

地球温暖化問題と木材

(社)北海道林産技術普及協会 北村 維朗
(北海道技術アドバイザー)

6P

地球温暖化防止京都会議

昨年(平成9年)12月、「地球温暖化防止京都会議」という国連の会議が京都国際会議場でおこなわれました。正式名称は「気候変動に関する国際連合枠組み条約の第3回締約国会議」というものです。

日本でおこなわれる国連の正式会議であり、締約国130か国の政府代表団の他にも、最近大きな高まりを見せている多数の環境NGOからの参加も予定されており、関連の集会や催しも多彩におこなわれるとあって、開会前から非常に高い関心と呼んでおりました。

しかし、この会議は第1回のベルリンでの締約国会議以来、各国の利害関係や認識の違いからまとまりがつかず紛糾が続いておりました。この京都会議では、地球温暖化の原因としての、大気中のいわゆる「温室効果ガス」の削減に向けての具体的な「数値目標」を盛り込んだ「議定書」の採択が中心課題とされておりました。この「京都議定書」によって、全世界を挙げての地球温暖化に対する具体的な取り組みがまさに始められるわけで、人類史上の記念すべき重要な国際会議となるはずであって、世界中の関心がこれに集まったわけです。

ところが、この「数値目標」の設定にあたって、「案」をまとめるべく設けられていた特別会合(AGBM)での議論が京都に持ち越され、本会議の当日になってもまとまらず、さらに1週間にわたって、連日深夜に及ぶ白熱した議論が繰り返されました。各国代表の疲れ切った表情がテレビに写しだされ、この問題の難しさが日本中の人々に印象づけられました。

各国の意見の食い違いは、森林などの二酸化炭素の吸収源としての役割を、二酸化炭素排出削減の「数値目標」の算定にどのように盛り込むかという点にありました。

数値目標

地球を覆っている大気中の、二酸化炭素によって代表される、いわゆる「温室効果ガス」の濃度は産業革命以来、確実に増加を続けており、そのために地表の平均気温は0.3~0.6℃も上昇しているといわれています。このために海面はすでに10~25cmも上昇しているといわれており、このままの状況が続けて行けば2100年までには平均気温は2℃高まり、南極や北極の氷が解け出すので、海面水位は約50cm上昇するというのが、IPPC(気候変動に関する政府間パネル)の報告です。

このような状況に至れば、地球上の各地で大規模な気象異変が発生し、大洪水や大干ばつも続発し、砂漠化する地域も増えて、生態系は一変し、人類の経済・社会へ与える影響ははかり知れないこととなります。とりわけ、南海の珊瑚礁の上に国土が成り立っている小島嶼諸国にとっては、海面上昇によって、国土そのものが消失する可能性があるのも、まさに国家存亡の問題となります。この状況を回避するためには、地球上の各国が一致協力して、一日も早く「温室効果ガス」の放出の削減と吸収手段の強化に向けた具体的な取り組みを始めなければなりません。

具体的な取り組みを始めるためには、具体的な目標値を定め、これを各国の状況に合わせて割り当てなければなりません。これが「数値目標」です。

条約締約国全体としての、「温室効果ガス」排出量は1990年の水準から少なくとも5%を削減することとして、これを2008年から2012年の間に達成するという目標を立てました。ここまではすんなりと決まったようです。

しかし、これを各国に一律に割り当てるのであれば、不公平感が生じてきて、お互いの不信感から結局、実現が不可能になります。国によって過去の歴史からの

負の遺産があります。人口や経済発展の程度の違いによって、「温室効果ガス」の蓄積に責任の程度が異なります。技術力や経済力によって、同じ削減効果を生むのに消費される国家的エネルギーは異なってきます。いづれにしても「温室効果ガス」の排出の削減は、第一義的には、エネルギー消費の抑制であり、産業活動と経済発展の抑制ですから、国家間の通商関係などに大きな影響を与え、とくに発展途上諸国の政府にとっては、非常に受け入れがたい問題となります。

したがって、目標実現のためには、先進国は率先して大きな削減値を受け入れ、途上国の納得を得なければならないこととなります。

当初EUは10～20%という大幅な削減率を提案しており、これに対して米国の0～1%、日本の2.5%はあまりにも小さく、多数のNGOやマスコミから批判の声が続出しました。

