134 号「バイオ製品・バイオエネルギーの発展と促進」を発令し、2010 年までにバイオエネルギー関連製品やバイオエネルギー消費を 3 倍にする方針を打ち出した。

具体的方策としては、①2000 年会計年度に政府全体で約 2 億 4 千万ドルの研究投資を行うこと、②民間と連携して自動車燃料用エタノールを増産すること、③エネルギー省、農務省、商務省、環境保護庁、商務省、国務省などにまたがるバイオエネルギーの推進戦略を策定する省庁横断型の推進委員会の設立等を提唱している。この計画により、2010 年には年間約 1 億トンの温室効果ガス排出と 40 億バレルの原油輸入の削減が見込まれる他、農村地域に 150-200 億ドルの新規所得が生じるとしている。

ただし、この大統領令に関しては、大統領選挙を控え、農村部の支持を取り付ける政治的思惑が強く働いたとも指摘されている。本年 6 月にブッシュ政権が出した国家エネルギー政策[8]では、化石資源から自然エネルギーへの転換よりも、むしろ、国内の化石資源の供給力増大に力点が置かれている感がある(科学技術動向 2001 年 6 月号特集)。

### 3.5.2 EU

#### (1) バイオエネルギー導入状況

図表 4 に示すように、EU 内の一次エネルギーに占める再生可能エネルギー(水力を含む)の割合は 5.9%であり、その内の約 6 割をバイオエネルギーが占めている。国別では、オーストリア、フィンランド、スウェーデンで一次エネルギーに占めるバイオエネルギーの割合が 10%を超えている。一方、イギリス、ドイツ、フランスなどエネルギー消費の大きい国では、総エネルギーに占めるバイオエネルギーの割合は低い値にとどまっている。

バイオエネルギーは熱利用される割合が大きいため、他の再生可能エネルギーに比べて、電力生産に用いられる割合が小さい。それでも、バイオエネルギーに

よる発電は EU 全体の電力生産量の 1.4%を占め(フィンランドで 12.0%、デンマークで 4.5%、オランダで 3.3%)、これは風力発電の 0.6%、地熱発電の 0.2%に比べて大きな値である。なお、太陽光発電はほとんどゼロである。

EU でバイオエネルギーの普及が進んでいる背景としては、環境問題への関心の高いこと、暖房用熱需要が大きいこと、また、多くの国で配電業者に対するグリーン電力購入義務制度が導入されていたり、再生可能エネルギーの導入に対して様々な免税措置や補助金が用意されていることがあげられる。林業が盛んな北欧諸国では、製材所で生じる木材チップや林地残材などの木質系バイオマスを原料とした地域熱供給システムやコジェネレーションシステムの導入が進んでいる。スウェーデンにおけるバイオエネルギーの普及には炭素税(バイオエネルギーは免税)が大きな役割を果たしており、図表 5 に示すようにバイオマス燃料のコストが重油を下回っている[9]。

#### (2) 欧州委員会の取り組み

1997 年 11 月、欧州委員会は欧州共同体の戦略と行動計画に関する白書「エネルギーの将来:再生資源エネルギー」[10]を発表した。本白書の行動計画は域内市場施策、EU としての政策の強化、加盟国間の連携強化、支援施策の 4 項目からなっており、EU 全体の一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギーのシェアを 2010 年に 12%に拡大する目標を掲げている。バイオエネルギーの導入量は 1995 年時点で 44.8 MTOE(MTOE:原油換算 100 万トン)であったが、2010 年には約 3 倍の 135 MTOE にすることを提案している。この拡大分の内訳は、バイオガス利用 15 MTOE、農業残渣や林業残渣の利用 30 MTOE、エネルギー作物 45 MTOE である。

1999 年にはこの白書の提言を実現するため「キックオフのためのキャンペーン」が開始され、バイオエネルギーに関しては 2003 年までに 100 万世帯でバイオエネルギーによる熱供給、発電出力 1000MW のバイオガスプラント建設、熱出力 10000MWth のバイオエネルギーによる電熱併給システムの設置という具体的目標を掲げている。また、バイオエネルギー開発・導入支援プログラムとしては、R&D に関して ENERGIE プログラム(1999-2002)、法律、行政、市場などの環境整備や投資支援の推進などに関して ALTENER II プロジェクト(1998-2002)が実施されている。ALTENER II プロジェクトの予算は 1998-1999 で 2200 万 ECU となっている。

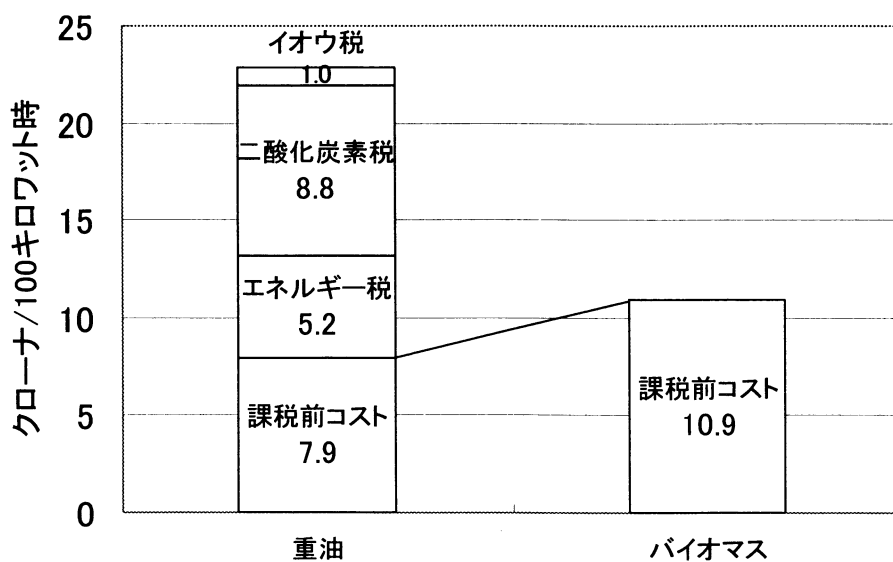


図表4 EU 諸国の一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合(1999年)

	バイオマス(%)	風力(%)	地熱(%)	太陽(%)	水力(%)	計(%)
フィンランド	19.0	0.0	-	0.0	3.4	22.3
スウェーデン	14.5	0.0	-	0.0	12.3	26.8
オーストリア	10.9	0.0	0.0	0.4	12.3	23.2
デンマーク	7.8	1.4	0.0	0.0	0.0	9.3
フランス	4.5	0.0	0.0	0.0	2.5	7.0
イタリア	3.9	0.0	1.6	0.0	2.2	7.8
スペイン	3.3	0.2	0.0	0.0	1.7	5.2
オランダ	2.0	0.1	-	0.0	0.0	2.0
ドイツ	1.9	0.1	0.0	0.0	0.5	2.6
イギリス	0.9	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1
EU 全体	3.7	0.1	0.2	0.0	1.8	5.9

