

8. 地球環境問題における廃棄物炭化処理の評価方法に関する予備的考察

PRILIMINARY STUDIES IN VALUATION METHOD OF WASTE CARBONIZATION IN GLOBAL ENVIRONMENT ISSUES

内海 秀樹*

Hideki UTSUMI

ABSTRACT; In this paper, the framework of evaluation like Life Cycle Assessment for charcoal made of organic solid waste is examined. The societies based in mass production, mass consumption, and mass disposal depend on fossil fuel and underground mineral resources. In such a society, most of 'productive activities' is not productive activities in the true sense, but waste disposal works from underground resources to land surface.

To break out dependency on subterranean resources, our societies have to go into the society that the material recycling only depends on environmentally-friendly sources of energy such a biomass and that abandons excessive input resources as soon as possible.

Charcoal made of thinned wood and organic waste is helpful for fixation of carbon caused by burning fossil fuel. Because, especially, charcoal made of thinned wood is similar to the composition of petroleum and stable very much. The multifunctional substance such a charcoal needs to make a carefully decision on scenarios and period for evaluation. It is important that the framework of charcoal made of thinned tree and organic waste needs to have the perspective of the energy resource to material cycling, carbon-cycle and the treatment organic waste.

KEYWORDS; charcoal, carbonization, solid waste, carbon-cycle

1. はじめに

炭は古くから利用され、日本では、三十万年前にできたと考えられている(全国燃料会館編(1960))おり、日本では、その技術はほぼ完成されているとされる。

炭化処理が、廃棄物の処理方法として着目されつつある(例えば、松井、内海他(2004)、中平(2002)等)。一般廃棄物や食品系廃棄物や剪定枝、生ごみ、下水汚泥等の量が問題になっており、これらの廃棄物を処理するために炭化技術の開発が行われている。その長所は、無(低)酸素の還元状態で材料を蒸し焼きにするため、ダイオキシン類が生成されにくく、小規模の炉であってもダイオキシン類の対策が可能である。

また、生成された炭化物は燃料の他にも、吸着などの機能を持っており、それらの用途が非常に広範にあること等、他の処理方法と比較してリサイクルを行う上でも有利な条件が多い。

炭化物の主成分は、炭素であるので化石燃料の燃焼によって、地表付近や大気中に蓄積している炭素を固定することが可能である。森林は、大気中の炭素を固定化することができ、この作用と二酸化炭素の削減をうまく結びつけることができ経済的要件が満たされるのであれば、放置されている森林の活性化に結びつけることもできよう。

本稿では、炭化処理を物質循環の枠組みから捉え

種々の評価を行う上での方法について整理することを目的としている。

2. 物質循環と化石燃料利用の問題点

2. 1 地下資源に依存した「開発」の問題

大量生産、大量消費、大量廃棄を行う仕組みの変革が唱えられている。自然の復元力や浄化能力を無視したここでの”大量”生産は、同時に”大量”廃棄に結びつく。この生産活動は、本質的に何かを生み出すのではなく、地中にある資源を取り出し、ある部分を有用な「商品」という形に変え人間社会に取り込み、その残りを「屑」として地表付近や大気、海洋中に蓄積させていると解釈できる。「商品」もいずれは、「屑」として人間社会の枠を離れ地表付近や大気、海洋中に蓄積されていく。このような生産の捉え方は、ボールディングの指摘(ボールディング, K. (1970))に始まり、エントロピー学会を始めとして、エントロピーの概念を見据えた社会の構築を目指す動きの中で綿々となされてきた。

大量生産、大量消費、大量廃棄が可能になった理由として、地表付近の自然資源に依存せずに、資源を地下に求めることができるようになったことが挙げられる。太陽エネルギーを受けて、実際に地表付近で生産できるエネルギー以上のエネルギーや物質を使うこと

* 京都大学地球環境学堂 Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

表-1 典型的な原油の化学組成

元素	原油[wt%]	天然ガス[wt%]
炭素(C)	82.2~87.1	65~80
水素(H)	11.7~14.7	1~25
硫黄(S)	0.1~5.5	tr~0.2
窒素(N)	0.1~1.5	1~15
酸素(O)	0.1~4.5	-

出典：燃料協会編（1984），p. 253 より引用

によってのみ、この現在のシステムは動くのである。資源枯渇問題に対応するための未利用地下資源の開発を行えば、同時に発生する「屑」が、地表付近や大気中、あるいは海洋中に蓄積するため、本質的には変わらない。