米国の主張は森林の強力な二酸化炭素吸収能力に基づくものです。米国には2億5千万ヘクタール⁷⁾の森林があって、毎年そこに蓄積される炭素は控えめに見ても、およそ6億トンと推定されます。これは全世界で毎年放出されているといわれている70億トンと比べても、とても大きな数字ですから、米国はすでに応分の責任を果たしているという主張からです。

森林の二酸化炭素吸収能力をめぐる議論

「温室効果ガス」には二酸化炭素のほかにもメタンや亜酸化窒素、各種のフロンや六フッ化硫黄なども含まれており、二酸化炭素の地球温暖化への直接的寄与度は63.7%という計算結果もあります。オゾンや水蒸気まで温室効果があります⁹⁾。しかし、人類がその英知をもってそれをコントロールしようとするならば、今すぐに取り組みができる手段として、化石燃料の消費を削減して二酸化炭素の排出を抑制することと、健全な森林を造成して森林植物の炭素固定能力を最大限に利用する方法しかありません。(フロンへの取り組みは、1992年のモントリオール議定書*によって進められていますが、フロンの温室効果への寄与度は10.2%とされています。)

*オゾン層保護のためのウィーン条約(1985年)に基づいて締結された。

京都議定書での温室効果ガス(二酸化炭素)排出削減の国別数値目標割り当てに際して、米国は一貫して森林の持つ二酸化炭素吸収能力を算定に取り入れるべきだという主張(包括的アプローチ)をしました。このような方式にすれば、米国のように広大な森林を持つ国は(森林が二酸化炭素を吸収してくれるから)その分、化石燃料の消費抑制を緩和できるとしました。またそうすることによって、各国が森林の造成に積極的になるというものです。この説にはカナダ、オーストラリア、ラテンアメリカ諸国、産油国諸国が賛成しました^{1, 4)}。

日本の主張はこれとは異なるものでした^{1, 4)}。日本の主張はもっと冷静で科学的な観点に立ったものでした。森林は生態的に確かに二酸化炭素を大量に吸収するものであり、温暖化対策として人類に残された唯一の「切り札」といえます。

ただし森林の生態は千差万別で、年齢によっても、気候帯によっても、樹種によっても大いに異なります。森林はそこに成立する林木群だけではなく、下層の植生や、リター(落葉、落枝)、腐植、土壌やその世界の中で生活するあらゆる生物を含めた複雑な生態系なので、二酸化炭素吸収能力といっても、十分にそのメカニズムが解明されているわけではありません。

森林生態系は二酸化炭素を吸収して有機固体を蓄積する一方、その生命活動のエネルギーを「呼吸」から生み出しています。つまり酸素を吸収して、二酸化炭素を放出しているのです。したがって、森林が十分に成長して老齢過熟の状態に至ると、その巨大な総質量の生命活動のために消費されるエネルギーもまた巨大になり、「呼吸」による二酸化炭素の「放出」が固体生産のための「吸収」を上回ってくることも考えられます。

北海道大学の高橋教授によると、ロシアでは毎年1万件を越える森林火災が発生しており、これによって大気中に放出される二酸化炭素や一酸化炭素は炭素量に換算して、少なく見積もっても1億2千万トンにもおよび、推定される蓄積炭素量(年間約2億トン)と比べてみると、場合によっては二酸化炭素収支がマイナスになる危険性さえあるとのこと³⁾。つまり、森林自体が二酸化炭素の発生源になることもあるというわけです。

こういった根拠に基づいて、日本代表は「数値目標」の算定の際に森林を二酸化炭素の吸収源としてとり上

げることに対する反対の立場をとりました。日本の基本的な姿勢は、科学的な検証が不確実な現在の段階では、「森林」という「逃げ道」を使わないで、最もまっとうな「化石燃料の消費抑制」という方向で取り組もうというものでした。この主張は多くの環境NGOからも評価され、北欧諸国やオーストリア、中国、マレーシア、小島嶼諸国連合から賛成を得ました^{1, 4)}。