(Eurostat のデータより作成)

図表5 スウェーデンにおける重油とバイオマスの燃料コストの比較



(文献[9]より転載、1クローナ=約12円)

### 3.5.3 その他の諸国

ブラジルは国際市場の砂糖価格安定と石油輸入量低減による外貨節約を目的として、さとうきびからのエタノール生産とエタノール車の普及を国策主導で推進してきた。また、さとうきびの絞りかすであるバガスの工場用燃料としての使用も多い。1995年時点で、ブラジルの全自動車の内、エタノール車(含水エタノールのみで走行)は42%を占め、残りは無水エタノールを22-24%混合したガソロールで走行している[11]。ただし、近年では石油価格の低落、アルコール生産の不安定性、嗜好の変化からエタノール車に対する需要は減少している。

アジアやアフリカの多くの途上国では薪が一次エネルギーの最大供給源となっている。このような薪の利用は非商業的エネルギー源として統計に表れないことが多いが、全世界の一次エネルギー消費の15%、特に途上国では38%が薪を主とするバイオエネルギーによるとする評価もある[12]。一般に、これらの途上国における薪利用のエネルギー効率は低く、また、森林破壊などの問題も生じている。

## 3.6 バイオエネルギー変換・利用技術の概要

バイオマスの形態は極めて多様であり、利用形態も発電、熱利用、液体燃料など様々である。バイオマスは化学物質であることから、これをメタノール、エタノール、バイオディーゼルなどの液体燃料に変換してガソリン代替燃料や燃料電池燃料として用いることができる。これは他の新エネルギーには見られない特性であり、輸送や貯蔵の面でも大きなメリットである。

バイオマスのエネルギー変換技術には、大きく分けて、熱化学的変換技術と生物化学的変換技術がある。本章では、それぞれについて代表的技術をいくつか取り上げる。

### 3.6.1 熱化学的変換技術

#### (1) 直接燃焼

最も一般的なバイオマス利用法であり、直接的な熱利用、さらにはこの熱を利用した発電がある。発電プラントの規模としては数MW-数十MW程度が普通である。北欧諸国では木材チップ、廃材、農業廃棄物などが主として用いられる。また、米国や一部のEU諸国では石炭火力発電所において、廃木材、木屑、麦わら、泥炭、都市ごみなどと石炭との混焼が行われている。

1999年、米国エネルギー省は2015年までに多様な原料から、電気や熱のみならず化学物質や輸送用燃料など多様な製品を生産し、かつ、環境負荷物質を発生しないプラントの実現を目指す計画、Vision21を発表した。このプラントに供給される原料として、石炭、天然ガス、石油、都市廃棄物の他に、バイオマスが想定されている(これらの原料を全てガス化した上でプラントに投入する)。このプラントでは環境負荷物質の削減をほとんどゼロにすることを目指している(炭酸ガス排出削減は高エネルギー効率の実現と分離・固定化技術の併用で実現)。

#### (2) ガス化経由の液体燃料合成

木材などのバイオマスを空気、酸素、水蒸気などをガス化材として加熱し、水素と一酸化炭素を主な組成とする混合ガス(バイオマスガス)を生成するプロセスである。いかに、タール成分等が少なく、望ましい組成のバイオガスを効率よく得るかがポイントとなり、固定床、流動床、噴流床などのガス化炉を用いたプロセスが多数考案されている。一旦、適切なバイオガスが得られれば、既存の手法により、これをメタノール、ジメチルエーテル、ガソリンなどの液体燃料に容易に変換することができる。[13]

#### (3) 熱分解・油化

熱分解は、バイオマスを乾燥・粉砕後、窒素などの不活性ガス雰囲気下で加熱することで、ガスやオイルを得る方法である。最近では、急速熱分解法が主流になっている。この方式では、可燃性気体や固体可燃物であるチャーの生成をできるだけ抑制して、オイル生成収率をあげるため、急速に加熱する。一方、含水率の高いバイオマスからのオイル生成には直接油化法が適している。これは、水素や一酸化炭素を必要とせずに、バイオマスを高温高压の条件下に置くだけでオイルに変換する技術であり、操作温度は熱分解プロセスよりも低い。反応装置は複雑になるが、高含水率バイオマスの場合には、熱分解プロセスに比べて、エネルギー効率が高くなる。[13]

#### (4) バイオディーゼル

菜種油、パームオイル、ひまわり油などの植物油を、エステル化反応等により粘性を低くした上で、ディーゼル燃料として用いるものである。バイオディーゼル油は通常のディーゼル油に比べ、排ガス中のパーティキュレート、高分子化合物、SO<sub>x</sub>、アセトアルデヒド

等が減少する。その反面、バイオディーゼルコストの約 3/4 は植物油の生成コストであり、ディーゼル油に比べて高コストである。[13]

### 3.6.2 生物化学的変換技術

#### (1) エタノール発酵

微生物を利用して糖を発酵させ、エタノールを生成する技術であり、古くから存在する。サトウキビなど糖質系のバイオマスの場合には糖を直接得ることができる。一方、木材などのリグノセルロース系バイオマスを原料とする場合には、発酵プロセスの前に加水分解等による糖化プロセスが必要になる。糖質系でない草や樹木の効率的な糖化プロセスの開発はバイオエネルギー利用の可能性を大きく拡大する技術であり、現在ではほぼ実用化のめどが立っている。また、キシロースなどグルコース以外の糖が混合している原液を効率的に発酵させる微生物酵母の開発も進められており、これには遺伝子組み換え技術の応用もなされている。

#### (2) メタン発酵

生ゴミ、家畜糞尿、農業廃棄物等を酸素の存在しない環境下で、嫌気性微生物により脂肪酸、アルコール、炭酸ガス、水素に分解し、さらに、メタン生成菌によりこれらからメタンを生成するプロセスであり、生成したメタンはメタンガス発電プラントの燃料に用いることができる。

なお、発酵方式には、①有機物を液中で発酵させる湿式、②水分調整した固形物を攪拌しながら発酵させる乾式とがあり、②については発酵処理を通じて生ゴミ等の体積・質量を大幅に減量できることから、廃棄物処理の手段として有効である。