2.2 物質循環の観点による二酸化炭素の隔離

(A) 化石燃料の燃焼の解釈

化石燃料の一例として、原油を取り上げる。原油の代表的な元素組成を表-1に示す。原油は、採掘する場所により成分が異なるためこれ以上の厳密化を行うことは、あまり意味はない。原油の場合、80[%]以上が、炭素であり、天然ガスの場合でも60[%]~80[%]程度は、炭素が占めている。この表から明らかなように、化石燃料の大半は、炭素であり、その燃焼は、『地中に埋設されている炭素を地表へと運び、地表付近にある酸素と結合させる事によって、熱エネルギーを得ると共に二酸化炭素へと変化させ、大気中に拡散させること』と解釈することができる。

次に、地球表層における炭素の分布を表-2に示す。この表から、大気中にある炭素は石油や石炭、天然ガスの炭素量と比較するとその量は、少ないことがわかる。化石燃料の燃焼が、大気中の二酸化炭素の総量に対して与える影響は、大きいことがわかる。

(B) 地表付近の炭素収支

エネルギー消費の面では、商用エネルギー使用量は、1960年、1999年の原油換算でそれぞれ1841[百万t]、9635[百万t]と約40年間で約5倍になっている(World Resource Institute(2000))。大気中の二酸化炭素濃度と地球温暖化についての因果関係については、議論が続いている（例えば、IPCC(2001)、伊藤(2003)等）。ただし、地表付近には本来存在しない物質が地表付近に現れていることは、地表付近へのインプットがアウトプットに対して超過状態にあり、ある種の平衡状態に変化を与えていると思われる。大気中の二酸化炭素濃度を大きく左右するとされている海洋は未解明な部分が多く、これらの平衡状態を保っているとは断定するには、まだ多くの知見を待たねばならない。

(C) 二酸化炭素の隔離

大気中の二酸化炭素の濃度を下げるために、地中や海底への隔離についての研究（例えば、齋藤(2004)、新

表-2 地球表層における炭素の分布*

物質	存在量[Gt]
石灰岩+ドロマイト	29,000,000
ケロジェン	7,200,000
石炭+リグニン	37,000
石油	2,800
天然ガス	1,600
海洋(全炭酸)	38,000
大気(二酸化炭素)	540
土壌有機物	1,600
生物	600

出典：野崎(1994)，p. 17 より引用

注* 産業革命前の値

エネルギー・産業技術総合開発機構(2002)等)がなされている。しかし、先ほど表-1に挙げたように原油の組成から考慮すると隔離すべきは、炭素が中心であり、二酸化炭素ではない。二酸化炭素での隔離は、地表付近の酸素をも地中や海底に隔離することになる。隔離するのであれば、炭化物によって炭素を固定し、地中や海底に埋設する方針で政策を進める必要がある。

2.3 持続的循環型社会の実現と駆動力

現在、地下資源に依存して「大量廃棄」されるものを、再び原料として「生産」に投入し「商品」化することがリサイクルの目的となりがちである。

しかしながら、「生産」を行う際には、その駆動力として「手間」と「エネルギー」が必要であり、特に「エネルギー」を地下資源等、地表付近で容易に調達できないものに依存するのであれば、持続的な循環型社会の実現は困難である。なぜなら、既に述べているように、地表付近での「屑」の蓄積が問題となるからである。地表付近で「屑」を生成しない（生成したとしても太陽エネルギーのみで元に戻る）、水力や風力、そしてバイオマスといった太陽エネルギーを起源とするエネルギー資源への移行を指向することなしには実現は不可能である。この観点から地球環境問題を鳥瞰すると、バイオマスの再生産にとって特に大きな問題となる酸性雨、砂漠化、森林破壊あたりがとりわけ重要課題であるように思われる。

2.4 農業生態系における物質循環

(A) 地下資源に依存する近代農業

農作物を生産し、それらを消費した残渣を再び生産に投入できるという点で、農業は、持続的に生産活動を行うことのできる可能性のある産業である。ただし、昨今の農業は、工業化され、多量の化学肥料や農薬を使用している場合も多いため、地下資源に依存する割合が高く、持続的ではない事が既に指摘されている(宇田川(1976))。この推定によると、日本の水稻栽培への単位面積(1ha)あたりの投入エネルギー(それらの生産過程に投入された石油や石炭のエネルギーをキロカロリーで表したもの)と産出エネルギー(米の量を

