



特 集

バイオマス活用の概説

奈良先端科学技術大学院大学

理事・副学長 新 名 惇 彦

●化石資源に依存した 20 世紀の文明の結果

この写真はアウレニウス先生です。酸と塩基のアウレニウスの定義などで有名ですが、1903年に第3回ノーベル化学賞を受賞されています。先生は1895年にストックホルムの物理学会で、二酸化炭素(CO₂)が地表温度に影響するという講演をされました。まさにCO₂が地球温暖化に影響するということを、今から100年以上も前に予測されました。20世紀の100年間に使った石油は全体埋蔵量の44%。その後さらに使っているの、残り40年程度しか持たないとされています。以前から石油の残余年数はあと40年、あと30年と言われましたが、そのたびに大油田が見つかって命を永らえてきたのです。採掘技術も随分進んでいますが、もうこれ以上は見つからないというのが常識です。今年4月、ニューオーリンズ沖のBPによる石油採掘事故で大量の原油が流出しました。そこでは水深1,500mの海底からさらに2,000m掘っていて、今ではそんな深い所にまで至っているのです。

その結果として、産業革命前と現在とでは大気中のCO₂濃度が約100ppm増えて、地表の気温が0.7℃も上昇してしまっています。0.7℃の上昇は非常に大きな数値で、ヒマラヤの氷河が溶けているとか、南太平洋のツバルというサンゴ礁の島国が海面上昇で沈んでしまうとか、いろんな話があります。3年前にバンクーバーで見つけたカナディアン・グラフィックでは、カナダの松林が枯れている。なぜかといえば、1cm弱の甲虫が松の木の表面を食い破って中に入り、枯らしてしまう。ロッキー山脈は、冬はマイナス30度になっていたが、最近では下がらないため幼虫が越冬するので80%~100%が枯れてしまった。この虫がロッキー山脈を越えて東にどんどん移動しているそうです。被害面積は15万km²、日本の国土38万km²の約40%が枯れて、180億ドルの損害を招いたということです。気温上昇は生態系に大きな影響があるわけで、いずれ沖縄にマラリヤがやってくるとも言われ、生物の問題はややこし

いと思われます。

●新エネルギー政策・グリーンイノベーション

CO₂削減、低炭素社会などが叫ばれ、わが国でもグリーンイノベーションという言葉が使われています。グリーンと聴いて、我々バイオ研究者はこれでバイオ研究がどんどん増えていくと思ったのですが、そうではなくてクリーンエネルギー全体の政策のことです。言葉の由来は、1933年にアメリカのルーズベルト大統領がニューディール政策を打ち出した。当時の世界大恐慌を克服するため、とにかく仕事を増やし雇用を拡大しようと始めた経済活性化政策です。リーマンショックで経済が疲弊する中で、2009年1月にオバマ大統領はグリーン・ニューディール政策を打ち出しました。今後10年間、クリーンエネルギーに日本円で15兆円投資するなどというもので、たぶんそれを受けてわが国政府も、グリーン・イノベーションという言葉を使うようになったと思います。クリーンエネルギーの意味は、太陽光、風力、地熱、水力、バイオマスなど全部を含めて経済を活性化するというものです。

エネルギー全体の現状はどうなっているのでしょうか。現在使っているエネルギーの80%以上が石油、石炭、天然ガスなどの化石エネルギーですが、世界



講師 新名 惇彦 氏



のエネルギー使用量は年間 12 テラワット。それに対して太陽エネルギーは、地球にその 1 万倍 (10 万テラワット) が来ています。言い換えると、年間使う石油エネルギーに対して 1 時間でまかなえる計算になるわけで、再生エネルギーとして太陽エネルギー活用の太陽光発電が脚光を浴びるのもうなずけます。再生エネルギーで次に多いのが植物なのです。植物全体が持っているエネルギーは、世界で年間に使っているエネルギーの約 9 倍あります。地表に到達する太陽エネルギーの 0.1% が植物に蓄えられるという言い方もできます。風力発電は地球上の風を全部捕捉したとしても 3 分の 1 程度。さらに水力発電は微々たるものだと言えます。このようなことから、再生可能エネルギーのメーンは太陽、植物、地熱かと思っています。これは潜在するエネルギー量であり、これを電気に変える変換効率は違います。太陽光発電はまだまだ効率が良くありません。先進国を中心に太陽光発電などによる新エネルギー政策を行おうとしています。バイオ燃料を使っても CO₂ は出ますが、もともと植物が CO₂ を固定してできたデンプンなどですからカーボンニュートラルと言われます。しかし、決して大気中の CO₂ を減らす効果はありません。