ごみ処分場ではメタンの自然発生があり、米国ではこの回収・利用が進んでいる。畜産廃棄物や農業廃棄物を利用したメタン発酵はヨーロッパ諸国で環境汚染防止の観点から導入が進んでいる。わが国でも北海道の別海町や京都府の八木町などに家畜糞尿や食品廃棄物を原料とするバイオガスプラントが建設されている。また、わが国では食品リサイクル法(2001年6月施行)や家畜ふん尿管理・リサイクル法(1999年11月施行)が施行され、今後これらの廃棄物の適切な管理・処分が図られていくが、これに伴いこれらのバイオエネルギー原料としての有効利用にも弾みがつくものと期待される。

## 3.7 バイオエネルギーの資源ポテンシャル評価

### 3.7.1 わが国における資源ポテンシャル

我が国においては、国土面積約 3,700 万 ha のうち約 7 割(約 2,500 万 ha)がバイオマス資源に豊かな森林に覆われているほか、平野部を中心とした約 500 万 ha の農耕地では農業生産活動を通じたバイオマス生産が行われている。

京都大学大学院エネルギー科学研究科の坂志朗教授[11]によれば、我が国の森林や農耕地等におけるバイオマス資源の年間発生量は約 1 億 3,000 万 t 程度、さらに未利用・廃資源に由来するバイオマス資源の年間発生量約 2 億 4,000 万 t を加えた我が国のバイオマス資源の発生量の総量は、年間 3 億 7,000 万 t と推定されている。

また、こうしたバイオマス資源の発生量のうち、実際にエネルギーに変換し得る資源量については、バイオマスの利用形態や経済性の評価方法によって不確実性が大きいものの、同試算結果によれば、わが国のバイオマス発生量の約 2 割に相当する 7,700 万 t が利用可能と評価されている。これは、二酸化炭素に換算すると 1 億 2,700 万トンであり、量的に見ると、我が国の 1997 年の二酸化炭素総排出量 12 億 3,100 万トンの約 10% に相当する[11]。また、別の評価では実際的に利用が可能な未利用資源系バイオマス資源の利用によりわが国の一次エネルギーの約 4% が賄えるとされている[14]。

#### (1) 農業系バイオマス

我が国の農耕地においては、食料生産等の特定用途に充てることを目的として現に農産物の生産が行われていることから、バイオエネルギー生産に充てるため新たに農耕地を確保することは困難な状況にある。したがって、農業系バイオマスのうちエネルギー利用に供することが可能となるものは専ら稲わら、麦わら、籾殻等の農産物残渣であると評価されている。

前述の坂教授[11]によればこれらの農産物残渣の年間発生量約 1,962 万 t に対し約 4 割の 855 万 t が利用可能と試算されている。農産物残渣の平均発熱量に稲わらの発熱量 16.3MJ/dry-kg を用いると、この利用可能な農産物残渣のエネルギーポテンシャルは約 140PJ(ペタジュール: 1PJ=10<sup>15</sup>J)となり、日本の一次エネルギー供給量の約 0.6% に相当する。

なお、エネルギー生産に充てるため農耕地において植物を栽培することを想定した場合、その形態とし

ては、①エタノール等の液体燃料を得るために糖類の生産性が高いサトウキビ、トウモロコシ、スイートソルガム、イモ類等を栽培する方法、②セルロース等を含めたバイオマス生産能力が高いユーカリ等の早生樹やネピアグラス等の草本性植物を栽培する方法などが挙げられる。

特に、スイートソルガムについては、比較的寒冷地においても栽培が可能であり、エタノールへの変換利用が容易であることから、これまで国内の試験研究機関において栽培試験が実施されてきており、50t/ha程度の生茎収量が得られることが明らかとなっている[15]。

### (2) 畜産系バイオマス

畜産系バイオマスについては、ウシ、ブタ等の家畜、ニワトリ等の家禽からの排泄物によるものが我が国において利用可能なものであり、その発生総量は、9,500万トン（ふん 6,600万トン、尿 2,900万トン）に達すると試算（農林水産省推計値）されている。

これらの排泄物のうち、エネルギー資源として利用可能な比率としては、NEDOの調査報告[16]において、畜ふんの25%とされており、これをもとに利用可能な量を試算すれば、1,650万トンとなり、これをエネルギー換算（発熱量約 1000kcal/kg）すると約 69PJ となり、日本の一次エネルギー供給量の約 0.3%に相当する。

### (3) 林産系バイオマス

我が国における年間の森林資源の蓄積増加量は一般に 7,000 万 m<sup>3</sup> と評価されており、このうちバイオエネルギーとして利用可能な資源量は林地残材及び廃材等によるものが想定される。

平成 13 年 10 月に閣議決定された「森林・林業基本計画」には、図表 6 に示すように「林地残材・再利用材の見通し」が付されている。

これによれば、平成 22 年において、林地残材・廃材等の林産系バイオマスのエネルギー利用量は、2,000 万 m<sup>3</sup> とされている。これに木材の重量換算値 0.5t/m<sup>3</sup> を適用すれば、年間約 1,000 万 t が利用されるものと考えられる。木質系バイオマスの発熱量を 20MJ/kg とすると、このエネルギーポテンシャルは約 200PJ となり、日本の一次エネルギー供給量の約 0.8%に相当する。

図表 6 林地残材・再利用材の見通し

(単位:百万 m<sup>3</sup>)

		現状	平成 22 年
発生量	林地残材	10	10
	製材工場等廃材	15	13
	建設発生木材	16	32
	計	41	55
利用量	エネルギー利用	7	20
	原料その他	13	24
	計	20	44

(農林水産省 森林・林業基本計画による)

なお、実際の林業の現状について、例えば間伐材について見た場合、平成 11 年度の我が国の間伐面積は約 30 万 ha、これによる間伐材積は約 514 万 m<sup>3</sup> (林野庁による推計値)に上るものの、製材・丸太・チップ等原材料としては、伐出・運搬が容易な区域からその 4 割に相当する 212 万 m<sup>3</sup> を利用しているに留まっている。したがって、一般に低コストでの供給が求められるエネルギー原料として、こうした林地残材を新たに回収することは現状では困難と予想され、製材工場等の廃材や建設発生木材のエネルギー利用がまず進むものと考えられる。

### 3.7.2 グローバルな中長期的資源ポテンシャル

これまで見てきたように、バイオマス原料は極めて多様であり、また、その利用に当たっては、エネルギー利用以外の様々な用途と競合する。一般的に言えば、まず、食料、木材、肥料、紙、繊維などへの利用をまず考える必要があり、これらの需要を満たすことがバイオエネルギー利用の前提となる。それでは、21 世紀の人類社会においてどれだけのバイオエネルギーの利用が可能なのであろうか。