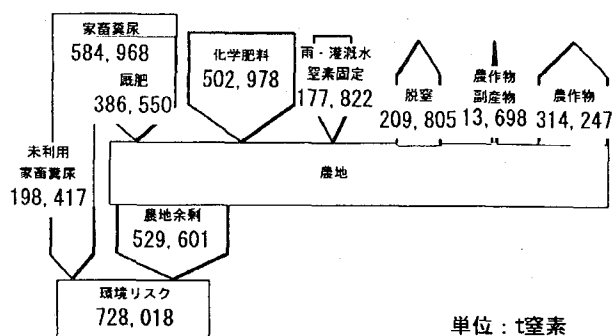


図-1 農地を中心とした窒素のフロー(1997)
(三島, 2002)

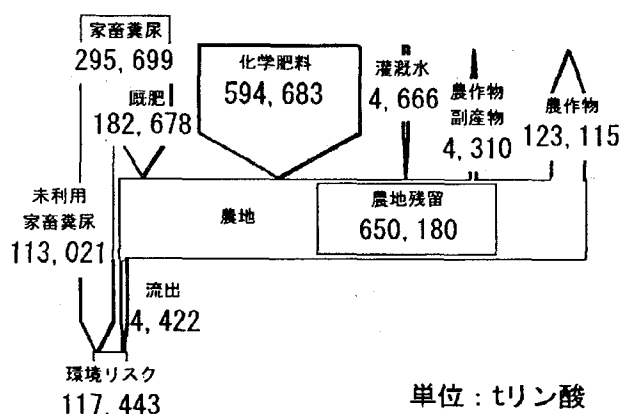


図-2 農地を中心としたリン酸のフロー(1997)
(三島, 2002)

栄養価として相当するキロカロリーで表したもの)の関係が、1956年から1957年頃逆転し、投入エネルギーよりも産出エネルギーの方が少ない状態になり、1974年には、投入が産出の2.6倍に達している。労働力・畜力・種子の投入エネルギーは、減少しているが、機械、化学肥料、農薬、その他(資材・燃料・灌漑等)のそれは増加している。

(B) 窒素・リン酸の農地における物質収支

有機物の循環利用は、エネルギー面だけではなく、窒素、リン酸等の肥料成分についても考慮する必要がある。これらの有機物の循環利用は、循環型社会を構築する上で、必要ではあるが、投入した化学肥料を十分に吸収することができなければ、環境汚染を引き起こす可能性がある。三島は、農地を中心とした窒素とリン酸のフローについて推定している(三島, 2002)。インプットとして、家畜糞尿のうち厩肥として利用されたもの、化学肥料、灌漑水、雨(窒素のみ)、窒素固定(窒素のみ)、アウトプットとして、農作物、農作物副産物、脱窒(窒素のみ)、農地余剰(窒素のみ)、流出(リン酸のみ)、そして、農地残留(リン酸のみ)とを分類して物質収支の分析を行った(図-1～2)。その結果、窒素では、家畜糞尿の量は、化学肥料と同等であり、また、これに匹敵する量が農地余剰となっている。リン酸では、農地残留が多く、インプットの約8割を占めている。インプットは、灌漑水由来は100分の1以下であるので除くと、およそ厩肥1に対し、化学肥料が3という比率になっている。窒素は、すべて農地で受容可能であるが、発生量に地域偏在性があるため、受容困難な地域も存在する。リン酸は、未利用の家畜糞尿が38%あるため、これらを利用し、さらに化学肥料を減じることによって過剰なリン酸を生じさせないような施肥管理の必要性を述べている。

これらの解析の結果から、地下資源に高度に依存することのないシステムを構築することの必要性と、農地は、農業から出される廃棄物を利用することによ

て、窒素、リン酸の必要量が賄え、食品廃棄物由来の堆肥の受入は困難であることがわかる。

3. 炭化物・炭化技術の概要

3.1 炭化物の概要

炭化物は多孔体であり、すべての孔が外部に通じている。孔の大きさは、数ミクロンから数百ミクロンまでであるため、これらの大きさに相応するバクテリアや放線菌などの微生物が棲みつきやすい。また、品位によるが内部表面積が1[g]あたり300[m²]と広く、広い生物膜ができやすい。炭のpHは、8～9でアルカリ性ではあるが、炭化温度が低い(一般には400[°C]程度)と微酸性になる。しかし、その灰分はアルカリ性であるので、アルカリ性を示すが洗浄すると微酸性になる。炭化温度の高い(一般には1000[°C]程度)はアルカリ性を示す。