この主張は、森林の造成によって、化石燃料の消費抑制を割り引くことができるようにする米国の主張と厳しく対立することになります。

しかし一方、米国の主張は各国に森林の造成や改良を動機づけることになり、極めてまっとうな側面を持つことは否定できません。

結局はアイスランドの提案をベースにした折衷案が支持され、議定書に盛り込まれることになりました。

それは、国別の二酸化炭素排出削減「割り当て」は森林による吸収は算入しないで設定し、削減努力の結果では、1990年以降の「新規造林」、「再造林」と、マイナス要因としての「森林の減少」を評価の対象とするというものです^{1, 4)}。

結果として、「地球温暖化防止京都会議」は二酸化炭素排出削減に向けて、森林の役割を大きくクローズアップしたことになり、新聞やテレビはこれを大きく取り上げました。今後世界各国は新しいエネルギー政策の推進と同時に、こぞって森林の造成や改良に取り組む、森林破壊の防止に努めることになります。

健康な森林だけが持つ二酸化炭素吸収能力

森林生態系による二酸化炭素の吸収は確かに科学的に実証されたものではありません。しかし緑色植物の二酸化炭素同化作用は十分に良く認められており、これに疑問をはさむ余地はありません。

今、地球上で消費されている全エネルギーは 86.4×10^6 兆カロリー⁷⁾とされています。炭素1トンあたりの燃焼熱は燃料の種類によらず約 10^{10} カロリーほどですから、地球上の全人類は年間ざっと80億トンの炭素を空中に放出してエネルギーを得ている計算ができます。専門家 (IPPC) の計算では70億トンですが、大気中の二酸化炭素濃度から計算すると、その約42%が行方不明になっているそうです。一部は海に溶け込んでいるとも考えられていますが、その大部分は陸上植物の同化作用に取り込まれているといわれています⁸⁾。

森林の生態系が膨大な量の二酸化炭素を吸収していることについては誰も異論を唱えないでしょう。ただし、森林が無数の生命体をかかえた「生き物」であることを忘れてはなりません。したがって一言で森林といっても、健康で生き生きとした森林もある一方、病体で氣息えんえんとしたものもあります。元気のいい森林は盛んに「二酸化炭素」を吸収しますが、不健康な森林は「吸収」よりも「放出」の方が多くなります。

樹木を主役とする森林の緑色植物群は、太陽エネルギーの力を借りて、二酸化炭素と水分から、効率良く有機物を合成して、自らの躯体を形成しますが、その生命を維持するためには、その一部を消費してエネルギーを得て、それを利用しなければなりません。その際に二酸化炭素を空中に放出 (呼吸) します。呼吸によって、大気中に戻される炭素量は、森林の種類や年齢などによって、吸収 (同化) された量の30~80%に及ぶそうです¹⁰⁾。

二酸化炭素同化による総生産量から、呼吸による消費を差し引いた純生産量は炭素換算で、ha・年あたりで7~14トンとされており、健康な森林はこの程度の二酸化炭素吸収能力を持っていると考えられます¹⁰⁾。ただし森林の中では絶えず落葉・落枝が続けられており、それらは動物や昆虫、微生物によって分解されて、二酸化炭素を放出しています。また森林の健康状態が損なわれると、立ち枯れが多くなったり、樹病が発生して、二酸化炭素放出量が増えてきます。また樹木も生命体である以上、寿命というものを持っています。寿命を終えた森林は、もはや二酸化炭素の吸収源ではなく、発生源に変わってしまいます。森林がその機能を終えた時、その事態はもっともっと深刻になります。シベリアの森林では永久凍土中に封印されている大量のメタンガスが解放されて出てくるという予想もあります³⁾。

このように、森林が二酸化炭素吸収能力があるといっても、それは健全な状態にある森林にだけあてはまることであって、森林によって地球を温暖化から救うとすれば、森林は活力のある健康な状態に維持されなければならないことになります。

森林の活力を維持するために不可欠な木材利用

大熊氏は森林の維持的経営と木材利用をセットにした地球温暖化防止パラダイム (考え方) を提唱してい

ます^{5, 6)}。つまり、森林を地球上の二酸化炭素の巨大な貯蔵庫と考えた場合（厳密に言えば、森林は二酸化炭素の吸収源ではなく、一時的にそれを蓄えておく貯蔵庫です。なぜならば、それが寿命を終えた時、今度はそれを空中に放出することになるからです。）、それぞれの林分が老齢化して、活力を低下させる前にそこから木材を得て、それをできるだけ長期間利用すれば、林分の二酸化炭素の貯蔵庫としての寿命はそれだけ延長されることになるわけです。