東京大学新領域創成科学研究科の山地憲治教授のグループはバイオマスバランス表を用いたわが国のバイオマスフローの解析、および、世界土地利用エネルギーモデル(GLUE モデル:Global Land Use and Energy Model)を用いた世界の余剰耕地でのエネルギーの供給可能量の評価を実施している[1][14]。

これによれば、世界全体の残渣系バイオマス発生量から技術的条件等を考慮し実際のバイオエネルギー供給可能量を評価すると、1990 年時点では 34.4EJ (燃料用木材消費約 20EJ は含まず)である。2050 年

においては、世界全体の残渣系バイオマスのエネルギー総量は 173EJ、余剰耕地によるエネルギー作物の供給可能量は 110EJ、合計で約 280EJ となり、現在の世界のエネルギー所要量の約 7割になるとしている。

なお、本解析においては、余剰耕地は全てエネルギー作物の栽培に用いると仮定している。また、エネルギー作物の供給可能量の評価においては途上国における食糧需給パラメータなどの設定により大きな不確実性が伴う反面、残渣系バイオマスは条件によらず安定的に大きな供給可能量を有するとしている。

また、IPCC 地球温暖化第 3 次レポート[5]では、2050 年におけるエネルギー作物の供給ポテンシャルを 396EJ、残渣系バイオマスとあわせて 441EJ と評価している。

### 3.8 バイオエネルギー導入に向けて

わが国は欧米諸国に比べて、バイオエネルギーの導入があまり進んでいなかったのが現状である。しかし、最近になり、産官学におけるバイオエネルギー利用に対する関心は急速に高まりつつあり、政府内でもバイオエネルギーを新エネ法に基づく導入支援措置の対象とするよう所要の規定の整備を検討している。わが国としても具体性のあるバイオエネルギー導入戦略を構築すべき時にきている。

従来から、バイオエネルギーの利用に関しては、経済性、特にバイオマス原料の収集・輸送コストが問題とされてきた。確かに、欧米諸国においてバイオエネルギーの導入が進んでいるのも、税制面での優遇措置、配電業者への新エネルギー電力購入義務、環境税といった政策的な支援が基盤にある。また、わが国は森林資源に恵まれているものの地形が急峻でありこれらの資源の利用が困難であること、農業や畜産業の経営規模が小さいこと、暖房用熱需要が少ないことなどがバイオエネルギー普及の障害として指摘されてきた。

いずれにしても、石油ショックのような異常事態を除けば、政策的措置を講ずることなく、バイオエネルギーのコストが化石資源エネルギーのそれを下回ることは当面は考えにくい。しかし、わが国も含め、多くの先進国では一次エネルギーの約 80%を化石資源に依存しており、このような化石資源依存型の社会から脱却する方向に向かおうとするのであれば、バイオエネルギーや他の新エネルギーの研究開発や利用に対して社会が適正なコストを負担していくことが必要である。

また、バイオエネルギー利用の本格的な普及にあたっては、民間事業者の参入が不可欠であり、収益性のあるビジネススキームの構築を可能とする政策的支援やその基盤となる研究の重点的推進も重要と考えられる。

3.7.1 節で述べたように、わが国において、実際的に利用が可能な未利用資源系バイオマス資源の利用に限っても、一次エネルギーの約 4%に相当するエネルギー供給力があるとの試算もあり、これは決して小さくない数字である。

また、バイオエネルギー利用には、廃棄物の処分や環境の保全といった効用があることも重要である。いずれにしても、バイオエネルギーの普及の度合いは、環境保全や化石資源の節約といった外部経済的効果をどの程度内部化する社会を構築するかに大きく依存し、これはわれわれ自身の選択にかかっているのである。

以下、バイオエネルギーの導入に向けた 5 つの提言を述べる。

#### ①バイオエネルギー研究の拡充

バイオマス資源の種類や変換・利用技術は多様であるため、様々な研究分野での取り組みが産業界・大学・国公立研究機関(産学官研究機関)でなされ、複数の関連する学協会において研究成果が発表されている。バイオエネルギー研究のための資源投入は、同じ自然エネルギー分野における太陽光関連研究への投資と比べるとかなり小さかったが、地球温暖化防止条約に関わる国際的動きなどを踏まえ、今後は産学官研究機関などを対象として、バイオエネルギー研究への支援の拡大が求められるであろう。

支援の拡大に当たって、制度的状況を十分踏まえることは当然であるが、まず求められるのは、研究者側からバイオエネルギーの開発・導入・普及に関わる網羅的かつ系統だった情報発信を行い、研究者側と行政側等との議論を深めていくことである。

そこでの議論の対象には、家庭廃棄物や畜産廃棄物などの処分・利用コストの社会的負担のあり方、産学官研究機関や関連する学協会の効果的な連携のあり方、研究機関の現有研究者数に見合った適正な資金投入計画・人材育成計画への支援、など幅広いものがあろう。

バイオマス資源は多様性に富むため、的確な研究評価により充実すべき研究の選別を実施しながら、支援の拡大を図るべきである。



## ②外部経済に配慮した制度設計

太陽電池や風力発電と比べて、バイオエネルギーの利用には、設備費に加えて、燃料の収集・運搬、設備の運転などにランニングコストがかかる。

例えば、自然放置が法制上禁止される家畜糞尿について見ても、メタン発酵によるバイオエネルギープラントなど悪臭防止上極めて効果的な処理方法があるものの、廃棄物排出者に通常の廃棄物処理費より大きなコストが生じたり、プラント運営者にとって収益性が低い場合には、バイオエネルギープラントの導入が進まず、こうした消極的見通しに起因して研究開発が停滞する恐れがある。

このような外部経済の観点から重要と評価できるものについては、研究開発の推進と並行して、広くバイオエネルギープラント設置・運営コストの負担を求めるといった制度の構築が必要と考えられる。

## ③広範囲に及ぶ効率的なバイオマス原料収集システムの構築

バイオマス資源の発生量は地域的に偏在しており、バイオエネルギー導入の効用やそのあり方も地域特性に強く依存する。また、輸送コスト低減の観点からは、原料発生地近くにバイオエネルギー変換・利用プラントを建設した方が有利である。