表-3は、炭化温度の違いによる木炭の量と元素構成を表しており、炭化温度が上昇するに従って、炭素の割合が増加し、水素、酸素の割合が減少することを示している。特に酸素は、500[°C]付近で急激に減少していることがわかる。表-4は、スギ粉末の炭化温度と比表面積との関係を示しており、約1000[°C]付近が最も比表面積が大きく、吸着を目的とするのであれば、この温度付近で炭化を行うことが最適であることを示している。表-5は、活性炭および木炭の構造と機能と利用法について示している。特に木炭の多孔性に依る用途が多いが、最終的には燃料として使うこともできる。

下水汚泥等の有機系廃棄物から作った炭化物の溶出試験結果事例は、ほとんどの場合基準を満たしている(例えば、松井・内海ら(2004))。

3.2 炭化処理の概要

炭化処理は、有機物を灰まで燃焼させることなく無酸素(あるいは低酸素)の還元雰囲気の下で、蒸し焼きにし、炭素成分を残す処理方法である。厳密には炭

表-3 炭化温度の違いによる木炭の量と元素構成

炭化温度 [°C]	炭の元素構成			木材乾重量 に対する木 炭の割合 [%]
	炭素 [%]	水素 [%]	酸素 [%]	
200	52.3	6.3	41.4	91.8
250	70.6	5.2	24.2	65.2
300	73.2	4.9	21.9	51.4
400	77.7	4.5	18.1	40.6
500	89.2	3.1	6.7	31.0
600	92.2	2.6	5.2	29.1
700	92.8	2.4	4.8	27.8
800	95.7	1.0	3.3	26.7
900	96.1	0.7	3.2	26.6
1000	96.6	0.5	2.9	26.8
1100	96.4	0.4	3.2	26.1

出典：石原 茂久(1996), p. 720 を元に著者再構成

表-4 スギ粉末の炭化温度と比表面積との関係

試料	比表面積[m ² /g]
木粉	0.541
木炭(200°C)	0.194
木炭(600°C)	1.127
木炭(1000°C)	616.6
木炭(1400°C)	306.8
木炭(1800°C)	280.5
木炭(2200°C)	103.4
活性炭	1209

出典：石原(1996), p. 721 を元に著者再構成

表-5 活性炭および木炭の構造と機能と利用法

構造	機能	利用法
多孔体	吸着	上下水処理、工場廃水処理、工業薬品の精製、食品の脱色、浄水器、超純水製造、廃ガス処理(ダイオキシン類、水銀なども含む)、脱臭、プルトニウムや放射性ヨウ素の吸着剤、化学防護服、呼吸用マスク、たばこフィルタ、土壌浄化
	吸・脱着	ヒートポンプ
	分離ふるい	空気から窒素の分離、水素の精製、CO ₂ の回収、エチレンの回収、原子力排気ガスのホールドアップ、清酒の香味矯正、貴金属の回収、クロマトグラフ充填剤
	除放	抗癌剤などの薬効の持続、虫・動物の忌避剤の忌避効果持続
	解毒	吸着型血液浄化器、尿毒症原因物質吸着剤、透析液の再生
	担持	触媒や薬剤の担体(脱臭剤、鮮度保持剤、防毒マスク、抗菌活性炭、半導体ドーピングガス吸着剤、各種有機合成反応(アンモニア合成、酸化、カルボニル化、アセチレンへの付加、水素化、脱水素など))
炭素および微量成分	微生物担持	生物活性炭・生物木炭(浄水の高度処理、活性汚泥処理の効率化、浄化槽の効率化、池・河川水などの浄化)、バイオリアクター、生物脱臭、土壌改良、魚礁
	断熱、防音	断熱・耐火ボード、防音ボード
	研磨	漆器の研磨、印刷用銅板・亜鉛板研磨、七宝研磨化粧用
	黒色	黒色顔料、素描用具(コンテ)
	吸光	融雪剤、地温上昇材
	燃焼発熱	固体燃料
	爆燃	黒色火薬、花火
	ガス化	燃料ガス製造の原料
	還元	製鉄、金属ケイ素製造、水道水中の残留塩素除去、廃オゾン処理
	触媒	有機合成反応(ハロゲン化・脱ハロゲン化、酸化、酸化脱水素)、排煙脱硫脱硝
	イオン交換	イオン交換体
	導電性	電磁波遮蔽、通電発熱体、電気二重層キャパシタ、水からイオンの回収、リチウム二次電池、負極材
粒子、形状	肥料	肥料、土壌改良
	灰として	釉薬、染色助剤
	ろ過	ろ材
	装飾	お花炭、飾炭、枝炭、装飾炭