森林が二酸化炭素の貯蔵庫ならば、木材もまた二酸化炭素の貯蔵庫です。木材は焼却されるか、腐朽して分解してしまうまで、二酸化炭素をその固体の中に貯蔵しておくからです。

持続性をもった森林経営と木材利用をセットにした温暖化防止パラダイムは次のようなシナリオで良く理解できます。

1 haの林地にスギを植林すると、森林は成長に伴って質量を蓄積していきます。50年経つと、全バイオマス量は794.2m³に成長し、このうち515.7m³が幹材として収穫されます。丸太は製材工場に運ばれ、製材歩留り60%で柱・梁などに加工されます。この製材品は住宅建築に使われ、33年間居住に供されます。その後、その住宅は解体されて、解体材の60%がボード工場に運ばれ、80%の歩留りでパーティクルボードになり、家具の部材となって17年間使用されて解体廃棄されます。これで100年のサイクルができ上がります。

このようなシナリオのもとで、1 haのスギ林は100年間にわたって、平均80トンの炭素を貯蔵し続けたこととなります。また50年の伐期毎に確実に更新が続けられ、森林の持続性が保たれるならば、この森林の炭素蓄積量は1 haあたり、150トン程度が保たれることになり、これを永遠に続けることが可能になります。

さらに、もっと重要なことは、多くの木材利用様態がその全経過で熱エネルギーの使用量が少なく、化石燃料の消費を低く抑えることが可能になることです。

大熊氏の計算によれば、建築用の鋼材を製造するのに1 m³あたり5トンの炭素が大気中に放出されます。アルミニウムならば22トンという膨大な値です。これに対して天然乾燥の製材ならば16kg、人工乾燥の製材でも100kgという桁外れに少ない数値です（コンクリートは120kg）。これらの材料を使って住宅を1棟建てると、床面積136m²で、鉄筋コンクリート造ならば15トン、鉄骨プレハブ造ならば22トンの炭素を

放出する勘定になりますが、木造ならば5トンで済むという計算です。鉄骨プレハブ造から木造に変更すれば、この局面で、エネルギー消費の面からみても、また二酸化炭素放出量からみても77%の節約（軽減）が達成されることとなります。自家用車と航空機を主役とする交通・運輸の様態から鉄道や船舶を広く利用する様態への回帰が地球温暖化への対策として多くの共感を呼んでいます⁹⁾、住宅建設においては、木造住宅へのモーダルシフトが極めて有効な対策となることが分かります。

期待される森林系バイオマス

米国のエネルギー省は1990年代の始めに、世界の石油価格は2000年から2010年の間に少なくとも23%上昇すると予測しました⁷⁾。京都議定書以降は各国政府は温室効果ガス排出削減の数値目標達成の具体的対応として、化石燃料に炭素税等を課して消費抑制に努力することになります。炭素税はどのような額になるのでしょうか。ある試算によれば、「二酸化炭素の排出量を2000年に1990年レベルに安定化する」という目標を達成するには、炭素換算1トンあたり36,000円もの高率の課税が必要とされるとのことです⁹⁾。ガソリン1リットルあたりでは約25円となります。北欧諸国では既に先行して炭素税を設けていますが、最も高いのはスウェーデンの、ガソリン1リットルあたりで18円です（最も低いのはオランダで同様の換算で1円）。

いづれにしても、石油の利用は高コストになり、20世紀の後半、世界を支配した石油優位の時代は終わりを告げることになるでしょう。

一方、現在でも先進諸国では森林の蓄積は逐次増加を続けています。（米国2億9千万t/年、日本3千5百万t/年）が、これからは地球上こぞって、健全な森林の造成に努めることとなります。地球上が森林の緑に包まれる日はそう遠くないのかも知れません。

ただし、その森林を活力のある、健全な状態に保つためには、適切な森林管理が必要になり、除・間伐と主伐による収穫によってしかるべき量の森林バイオマスが搬出され続けることとなります。またその森林管理が持続性をもって、未来永劫に続けられるようにするためには、その森林バイオマスが経済合理性に矛盾なく人類の生活・福祉にフィードバックされるようにしなければなりません。