昨年 9 月の G20 で発表された各国の地球温暖化防止政策で、例えばインドは森林面積を国土の 23 % から 33% に増大するとしています。森林を増やすとそれだけ CO₂ が固定され、樹木・材木に残るから CO₂ 削減になります。トルコでも大規模植林で大気中の炭素を 2020 年までに 5,000 万トン削減するとしています。じつは現在、世界で年間 78 億トンの炭素が CO₂ として排出されています。人口は約 70 億人として 1 人 1 トン出している計算であり、

5,000 万トン削減とは 5,000 万人分の排出量を抑えることになります。

ヨーロッパのエネルギー評議会が発表した「世界のエネルギー供給への再生可能エネルギーの貢献」では 2010 年から 2040 年までの総エネルギー消費量を石油換算 (単位: 100 万トン) で予測しています。その中でバイオマスは 1,310 (2010 年) から 3,270 (2040 年) へと 3 倍近く増える。水力は 2 倍 (2040 年・550)、太陽光発電 (2040 年・68) はそれほど多くなるとは評価していません。これらを含めて総再生エネルギーは 1,750 (2010 年) から 6,350 (2040 年) になると予測。2040 年に総エネルギー消費量の半分を再生エネルギーでまかなえるとしています。逆に残り半分は、相変わらず CO₂ を増やしていく活動になるわけで、決して地球温暖化が止まるとは思えません。

●エタノール生産

この地図はアメリカの 2006 年時点でのエタノール生産工場を示したのですが、アメリカ中央部にものすごく増えました。2006 年のエタノール生産量が約 2,000 万 kl で、年間ガソリン消費量の 3%。つまりアメリカのガソリンを E3 (エタノール 3%) に置き換えることができました。しかし、トウモロコシ生産量の 20% が燃料に回ったので、食料・飼料を支える値段が上がった。一方でブラジルは、サトウキビを使ったエタノール生産をしています。サトウキビも食料です。砂糖の値段が下がったらエタノールで、上がったなら砂糖で儲けるということです。2004 年のサトウキビからのエタノール 3,900 万 kl をつくり、それで使った農地が国土の 0.6%、全耕作面積の 10% しか使っていない。今後はサトウキビ栽培に転用可能な面積は 9,000 万 ha。これをうまく使えば 6.3 億 kl の生産ができるということです。アメリカではガソリン全てを E20 にするのにエタノール 1.33 億 kl の生産が必要になりますが、ブラジルの状況をあてはめれば、アメリカの E100 が可能ということになります。だからブラジルは 21 世紀のエネルギー大国と言われるわけです。

バイオ燃料を導入している主要国と使用原料ですが、カナダはトウモロコシと小麦が原料です。私もカナダのエタノール工場を見学しましたが、関係者の話ではエタノールといっても安いものであり、副

産物でいかに儲けるかがカギだということです。小麦のデンプンとタンパクを分けて、タンパクは良質の飼料で稼ぎ、残りのデンプンからエタノールをつくるということです。彼曰く、アメリカのトウモロコシはタンパク質が良くないので、小麦が優れているという話です。中国の使用原料はトウモロコシ、小麦など。北欧ではぼちぼち始まっているということです。

●植物バイオマスへの置き換えは可能か

単純に石油からバイオマスへの置き換えは可能かといえば、トータルの枠を計算しないといけないわけです。わが国の石油の用途(2006年)ですが、全体2億2,900万klのうち27%がガソリンです。ナフサ(工業原材料)と重油がそれぞれ22%、軽油が16%、そのほかに灯油、ジェット燃料など。いま世界ではガソリンをエタノールなどに転換しようという動きがあります。ディーゼル燃料はバイオディーゼルへの動きも加速しています。ジェット燃料もバイオディーゼルへの転換が可能です。重油の転換はリグニンへ。ナフサはポリマーが原料になりますが、私たちはNEDOのプロジェクトで12年間、植物で工業原料をつくる研究を進めてきました。