出典：安部 郁夫, 各種廃棄物からの吸着用炭化物・活性炭の製造方法と有効利用, (エヌ・ティー・エス(2001), p17)

素だけではなく、他の成分も残留する。この残留成分は、炭化物の原料によって大きく異なってくる。廃棄物の炭化の場合は、乾留過程での挙動を把握する必要がある。

木炭を原料とする炭焼き技術は、炭窯を使用する方法、炭窯を使用しない方法、工業的な炭化方法の3つに分けられる(炭焼きの会(1991), p61)。

炭化を行う発想は、初期の焼却炉にもあった(溝入茂(1999))。溝入によると、初期の焼却炉は、水分が多く自然しない廃棄物をいかにして乾燥させるかにあり、その乾燥法に工夫を凝らしたのが、フライヤー式である。このフライヤーの発表には、ごみの中の木片など

を分離し、それを乾留して炭を得る炭化炉、残った仲介、草木などを燃焼するごみ焼却炉、その際に発生する焼却灰とし尿を混ぜ、ごみの焼却熱を用いて乾燥し固形の肥料を製造するキルンという三つを組み合わせたものであった。現在ではこれは、工業的炭化法に位置づけることができる。

村岡は、連続式炭化炉について次のように分類している(村岡(2002))。内燃式ロータリーキルンは、傾斜した回転円筒内に被炭化物を入れ、直接燃焼させる炭化炉である。外熱式ロータリーキルンは、被炭化物の入っている円筒部を外部加熱を行う炭化炉である。外熱式スクリュウキルンは、原理は同様であるが、被炭

化物の搬送をスクリーコンベヤによって行っている点が異なる。

4. 物質循環における炭化の位置づけ

4.1 炭素循環と炭化処理

(A) 二酸化炭素の隔離と炭化による固定の相違

二酸化炭素を地中や海洋に隔離する方法が検討されていることは既に述べた。この二酸化炭素は、地中の炭素と地表付近の酸素が結びついたもので、これを隔離することは、地表付近に元々存在した酸素をも隔離することになる。この酸素は、隔離されることにより、人為的及びにくい地球系の極めて長期の循環の中に組み込まれるか、災害などのような突発的な現象によって炭素と結びついた状態で地表付近に現れるか等、人為によって制御の困難な状態になる。物質循環のインプットとアウトプットとのバランスを考慮するのであれば、可能な限り化石燃料に近い形態で固定する必要がある、人為的に利用可能な範囲で固定する方が望ましいのではないだろうか。

ここで、炭化物に着目する。炭化物の元素構成は、表-1に示したが、例えば、炭素と酸素の比率に着目するのであれば、二酸化炭素の形で隔離するより、炭化温度500[°C]以上で炭化をすれば、二酸化炭素よりもC/O比が化石燃料に近くなり望ましくなる。

(B) 森林と炭化物による固定の相違

二酸化炭素は、森林生態系を構成する樹木などの植物の光合成作用によって吸収され固定されるが、同時に光合成や生存のためにも呼吸し、大気中に二酸化炭素を放出する。大谷が冒頭で述べているように、炭素の吸収や放出、そして貯留に関しての特性が大きく異なる生態系構成要素（葉、幹・枝、根系等の植物体や土壌微生物等）が複雑に空間分布していることや、季節変化や年々変化といった多重の時間スケールで生態系構成要素が変化するため森林の炭素収支は単純ではない（大谷（2001））。

また、植物は災害もしくは寿命によりいつか枯死して微生物の力によって最終的には分解されたり、伐採され加工され最終的には焼却される等、長短にわたる重層的なある期間の後に、全部または一部が二酸化炭素になって再び大気中に戻る。よって、実際に吸収（固定）された二酸化炭素の量の把握は困難である。