しかし、バイオマス変換・利用プラントの規模も経済性に大きな影響を及ぼすことにも留意すべきである。バイオマス変換・利用プラントにおいては、通常の産業プラントと同様、より大きなプラントの方がスケールメリットが作用し経済的に有利となる(勿論、バイオマス資源のみを用いた数十万kW クラス以上のエネルギープラントの建設は材料調達等の観点から困難な面がある)。IPCC 地球温暖化第3次レポートにおいても、「(バイオエネルギー利用について)プラントのスケールの経済性の方が、(材料発生地から離れた場所にプラントを建設することによる)追加的な輸送コストよりむしろ重要である」と述べられている。

したがって、わが国がバイオエネルギー利用を推進するにあたっては、まずは、ある程度多量のバイオマス原料を確保できる地域を想定することが肝要であろう。また、同時に対象となるバイオマス原料の十分な調達を可能にする回収システムの構築や末端段階での分別・回収の効率化等が望まれる。

## ④石炭等との混焼プラントの研究開発の推進

乾燥系のバイオマス原料を既存の火力発電プラントにおいて、本来の燃料である石炭、天然ガス、石油

と混合して燃焼させる場合には、プラント規模のスケールメリットによる経済的効果を十分に享受できる上、バイオマス発電プラントの建設費を一義的には考慮しなくてよい。実際、欧米諸国では石炭火力発電所において石炭とバイオマスの混焼が行われている。

このような、既存の火力発電所でのバイオマスの混焼が、経済的および技術的な面でリスクが最も小さいバイオマス利用法の一つと考えられ、わが国として重点的に研究開発を推進すべきである。さらに、米国エネルギー省の Vision21 において提唱されている多様な燃料に対応できるプラントも同様の観点から、わが国にとって注目すべき研究対象であろう。

## ⑤発展途上国との共同・連携

わが国の場合、他の土地利用の用途との競合から、大規模なエネルギープラントの導入は、少なくとも当面の間は現実的ではなく、未利用資源系バイオマスの利用の拡大が現実的である。一方、グローバルに見た場合には、エネルギープラント系バイオエネルギーの可能性も大きい。特に、東南アジア、中南米、アフリカの諸国においてはバイオプラントの資源ポテンシャルが非常に高い。

したがって、これらの国々で生産されるバイオエネルギーが世界のエネルギー供給システムにおいて重要な位置をしめるにはまだ長い年月が必要であるにせよ、京都議定書のCDM(クリーン開発メカニズム)を活用した途上国におけるバイオエネルギー利用支援には積極的に取り組むべきと考えられる。

発展途上国の多くは、薪を主なエネルギー源としているが、エネルギー利用効率が低いのが現状であって、この利用技術の高度化への支援は、技術的な障壁が小さく、かつ、地球温暖化ガス削減に即効性が期待されるため、積極的に推進していくべきであろう。

### 【参考文献】

- [1]山地憲治:バイオエネルギー, ミオシン出版(2000)
- [2]H. Leith and W. Whittaker: Primary Production of the Biosphere, Springer-Verlag (1975)
- [3]依田恭二:地球科学, 16(2), 78-85 (1982)
- [4]坂井正康:バイオマスが拓く21世紀エネルギー, 森北出版 (1998)
- [5]IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001, IPCC (2001)
- [6]総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会:新エネルギー部会報告書—今後の新エネルギー対策のあり方について— 2001年6月
- [7]J. DiPardo: Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand, DOE Modeling and Analysis Report (2000)

(<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html>)

- [8] National Energy Policy Development Group: National Energy Policy – Reliable, Affordable, an Environmentally Sound Energy for America’s Future (2001)
- [9] 飯田哲也: 北欧のエネルギーデモクラシー, 新評論 (2000)
- [10] European Commission : Energy for the Future: Renewable Sources of Energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan, COM(97)599 (1997)
- [11] 坂志郎編著: バイオマス・エネルギー・環境, アイピーシー (2001)
- [12] T. Johansson, et al. Eds., Renewable Energy, Island Press (1993)
- [13] 横山伸也: バイオエネルギー最前線, 森北出版 (2001)
- [14] 山地憲治: バイオエネルギーへの期待と課題, 第10回日本エネルギー学会大会、基調講演, 北九州市 (2001)
- [15] 農林水産省農林水産技術会議事務局編: バイオマス変換計画-豊かな生物資源を活かす-, 光琳 (1991)
- [16] 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成11年度調査報告書, NEDO-GET-9949 (2000)

## 4. 特集：マテリアル・シミュレーションの動向

### － 第 1 原理計算を中心として－

材料・製造技術ユニット 高野 潤一郎

#### 4.1 はじめに

物質・材料(マテリアル)研究で、シミュレーションが用いられることが多くなってきた。10年ほど以前には、マテリアル研究においてシミュレーションが用いられる例も少なく、活用例があってもマテリアル研究に対して実際に有益な効果を果たしたと言える例はほとんど見られなかった。しかし、コンピューター性能の急激な向上(科学技術動向 2001年10月号特集記事「スーパーコンピュータの動向」参照)、シミュレーション手法の進展、ナノ(ナノは10億分の1)テクノロジーに代表される微小領域における実験技術の向上といった背景に支えられ、その状況が変わりつつある。

現に、総合科学技術会議が策定した「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略(2001年9月)」の中にも、5つの重点領域の1つとして「計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術と波及分野」が挙げられ、またこの領域における今後5年間の達成目標の一つとして、

- ・ 新規材料並びに新デバイス開発におけるシミュレーション活用の定着

が挙げられている。

本稿では、ナノテクノロジーの基盤技術の1つである マテリアル・シミュレーションの現在の水準について解説し、新規マテリアルの創製研究におけるシミュレーションの活用率向上へ向けた取り組みの必要性を提起する。

#### 4.2 マテリアル研究におけるシミュレーションの役割

マテリアル・シミュレーションはマテリアル研究における「ツール」であり、かつ「計算機実験(模擬実験)」という研究方法である。研究者は、必要に応じて「アイデアを検討する(試してみる、確認してみる、実験し

てみる、…)」ために、精密な装置などを用いる実験に代わり、コンピューターを用いてシミュレーションを行う。

ここで、ナノスケールのマテリアルを対象としたシミュレーションの特長とそれぞれの実例を以下に挙げる。

##### 特長 1) マテリアル開発の迅速化・低コスト化

シミュレーションによってマテリアルの構造、物性、現象を予測し、考えられうる実験の中から最低限必要な実験を選定する。このようにして研究開発に必要な実験回数を減らし、マテリアル開発の迅速化・低コスト化に貢献できる。