ガソリンをエタノールに置き換えるにはどうしたらよいのか。世界のデンプン作物生産量は28億トンです。トウモロコシ、小麦、米でそれぞれ6~7億トン。主食となっているデンプンをすべて回しても70%しかまかなえません。地球上には未利用のバイオマスがあり、木質、雑草などですが、これが520億トンあり、これを全部使えば800%となります。

しかし、これは机上の計算であって、実際に使いやすい未利用バイオマスは、我々の周辺にある農林水産廃棄物でしょう。間伐材、稲ワラ、糞尿など。これらを使えば決して無理ではないと思います。

バイオマス燃料の生産プロセスですが、原料がサトウキビの場合は酵母が直接発酵しますから単純です。デンプンはアミラーゼでブドウ糖に分解して発酵、これも簡単です。我々が今取り組んでいるセルロース系バイオマスの場合は、前処理しなければならず、ここに当然コストがかかります。もう一つ厄介なのは、酵素がアミラーゼに比べて非常に高い。言い換えれば、デンプンはもともと植物が次の世代に芽を吹いて育つための貯蔵デンプンであって、植物自らが簡単に分解していくシステムができています。セルロース系は、植物が形を整え、維持するためのもので、簡単に壊れたら困るものです。さらに物理化学的に前処理しますから、どうしても酵母の発酵を阻害する物質が出ます。また、エタノールは発酵でつくっても十数%程度しかありません。無水に濃縮するために高エネルギーを投入しなければならず、これがネックです。そこで今注目されているのがバイオディーゼルです。大豆油でもいいのですが、脂質はグリセリンに脂肪酸が3分子ついていますが、これをメタノールと反応させたら脂肪酸メチルエステルとなり、これは直接バイオディーゼルとして使えます。

油バイオマスの原料はどうなっているのか。世界の年間生産量ですが、大豆は2.14億トン、ナタネ0.46トン、アブラヤシ0.55トン。最近注目のヤトロファですが、面積あたり油収量は1haで1.75トン。



それに対してアブラヤシは4.9トンにもなりますが、重要な食料ですので問題があります。ヤトロファは中央アメリカ原産の熱帯・亜熱帯の半乾燥地で生育しています。農地に使えないような所で育ち、樹齢50年、毎年実が採れます。樹高が3～5mで、アブラヤシより低くて採取しやすい。もう一つの利点が、有害アルカロイドを含むために食べられない。そのためにローソクを作ったりしていました。これを大規模に植えていこうという動きになっています。世界の軽油消費量15億klに対応するのに必要な栽培面積は8億ha。膨大な面積が必要ですが、世界の半乾燥地は34億haですから、その4分の1を使えばまかなえるということになります。それでも膨大ですから、我々が取り組んでいるのは遺伝子組換えによって生産性を3～4倍に上げる。4倍にできれば2億haで済むことになります。実際に昨年にはヤトロファを原料としたバイオ燃料で、JALジャンボジェット機の第3エンジンを動かすテスト飛行が行われています。こうした試みは1年前からありましたが、100%バイオ燃料でやったことに意味があります。

我々もアフリカのボツアナでヤトロファを植える研究を始めました。この国の面積は日本の1.5倍、人口は僅か180万人です。ここで5年間にわたって栽培の仕事をしようということになっています。もう一つは日立造船の仕事で、黄砂の源である中国・黄土高原を緑化しようと、杜仲という植物をそこにに入れて、ずいぶん緑化が進んでいます。杜仲は乾燥に強い植物で、皆さんは杜仲茶としてご存知だと思います。樹皮は生薬、養命酒にも活用されています。種の周りにゴムを作りますが、このゴムはトランス型ゴムといって、シス型ゴムの輪ゴムなど弾力性のあるゴムとは異なり、非常に硬いものです。さらにもう一つは、黄土高原の砂漠を油田にしようという話があり、私も現地を見てきました。沙桃といって、砂地に生える桃のような花が咲くものですが、実がなって種子の半分程度が油です。これを植えて、種子をとってバイオ技術で油田に変えようというもので、中国の農林省も一緒にやっています。よく大規模植林がうまく行っても、そうすると土地がやせて結局は元に戻って木が育たないというケースがあります。我々が欲しいのは植物がつくったデンプンであり、セルロースや油です。植物の全てではなく、



