

# 生態系サービスと地域環境保全

埼玉県環境科学国際センター総長 坂本和彦

## 1 はじめに

東日本大震災・津波とそれに伴う福島原子力発電所の事故、タイの大洪水などをはじめとする災害からの復興や欧州の経済危機と多くの難題を抱えています。しかし、このような状況にあっても地球環境の劣化は着実に進んでおり、地球環境がこれまで同様に多くの生態系サービスを今後も継続的に私達に提供してくれるのか考える必要があります。

ミレニアム生態系評価(2005)<sup>1)</sup>では、私達が生態系から受ける恵みである生態系サービスと人間の福利との関係に着目し、四つの生態系サービスを考えています。私達の生命を維持し、生活に欠かせない食料、水、木材などを供給する供給サービス、気候、洪水、水質など環境を調整する調整サービス、私達が自然から受ける精神的な充足感やレクリエーションなどの恩恵をもたらす文化的サービス、上記三つのサービスを支えるための基盤を構成する、植物の光合成による酸素の供給、土壌形成、栄養循環、水循環などが基盤サービスに当たります。このようなサービスは、健全な生態系が持続してはじめて提供されるものであり、社会の持続可能性や経済的な持続可能性が生まれるわけです。

「森は海の恋人」運動で広く知られるようになった気仙沼のカキ養殖漁師の畠山重篤さんが大川上流で始めた落葉広葉樹の植林活動、さらにはその際に川の流域で生活する人々が価値観を共有するための活動などは、生態系のもたらすサービスを私達が持続的に享受する仕組みづくりの好例と考えられます。不幸にして、昨年(2011)の3月11日に発生した未曾有の地震・津波により、カキ養殖場は壊滅的な被害を受けましたが、現在復興へ向けた力強い活動がすすめられています。

私達の地球上での活動は生態系の持続性が維持されてこそ成り立つものであり、そのためにはある汚染物質による環境汚染に対応して、単にその汚染物質の排出低減を図れば、または代替技術を開発すればよいというものではありません。温暖化対策のために、カーボンニュートラルな性質からバイオマス由来の燃料資源が注目されていますが、森林伐採による大規模なプランテーションによる燃料資源植物の栽培などは、これらがもたらす正の部分と生態系に与える負の部分とをきちんと評価する必要があります。生態系の維持・保全と両立する環境保全対策が取られていくことが重要です。生物多様性がなぜ必要なのか、私達の生活とは遠いように思いがちですが、私達の社会や経済が機能していくためには、ここで述べた生態系サービスを提供する源泉がまさに生物多様性であり、その維持・保全を可能とする生態系の存在が、最も重要な基盤を形成しているわけです。

本日の講演では、私がこれまで関わってきた研究例を通して、生態系サービスの持続的な提供をも考慮した地域環境保全の仕組みについて考えたいと思います。

## 2 地域完結循環型総合環境保全対策<sup>2,3)</sup>

### 2.1 低品位石炭のクリーン燃料化技術の開発

中国西南部(重慶)を酸性雨・大気汚染の改善モデル地域として、実際の効果をもたらす戦略的な地球環境研究総合推進費(1997-2002)「酸性雨原因物質排出制御手法の開発と環境への影響評価に関する研究」と文科省科研費基盤(B)(2001-2009)により「枯渇性資源と循環性資源高効率利用による発展途上国向け温暖化ガス排出抑制技術の開発」により、以下に述べる「地域完結循環型総合環境保全対策」

の仕組みについて調査研究を実施しました。中国では、豊富な石炭資源の活用、経済的な問題と未発達な運輸機構から見て、1990年代後半に至っても地元の石炭使用がまだ続くと推定されていました。よって、大気汚染(ロンドンスモッグや四日市ぜんそくと同様)の抑止と酸性雨防止のためには、石炭からの硫黄酸化物(SO<sub>2</sub>)排出抑制に取り組まざるを得ません。大型の施設では、石炭ガスの利用、排煙脱硫、低硫黄石炭の利用などが考えられますが中小工場や民生用の用途としてはより安価な石炭クリーン燃料化が必要です。また、研究成果が現地で利用されかつ普及するためには、技術の現地化による新たな産業の創出、雇用の創出、経済的な利益の創出が達成されなければなりません。それらを考慮すれば、これから述べるバイオブリケット(BB)は現地への高い適応性と経済的に見た高い実行可能性を持っていると判断されるものです。