##### ・特長 1) の例

半導体デバイスを作製する際には、金属配線に高密度電流が流れることが原因で金属原子が移動する「エレクトロマイグレーション」という現象が問題となることがある。某電機メーカーでは、エレクトロマイグレーションによる金属配線の断線を防止するための添加元素の選定や、剥離を防止するための下地膜マテリアルの選定に原子レベルのマテリアル・シミュレーションを適用し、試行錯誤的な繰返し実験のみで行うと1年間程度かかるマテリアル設計を4ヶ月にまで短縮することができた。(情報提供は京都大学大学院工学研究科の北村隆行教授)

##### 特長 2) 実験による検証が困難あるいは不可能な事象を、電子論的、原子論的に理解

原子の時々刻々の挙動をシミュレーションによって直接観察することにより、研究対象となっている事象がどのような電子論的、原子論的メカニズムに基づくものかということ、解析することができる。また、マテリアル内部の状況や、極短時間の内に起こる化学反応などの現象に関する情報を得ることができる。

・特長 2) の例

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から委託を受けた技術研究組合オングストロームテクノロジー研究機構 (ATP) と産業技術総合研究所 (AIST) を母体とする産官学の集中共同研究体制であるアトムテクノロジー研究体 (JRCAT) およびマックスプランク固体物理研究所 (独国) の共同研究で行った第一原理計算 (第 4.4 節にて解説) により、高強度で各種成型品や繊維に利用されるポリエチレンやポリプロピレンの製造に欠かせないチーグララー・ナッタ触媒が、化学反応においてどのような役割を果たし、どのようにして反応が進むのかというメカニズムを解明 できた。

この化学反応は非常に速く、極短時間の内に進行するため、実験により直接検証することが不可能であったため、反応過程の詳細はほとんどわかっていなかった。この研究成果は製造技術の高度化や改良に役立てることができるとして期待されている。

このように複雑な化学反応における原子、分子の振舞いは、実験だけでは解析できない点が多く、マテリアル・シミュレーションの果たす役割は大きい。

次に、マテリアル研究において、マテリアル・シミュレーションが、どの程度、また、どのような特長の活用を目的として用いられているかを俯瞰するため、学会の学術講演会の動向を見ることとする。数多くの学会でマテリアル・シミュレーションに関する研究成果報告が行われているが、ここでは研究現状の一断面を示す例として (社) 日本金属学会における例を紹介する。

(社) 日本金属学会の春期、秋期の学術講演会では、毎回 1000 件以上の発表がある。東北大学金属材料研究所の川添良幸教授は、「10 年前には数件のみだったシミュレーション関連の研究成果報告が、近年では全講演件数の 1 割程度を占めるようになってきている。」と述べている。

また、科学技術動向研究センターで調査したところによると、2001 年秋期学術講演会における全講演 1388 件の内、マテリアル・シミュレーションに関係の深いと思われる研究成果報告は 120 件あり、これは全講演の 8.6% であった。

### 4.3 第 7 回技術予測調査におけるマテリアル・シミュレーション

文部科学省科学技術政策研究所では、長期的視野に立って科学技術の発展の方向を探ることを目的とし、1971年からほぼ5年ごとに、大規模かつ網羅的な「技術予測調査」を継続的に実施してきている。2001年7月に公開された最新の第7回技術予測調査は、17の分野にわたって、1000を越える調査課題を設定し、4000名近い各分野における専門家の協力の下に実施された調査である。

本調査の「材料・プロセス」分野における全103調査課題の内、マテリアル・シミュレーションに関連する4課題を図表1に示す。

図表1の4課題のうち、ナノメートルスケール以下での貢献が特に期待される「第一原理計算」(第4.4節にて解説)に関連した(3)の課題に着目した。様々な調査項目に対する、材料・プロセス分野全課題への回答平均と、(3)の課題への回答を比較した結果を図表2に示した。

また、

- ・ 材料・プロセス分野の全課題について実現予測年を平均すると2016.6年であり、課題(3)の2018年は、ほぼ全体平均と同程度である
- ・ 課題(3)で、現在第一線にある国として回答者が選択したのは、米国(86%)、日本(36%)、EU(26%)の順であった(複数回答のため合計は100%となっていない)

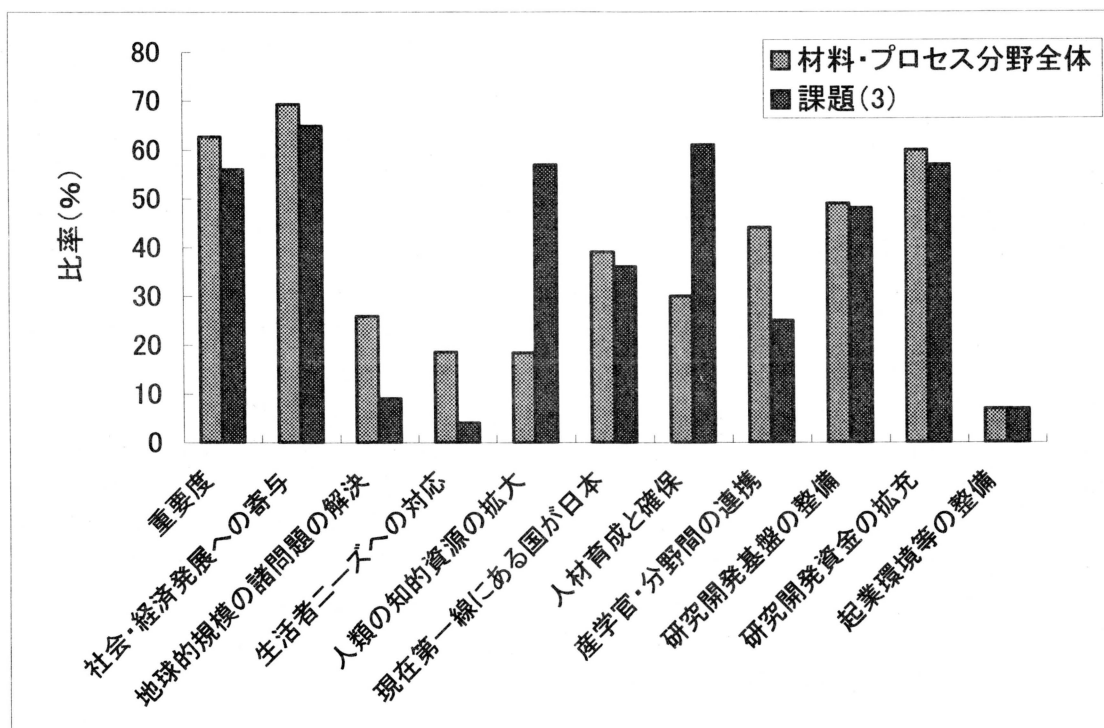
という調査結果が得られている。

図表1 第7回技術予測調査におけるマテリアル・シミュレーション関連課題

マテリアル・シミュレーションに関連の深い技術課題	重要度(%)	実現予測年
(1)コンピュータによる金属系材料の理論的性能設計が可能となる。	55	2016
(2)必要な組成、組織、物性をもつ固体触媒のコンピュータ支援材料設計法が実用化される。	54	2017
(3)第一原理計算に基づいたシミュレーションにより、所定の特性をもつ材料を設計する技術が実用化される。	56	2018
(4)多元系材料において元素組成を与えると、熱平衡状態における構造と物性を厳密に予測し得るコンピュータシミュレーション技術が開発される。	49	2018