もっとも、経済効率の追求を第一とした時代の林業経営のように、林分の生産性を極大化するための森林管理ではなく、炭素の貯蔵庫としての役割を極大化する、エコロジーにかなった、長伐期、高蓄積の新しい森林経営が行われることとなります。

また、森林から搬出された、あらゆる形態のバイオマス資源は、可能な限り多くの部分が、天然高分子の「木材」として、可能な限り長期間利用され方向に向かうべきです。「木材」として利用される限り、それは二酸化炭素の貯蔵庫として機能し続けるからです。また「木材」として利用コストが限界値以上になる産業廃材や都市ゴミなどからも、繊維などを取り出して利用できるならば、貯蔵庫としての役割をさらに続けることができるわけです。さらに熱エネルギー源またはケミカルズ原料として利用できるならば、化石資源の消費量を削減する直接的な戦術として有望なものとなります。

いずれにしても、うまく行けば、これから豊富に回ることになる、この森林系バイオマス資源は、地球温暖化のもととされる化石資源から、多くの局面でその役割を引き継いでゆく運命にあります。その引き継ぎの成否はこれからの「技術開発」の進展にかかっていることは言うまでもありません。技術開発は林業と木材に直接、間接に関わるあらゆる領域で進められるでしょうが、そのゴールはただひとつ、「化石燃料の消費削減」です。

化石資源から再生産可能な資源へ

産業廃材や都市ゴミまで含めた森林系バイオマス資源の利用が、直接、間接にかかわらず、何らかの形で、石炭・石油の化石資源の消費に置き替り得るならば、地球環境に好ましい結果を生むこととなります。

木材も燃焼まで至れば、化石燃料と同様に二酸化炭素を発生します。しかし、化石燃料の燃焼によって発生した二酸化炭素は、これを処理しようとするれば、何らかの外部のシステムの手を借りなければなりません。これに対して、森林系バイオマスの場合は、森林が「持続性」を保ちながら経営されている限り、木材の燃焼によって発生した二酸化炭素は自らの森林システムの中に利用され、循環サイクルを作っていくからです。また、森林系バイオマスの燃焼からは二酸化イオンや窒素酸化物のような有害物質の発生は極めて少な

いとされています。

環境庁の1995年の資料によると、この年の日本の二酸化炭素の発生量は3億3200万トンで、その29.5%がエネルギー転換部門（発電所、精油所等）、31.2%が産業部門（工場等）、19.9%が運輸部門（自動車、船舶、航空機等）となっています⁹⁾。この三大部門で、化石燃料から森林バイオマス資源へ原料転換が進めば、地球環境への改善効果は最も効果的であり、この部門での技術開発が最も期待されるどころです。

米国エネルギー省の予測では、電力用石油のコストは2010年には1993年の43%アップの百万BTUあたり4.04ドルになり、同様に、自動車用のガソリンは21%アップになり、11.04ドルということです⁷⁾。したがって、エネルギーの原料転換はこのふたつの部門で最も強く求められることになるでしょう。

発電部門での原料転換

米国エネルギー省の推計によると、2030年の木質エネルギーの消費量は5.8エクサジュール（1380兆キロカロリー：1.6兆kw時）で、現在の米国のエネルギー消費総量91エクサジュールの6.3%に相当します。この予測の中には、アルコールに変換される分は含まれていませんが、電力として利用される分は0.5エクサジュール（1400億kw時）とされています。一方、米国林野局の推計では1986年から2040年の間に木質エネルギーの消費は39%の増加となっています。米国では1978年に公益事業規制条例が改正され、電力事業者が自ら電力を生産するコストに見合う価格で、各種事業者の余剰電力を購入できるようになりました。この改正によって、米国の木質バイオマス発電能力は3倍になって、60億kw時になりました。米国には約100基の1~2.5千万kwの木材発電プラントがありますが、電力会社に売電しているのはその三分の一です。しかし、最近の石油市況の低迷で、バイオマス発電は低迷の状況にあります。ちなみに、日本では1987年に許可制で自家発電が販売できるようになり、95年になってようやく電気事業法が改正されて許可が不要になっています。