酸性雨だけでなく、大気汚染や室内汚染による人への健康影響を考えた場合、民生用石炭燃焼に対する対策は特に重要です。これに合致するSO<sub>2</sub>の排出制御技術が、粉碎した石炭、おがくずや稲藁等の農林産廃棄物バイオマス、SO<sub>2</sub>固定剤(消石灰)を高圧で成型するBB化です。これまでに中国で製造されていたブリケットは粘結剤として粘土を使用していたため、強度が弱く、燃焼性が低く、SO<sub>2</sub>の固定も充分ではありませんでした。一方、BBではバイオマス中の成分リグニンが高圧下で粘結剤の役割を果たし、かつバイオマスが燃焼性向上にも寄与します。これまでの研究では、SO<sub>2</sub>の80-90%が固定されるため、原炭燃焼と比較して、BB燃焼時のSO<sub>2</sub>排出量は大きく低下します。さらに、循環性資源であるバイオマス廃棄物(おがくずや稲藁など)を20、30%加えているため、廃棄物の有効利用とともに、枯渇性資源である石炭が節約されるだけでなく、温暖化ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出抑制にも貢献します。これまでのアンケート結果からは一般市民の使用意欲も高く、その価格もエネルギー効率を考慮すればほぼ同程度であり、経済的にも実行可能性はかなり高いものでした。実際に、中国東北部鞍山では日中合弁のBB製造工場が稼働しています。ここでも、いわゆる竹下プロジェクトにより設置された日中環境保全センターの設置を考慮して実施された国際善隣協会による初期の環境研究・技術に関わる人材養成事業で我が国へ招聘した行政担当者が活躍しています。

## 2.2 BB 燃焼灰による土壌改良

酸性物質の森林や農地への沈着は土壌中の塩基性成分の溶出により土壌を酸性化させ、植物の成長にとって必要な栄養塩類も溶脱させ、土壌の肥沃度を減少させます。さらに、有害な金属イオンを溶出させるため、植物の根からの栄養補給や水分吸収などの活動を低下させ、さらに土壌中の微生物活性を低下させてしまいます。そのため、酸性化した土壌の修復には中和と同時に栄養塩類の供給が必要となります。

BBの調製には、過剰の消石灰とバイオマスを添加しているため、燃焼灰中にはかなりの塩基性成分や栄養塩類が含まれています。そこで、酸性土壌の中和とそこへの栄養塩類の供給という二つの役割を期待して、BB燃焼灰添加酸性土壌への人工酸性雨添加加速実験を行いました。その結果、酸性土壌にBB燃焼灰を5%程度添加すれば、

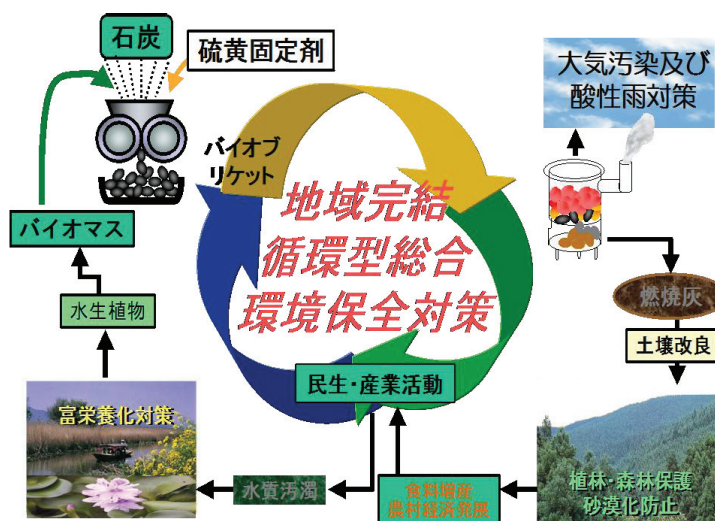


図1 地域完結循環型総合環境保全対策

当時の重慶で降っている酸性雨が5年間続いても、土壌を植物成長に適切なpHに保ち、かつ有害金属イオンを溶出することなく栄養塩類を供給し続けられる可能性があるかと判断されました。

また、バイオマスとして富栄養化河川や湖沼から窒素化合物やリン化合物を吸収し、効率的にCO<sub>2</sub>を吸収成長するガマやヨシを用いてBBを調製し、SO<sub>2</sub>の排出抑制による大気汚染制御、その燃焼灰を酸性土壌の修復に用いれば、図1に示すような新たな廃棄物を発生させない地域完結循環型総合環境保全対策が可能と考えました。しかし、燃焼中に硝酸塩は分解してしまうため、窒素分が不足することが分かりました。そこで当時、中国の農村部に盛んな養豚に着目し、豚糞堆肥の同時施用を考えました。酸性土壌への豚糞堆肥とBB燃焼灰の同時施用により、土壌中の有害金属を可食部には移動させないで二十日大根を成長させることができ、図1に示すゼロエミッションサイクルとしての地域完結循環型総合環境保全対策が成り立つことを明らかにしました。

なお、BBに関する研究の多くは中国から招聘したリサーチフェローと留学生を含む大学院生により進められたものです。

### 3 伐る林業と伐らない林業による環境持続性－森林の保全と利用－<sup>4)</sup>

継続的な収入を得るための林業と長期森林育成を組み合わせた高い環境持続性を持つ産業システムの一例として、「カエデ樹液の活用を核とする産業モデル」について紹介します。