(科学技術動向研究センター作成)

図表2 材料・プロセス分野全体の回答平均と課題(3)の回答の比較



(科学技術動向研究センター作成)

#### 4.4 現在の第一原理計算の水準

マテリアル研究の分野では、原子の集合体であるマテリアルの機能がどのようにして発現するのかといった事柄を、個々の原子の電子状態、位置、相互作用、およびこれらの時間変化等の理解を通じて解明し、その機構を積極的に制御することで革新的な機能を持つマテリアルを創製することが重要な研究テーマである。

現在、ナノメートルスケールにおけるマテリアル・シミュレーションについて、これらの要求を満たすために、「第一原理計算」と呼ばれる手法の確立に向けた研究、およびこれを実際のマテリアル研究に適用する研究が進められている。

われわれが日常目にする世界を記述するのは古典力学の基礎方程式であるが、30 ナノメートル程度以下の世界を記述するのは量子力学の基礎方程式で

ある。量子力学の基礎方程式を解く条件を変えることにより、ナノメートルスケールでの種々の物性値が得られる事が知られている。この手法は、実験結果を計算のパラメーターとして一切用いないという、非経験的な計算を行い、求める情報を得るとい研究手法であり、「第一原理計算」と呼ばれる。

様々なシミュレーション手法がある中で、第一原理

計算が注目されているのは、実験結果によって決定すべき経験的パラメーターを含む従来のシミュレーション手法とは異なり、量子力学の基礎方程式に基づいて種々のマテリアルの電子密度分布を求めることで、その構造、電子状態、物性を定量的に予測できるほとんど唯一の手法であると考えられているためである。

図表3 第一原理計算の計算規模と産業応用例

計算規模 (Flops)	▼現時点					
	1T	10T	100T	1P	10P	100P
第一原理計算で扱える 原子数* (24CPU時間以内)	$10^2$	$10^3 \sim 10^4$		$10^5 \sim 10^6$		
ナノテクノロジー 関連分野	●結晶構造予測					
	●低分子材料構造、機能予測					
	●有機材料機能予測					
	●化学反応予測					
	●反応条件最適化					
	●蛋白質構造解析・創薬					
	●半導体機能予測					

\*ここでは演算量が原子数の1から2乗に比例する高速アルゴリズムが実用化すると仮定している。  
(出典: (株)日立製作所 機械研究所)

では、現時点における第一原理計算の水準はどの程度なのだろうか。

第一原理計算は、結晶構造を持つマテリアルの構造、電子物性の解明や解析への応用は可能な水準にある。

例えば、シリコンの格子定数や弾性定数に関する計算では実験結果と1%以内の精度でシミュレーションが可能である。

また、当初シミュレーションによって得られたアルミニウムや鉄から成る人工格子の磁気モーメントが実験値と合わないと言われていたが、実験精度が向上し、理想的な単結晶や人工格子が作製できるようになってくるにつれて、実験値がシミュレーションで得られた値と一致した例もある。

図表3は、現在最高水準の性能を持つスーパーコンピュータを24時間稼働させた場合の、計算規模、第一原理計算で扱える原子数などについてまとめたものである。

研究現場では、大規模な高性能コンピュータを一研究者が独占して使用することは困難である。仮にコンピュータを独占できたとしても、新規デバイス設計に最適なマテリアルを探索するのに、1回のシミュレーションで1ヶ月を要しては、12種類のマテリアルの中から最適なマテリアルを選択するためだけに、高性能コンピュータを1年の間、連続稼働させる必要が生じるが、これはとても現実的とは言えない。実際に、各研究者に割り当てられたコンピューター性能、利用環境上の制限の中で第一原理計算を行うには、数百個の原子を扱うのが精一杯である。



つまり、一辺 10 個の原子が存在するとして 3次元のマテリアルを考えると、 $10 \times 10 \times 10 = 1000$  個の原子を扱う必要がある。しかし、現在のコンピューターの性能および利用環境では 1000 個すべての原子に対して第一原理計算を行うことは現実的ではなく、一辺が 10 個の原子からなる立方体よりも小さなマテリアルに対してしか適用できないというのが実状である。

そこで、図表 3 の第一原理計算関連分野という欄に示したような、実際のマテリアル研究に役立つ第一原理計算を行うには、「ペタフロップス・コンピューター（図表 3 では、計算規模が 1P と表示されている）」の登場が待たれている。（ペタフロップス・コンピューターは、1秒間に 1000 兆回以上の演算の実行が可能。）

そして、このペタフロップス・コンピューターの登場時期については、第 7 回技術予測調査の情報・通信分野において、2013 年に「100 万プロセッサを結合した演算速度 1 Peta Flops 級の並列コンピューターが実用化される」との予測結果が得られている。

現在よりも大きな空間スケール（より多くの原子が関係する構造、物性、現象の研究に必要）、および長時間スケール（より長い時間にわたる現象の研究に必要）を取り扱えるようになるには、コンピューター性能の向上のみならず、「シミュレーションに必要な計算量を減少させる手法」の開発が必要であるとして、研究が急がれている。

現在、第一原理計算で取り扱う原子数を  $N$  とした場合、計算量は大雑把に言って、 $N^3$  に比例する。ここで、 $m$  はシミュレーション手法によって異なるが  $m = 2 \sim 7$  であり、取り扱う原子数を 10 倍にすると、発生する計算量がおよそ 100 倍から 1000 万倍に増大するため、シミュレーションで扱う原子数を簡単に増やすことはできないというのが現状である。

そこで多くの研究者が、 $m = 1$  に近づけるため「オーダー  $N$  法」と呼ばれる手法（原子数を 10 倍にしたときの計算量の増大を元の計算量の 10 倍程度に抑える手法）の開発に取り組んでいる。