米国エネルギー省と農業省は共同事業として2000年までにバイオマス発電能力を倍増するプロジェクトを開始しています。このプロジェクトの中では、森林の健全性を確保しつつ、木質廃材や森林バイオマスを発

電に利用する総合的システムの開発と、木質燃料を低コスト、高効率でエネルギー化する燃焼工学的技術開発が含まれています⁷⁾。

自動車用燃料への転換

自動車の排気による空気汚染は世界中の都市で大きな問題となっています。二酸化炭素の問題のほかにも、オゾンや一酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素などの放出も大きな問題です。米国のいくつかの都市ではこれらを抑制するために、ガソリンにエタノールなどの助燃剤を添加することを条例で定めています。エタノール、とくに木質バイオマス由来のエタノールは液体燃料として、ガソリンよりもはるかに大気汚染の少ない燃料と言えるでしょう。また木質バイオマスから転換されるならば、これもまた再生産可能な燃料資源です。

エタノールはヘキソース（糖）を発酵させることによって得ることができますが、このヘキソースを木材の酸加水分解によって得る技術開発は相当のところまで進んでいます。このヘキソースから得たエタノールは石油価格が暴騰した時代（1970年代）、自動車用燃料として利用されました。木質バイオマスからエタノール燃料を生産する工業技術は、歩留や、反応時間、副産物の需要、資本投下等多くの課題を抱えています。新しい時代のニーズはこの方面の技術開発を加速することになるでしょう。米国エネルギー省の国立再生エネルギー研究所（コロラド）では、ある種の酵素を酵母とともにセルロースに与え、分解と発酵を同時におこなって高収率でエタノールを得る技術開発が行われているそうです⁷⁾。

メタノールは木材バイオマスの乾留によって生産できますが、乾留工業からは、メタンやエタンを得ることができ、これらも自動車燃料として可能です。

木材化学工業からは、石油化学工業に匹敵する程、多数の化学種を得ることができます。化石資源の利用が制約される状況のもとでは、石油に替わって、木材バイオマスが化学工業の原料として重要な役割を担うことになるでしょう。

おわりに

京都会議を終わって半年になりますが、今年の11月

にはブエノスアイレスで第4回の締約国会議があります。日本国政府はこれに向けて、先進国が途上国と連携して温室効果ガス削減に取り組む共同事業の仕組み（植林プロジェクトも盛り込まれています）について提案をまとめています。資源エネルギー庁の「長期エネルギー需給見通し」も、2010年に向けて二酸化炭素の排出を1990年レベル抑制することを前提にして作成されています。通産大臣の諮問機関の環境関連審議会では、鉄鋼、化学、自動車といったそれぞれの産業界での温室効果ガス削減に向けての具体的スケジュールがまとめられています。

新しい時代は確実に始まっております。この新しい時代は、木材を含めた森林系の科学技術が重い責任を負うことになるでしょう。それらは「化石資源に換えてエネルギー源として利用するための技術」、「化石資源に換えてケミカルズを取り出す技術」ばかりではありません。「省エネルギーに直接、間接につながる技術」、「木材のサービスライフを延長するさまざまな技術」、「木材をトータルに利用するシステム開発」、「森林の健全性を支える技術」等々極めて広大な領域に及ぶことになるでしょう。この領域の技術開発は決してバラ色の世界ではないでしょうが、全地球の期待がかかっていることは確かです。

参考文献

- 1) 井出光俊：緑の地球，8巻2号，3～7（1998）
- 2) 環境庁地球温暖化対策研究会：緑の地球，8巻2号，9～11（1998）
- 3) 高橋邦秀：緑の地球，第7巻1号，11～12（1997）
- 4) 井出光俊：木材工業，53巻5号，227～231（1998）
- 5) 大熊幹章：木材工業，53巻2号，54～59（1998）
- 6) 岡崎泰男，大熊幹章：木材工業，53巻4号（1998）
- 7) Skog,K.E.,Rosen,H.N.,For.Prod.J.47(2):63-69（1997）
- 8) 米本昌平：“地球環境問題とは何か”，岩波新書，331（1997）
- 9) 佐和隆光：“地球温暖化を防ぐ”，岩波新書，529（1998）
- 10) 四手井綱英：“森の生態学”，ブルーバックス，B-301（1996）