カナダのメープルシロップが有名ですが、日本在来種のカエデからも早春の一時期、ショ糖やブドウ糖を含む樹液を採取できます。この樹液は濃縮してシロップに、また10倍濃縮したものは料理にも使えます。この樹液は次のように新しい「森林資源」として活かすことも可能でしょう。樹液の採れる森は、秩父地域では多様な森林植生をもつ天然林やクリ山として使われてきた広葉樹二次林などです。また、湿潤な土壌を好むイタヤカエデは、林地の流亡を抑えるためにスギ人工林の林縁部や谷筋などに残されてきました。木を伐ることなく森林を保全しながら樹液を採取する、あるいは樹液を採取するために多様な植生を維持しながら森林を保全しなければならないとしたら、カエデ樹液の利用は生態系の持続的な保全となり、さまざまな生態系サービスを提供してくれるでしょう。

カエデ樹液は林業にとって二つの可能性を持っています。その一つは、毎年樹液が採取できることから山村に毎年収入をもたらすことができます。これは、数十年に一度しか収入が得られない人工育成林では、森林所有面積が広くなければ経済的に成立しませんが、カエデ樹液のように毎年収入が得られれば、長期にわたる森林育成も可能になるかもしれません。カエデ樹液のもう一つの可能性は、森林の「食利用」を「つなぎ」とする消費者との連携による森の恵みを山と里と街が共有する仕組みです。山からとれた樹液が、地域のレストランや観光産業によっておいしい料理や食材に工夫され、都会の人々がこの森の恵みを楽しむ仕組みができれば、森林への共感を増幅させ、森林を大切にしたいという価値観を多くの人たちと共有する契機となります。

ここで提案されているカエデ樹液の利用と林業を結びつけるためには、一定の蓄積度をもつカエデ林分の成立条件を推定し、樹液流出の特徴と条件を見極める必要があります。田島らによる秩父地域におけるこれまでの広い範囲にわたる分布調査と樹液採取試験から、イタヤカエデの場合は、次のようなことがわかってきました。

地域の種子にプロペラのような翼をもつカエデはスギ人工林、イヌブナ群落、クリ・ミズナラ群集内に広い分布域をもち、森林土壌と相関性が認められます。イタヤカエデは秩父中古層を母材とする湿潤な土壌に多く分布し、そのような森林土壌を有する小流域に平均して約50本のイタヤカエデの分布が見られる地域もあります。また、樹液流出は二月中旬から下旬にかけてピークを迎え、流出量の大小は外気温の影響を大きく受けることもわかってきました。尾根や谷などが複雑に入り組む山地の地形は、微地形ごとに気温変化が異なり、一日の温度較差に違いを生じさせます。カエデ樹林成立

地点の温度を計測することによって、その場所が樹液産出に有利であるかどうかの判定ができます。土壌区分や温度計測から、カエデの適地を判定することは、単に樹液を効率的に採取するためばかりでなく、スギの人工林を間伐しながらカエデを植林していくうえでも大切な指標となります。これらの調査研究を通して、森林土壌分布と気候特性からカエデの適地分析が可能になれば、伐る林業と伐らない林

業の統合により、森林生態系を保全しながら長期にわたる森林育成の可能性も展望できるようになるかもしれません。この秩父での試みは、カエデ樹液等を利用した花の端境期における養蜂業とも関係づけることもでき、新たな産業モデルともなるでしょう(図2)。



図2 カエデ樹液を核とする産業モデル

## 4 おわりに

ここで紹介した調査研究例は、単純な対症療法的な環境保全対策ではなく、私達が広くその恩恵を被っている生態系サービスを持続的に受けられるかが、環境保全対策を選択する際に考慮すべき重要な項目であることを示しています。地域と整合した持続性の高い環境保全システムの構築により、地域の生態系は機能し続け、私達に様々な生態系サービスを提供してくれるのではないのでしょうか。ここで紹介したカエデ樹液を利用する森林生態系保全の仕組みは、中国の三峡ダム完成後の上流地域における水源涵養林育成を意図した植林に、土着種のなかから漢方薬の原料が毎年得られる樹種を探して、長期間を必要とする育成樹種とそれをともに植林することを提案した四川省植物生態研究所との共同研究と類似している点があります。

## 文献

- 1) Millennium Ecosystem Assessment (2005); Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- 2) 坂本和彦 (2010); 石炭-バイオマス成形炭利用による地域完結循環型総合環境保全対策, エアロゾル研究, **25**, 79-81.
- 3) 坂本和彦 (2010); 発展途上国における硫黄酸化物の排出抑制とゼロエミッションサイクルの構築, pp. 233-240, 独立行政法人科学技術振興機構中国総合研究センター ([http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/0908airpollution/r0908\\_sakamoto.html](http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/0908airpollution/r0908_sakamoto.html)).
- 4) 田島克己 (2012); カエデ樹液の利用と森林再生, 山林, 印刷中.