第一原理計算で取り扱える原子数を増やすためには、シミュレーションの前提となる基礎理論も重要である。

例えば現在、超伝導体の構造、構成元素や超伝導転移温度のような物性値を予測することはできない。

しかし、強相関電子系を扱う理論が確立されれば、その理論を取り込んだ第一原理計算によって、超伝導体の構造や物性値を予測できる可能性があるとして、研究が進められている。

## 4.5 おわりに

カーボンナノチューブに代表されるような、原子スケールで不純物や構造の乱れがない理想的な系における研究は、実験上の技術的困難などのため、シミュレーションによる理論研究が先行してきた。

しかし、近年の微細加工をはじめとするナノテクノロジーの進展により、半導体産業などでは、シリコン原子が 100 億個あるうちに 1 個の不純物原子がある程度という極めて清浄な系を扱う実験技術が増えてきている。このように極めて不純物が少ないマテリアルを作製できるような実験技術等が開発されてきたために、シミュレーション結果を実験結果の比較が可能となってきた。

今後は、実験結果とシミュレーション結果の直接比較が量的に増大し、そのフィードバックによりシミュレーションの精度や信頼性といった質の向上が期待できる。

また次に示す例でわかるように、今後のナノテクノロジーの着実な推進のためには、実験技術の高度化や理論の構築に対する、高精度・高信頼性のシミュレーションによる支援が欠かせない。

・走査型トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) は、ナノテクノロジーにおける重要な実験手段である。STM や AFM では表面状態に関する原子スケールの像が得られる。STM や AFM の探針先端に位置する原子と試料表面原子の間の量子力学的な相互作用を高精度にシミュレーションした結果と得られた原子スケールの像を対応させて比較することにより、観察した試料表面に関するより精確な情報が得られる。

このように、ナノメートルスケールの実験手法においてシミュレーションが果たす役割は大きい。

・現在の実験技術では観測できない、極めて短時間に起こる化学反応メカニズムの解明など、ナノテクノロジー推進の基盤となる種々の理論の構築に対するマテリアル・シミュレーションの貢献も非常に重要である。

ところが、第7回技術予測調査の結果である図表1、図表2を見ると、マテリアル・シミュレーション関連課題の重要性が材料・プロセス分野全体の平均よりもやや低くなっている。材料・プロセス分野の研究者でさえも、ナノテクノロジーを推進する上で基盤技術であるシミュレーションの重要性を十分に認識しているとは言えない状況がうかがえる。

近い将来、ペタフロップス・コンピューターの実現等によって、シミュレーションによるマテリアル設計が実用的になったとき、「マテリアル・シミュレーションを十分に活用できるかどうか」が、各研究組織の「研究開発力の格差」に少なからず影響を及ぼすのではないだろうか。

各研究組織における、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発力および競争力の維持・向上を目的とし、今のうちから、新規マテリアルや新デバイスの研究開発におけるシミュレーションの活用率を向上させ、理論研究と実験研究の協働スタイルを定着させるなど、マテリアル・シミュレーションへの注力を図る必要があるだろう。

## 科学技術動向研究センターのご紹介

### 科学技術動向研究センターとは

平成13年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため、1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。

本センターでは、第2期「科学技術基本計画」に示されたライフサイエンス、情報通信等の重点分野の最新動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供いたします。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

#### (1)「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

わが国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱して(7月1日現在 2670人)、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する体制「科学技術専門家ネットワーク」を3月16日より運営しています。このネットワークを通じて、専門調査員より国内外の学会合、学術雑誌などで発表される研究成果等、注目すべき動向や今後の科学技術

の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布いたします。なお、この資料は<http://www.nistep.go.jp>においても公開します。

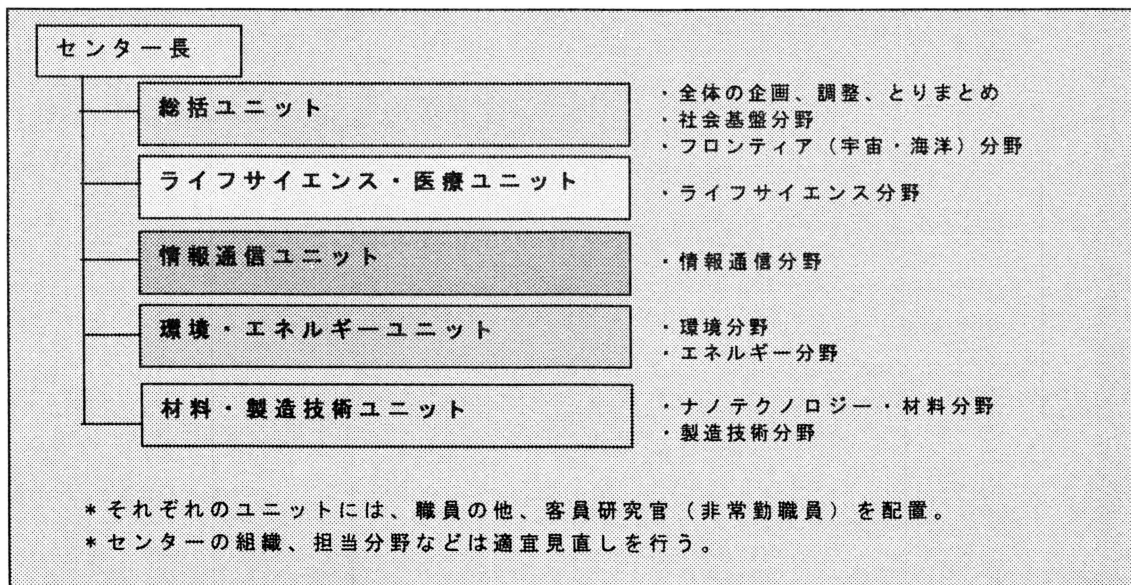
#### (2)重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、わが国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

#### (3)技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法による技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。これは、今後30年間の重要技術を抽出して、重要技術の重要性評価や実現予測時期を分析するものであり、センターは、多くの専門家の協力により本調査を引き続き実施いたします。



※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレス  
または電話番号までお願いいたします

## **SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS**

**December 2001**

(NO.9)

Science & Technology Foresight Center  
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

文部科学省科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター  
連絡先: 〒100-0013 東京都千代田区霞が関 1-3-2  
電話 03-3581-0605  
FAX 03-3503-3996  
URL <http://www.nistep.go.jp>  
Email [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

# **NISTEP**

Science & Technology Foresight Center  
National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

TEL 03-3581-0605 FAX 03-3503-3996  
URL <http://www.nistep.go.jp> E-mail [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)