カーボンだけをいただいて、リン、窒素、カリ、メタルなどは戻すというシステムをまずつくるべきだと思います。

日本政府もやっと昨年、バイオマス活用基本法を定めました。バイオマスの活用推進の基本理念を定め、国・地方公共団体・事業者・国民の責務を明確化しました。これを推進するために、省庁連携によるバイオマス活用推進会議を発足しました。私もこの委員会に毎回出席しています。石油というのは50万トン級タンカーで運んだり、1万kmもパイプラインをはりめぐらせる。バイオマスはそんな大規模でなくて、ローカルな地産地消型であるべきです。稲ワラの利用でも50km以上を運んだら駄目だといわれます。全国でも活発でバイオマスタウンも既に300近くになっています。1年後には600ヵ所になることになっています。

●地球温暖化防止の切り札は植物

このグラフは、日本列島の3ヵ所における大気中のCO₂の推移を1987年から2007年までの年間を通して計ったものです。青色が三陸海岸の綾里、赤色が日本で最も南に位置する南鳥島、緑色が西端の与那国島ですが、グラフは上がったり下がったりしながら、20年の間にCO₂濃度が350ppmから390ppmへと上昇しました。ポイントは大気中のCO₂濃度は年間に上下するということです。夏場は海水温が高く、溶解度が落ちるので夏場に大気中のCO₂濃度は上がると思いますが、じつは夏場にCO₂が下がっているのです。これは夏に光合成が活発化するからで、夏と冬で20ppm程度違ってきます。太陽光や風力発電をやってもCO₂濃度

は下がらないが、植物は下げるのです。残存石油の燃焼から発生するCO₂は1,400億Ctとされます。植物の増産、大規模植林、砂漠緑化、環境ストレス耐性付与などが期待されます。

現在、大気中のCO₂は7,000億Ctで、陸上植物が蓄えているカーボンは葉、幹、枝だけでほぼ同じ量の6,500億Ctあります。植物のすごいのは地下部でその2倍もあり、根っ子から土壌中にカーボンを流出します。陸上植物の地上部、地下部の全てを合わせたカーボン固定量は、世界の年間排出量(78億Ct)の約280倍にのぼります。ということは、森林を年間0.4%増やせばすべて吸収できる計算で、その程度ならできるという気がしてきます。

地球上の全陸地面積128億ha(水域除く)の利用割合のうち、農地が15.2億ha、森林が38.7億ha、乾燥地が34.3億haです。農地であっても全てが使われているわけではなく、半分弱が酸性土壌で使いにくい。また、アルカリ性土壌も35%、そして塩類集積地などを含めて不良土壌がたくさんあります。戦略としては、遺伝子組換えで酸性土壌でも育つ樹木、アルカリ性土壌耐性、耐塩性、乾燥耐性樹木の分子育成、そして街路樹などの最大利用などでしょう。もう1つは高成長性樹木の分子育種で、これは我々の研究のメインになっています。

遺伝子組換え技術で植物の生産性を上げるためのポイントですが、植物は種の段階から上に伸びて、一生その場所を移動しません。こうした条件下では生産性が激減します。アメリカの農業でもうまくや



れば100%の収穫ができるのに、4分の1程度しか収穫できていません。遺伝子組換えによって除草剤耐性、害虫抵抗性、ウイルス耐性の穀物・作物を作れば、これだけで50%増収が可能です。アフリカなど途上国で行えば3倍、4倍にすることも難しいことではないと思います。

まとめますと、今の植物は本来遺伝的に持っている生産性の上限が激減している。遺伝子組換えさえ使えば、それを比較的短期間で回復できます。19世紀までは人類の生活は全て植物に依存していました。燃料は薪であり、炭であり、繊維も植物繊維でした。それが20世紀に石油プロセスに変わってしまったわけで、21世紀にそれを元に戻そうということです。人口が70億人、80億人に膨れ上がり、しかも生活レベルをあまりダウンさせなくても、遺伝子組換え技術を使っていけば、それが可能だと私は思っています。