その点、炭化物の安定性は高く（地球環境産業技術研究機構（2003））、その炭化物を計量すれば固定した炭素量を森林に比較して正確に把握することができる。しかしながら、樹木を炭化するために伐採した場合、第1約束期間内（2008年～2012年）までは、木材に貯蔵されている炭素は、マイナスとして計上されるので、伐採による炭化は、実質的には固定しているが、名目的

には放出している扱いになる。第2約束期間以降の扱いについては、再検討されるが、炭化物を吸収量に計上できれば炭化処理の普及に有利になる。貯蔵中は、水質浄化や家屋の床下調湿等、他の用途にて利用することができる。

(C) 森林管理と炭素吸収速度

樹木の成長は、若齢段階、成熟段階、老齢段階の3段階に分けることができる。若齢段階では、炭素貯留量の急激な上昇と炭素吸収速度の上昇が同時期に起こる。成熟段階では、炭素吸収速度は徐々に減少する。そして、老齢段階に至ると炭素吸収速度はゼロ付近で安定し、蓄積量は少し減少して落ち着く。

森林管理としては、炭素蓄積量と炭素吸収速度を同時に最大にすることはできず、両者の折衷として大きな木を抜き伐りしながら次世代の木を順次生やして育てていく択伐林施業が例としてあげられている（藤森（2001））。

間伐材や老齢段階に達した樹木を伐採し炭化した上で再植林をするというシナリオが想定でき、伐採のサイクルや炭素蓄積と炭素吸収速度に与える影響を評価する必要がある。

4.2 堆肥化に変わる生ごみの炭化処理

家庭系生ごみ、食品廃棄物を中心とした有機系資源循環において、飼料化や堆肥化は、バイオマス・ニッポン（閣議決定（2002））の中でもふれられているように取り組まれている。しかしながら、すでに見たように、農地における窒素、リン酸については、家畜糞尿だけで十分な量を得ることができ、これらの廃棄物由来の堆肥を受け入れるだけの受容能はあまりない。

さらに、今後、容器包装リサイクル法の浸透が進むのであれば、焼却処理を行う際の廃棄物の熱量が低下し、焼却の際に燃料を追加する必要性が生じることが予想される。

生ごみを分別し炭化を行えば、焼却時に発生する二酸化炭素の削減、重金属が混入している焼却灰の減少、生ごみの堆肥化以外の処理方法の少なくとも3つの効果をねらうことができる。元々の廃棄物に含まれる塩化ナトリウムが気化せず残留する低温条件下で作られた炭化物における塩分の溶出挙動についての知見の蓄積が待たれるが、溶出しないのであれば、飽和している農地以外の場所に土壌還元を行うことも可能であり、最終処分場に埋め立てられる焼却灰の低減に貢献できる。炭化を行う際、生ごみの水分が問題になってくるが、焼却炉の余熱利用等既存施設を組み合わせることによる実現可能性を評価する必要がある。

4.3 評価方法における課題

(A) シナリオの複雑さ

炭化物は用途が広いいため、様々な使い方を想定する

ことができる。つまり、その数だけシナリオを作ることができる。大筋は、場の条件と原料となる廃棄物、炭化技術、炭化条件、そして原料となった廃棄物によって製造される炭化物の特性、その特性に応じた炭化物の用途の組合せでシナリオが決定される。炭化処理は、これら一連の組合せで成立しているため、例えば、有機系の廃棄物の処理だけを取り上げ評価することには、本質的な意味があるのかどうか疑問が残る。それぞれをユニットとして評価し、条件によって組合せをかえる方法をとらざるを得ないように思われる。

(B) オープンループリサイクルの取り扱い

例えば、高機能な活性炭を用いて水処理を行う際に、性能が低下した時、洗浄をして再び使用できるようにすることは十分に考えられる。では、廃棄物から製造するような品位の低い活性炭の場合はどうであろうか。木材や有機系資源のような更新性資源は、自然との共存を図る上では、繰り返し使うのではなく、適度に消費して太陽エネルギーによる循環にのせ、再生産に備えることも考え得る。森林の発達段階について触れたが、適度な量の伐採は行うべきなのである。この例のように品位によって再生するか否かと評価が分かれることに留意する必要がある。

(C) 評価時間単位

炭化処理によって生成された炭化物は、例えば、緩効性肥料として用いる場合や酸性雨による土地の酸性化の緩和に利用する場合、効果のある期間を設定することが困難になる。微生物担体として利用した場合は、条件にもよるが、100年程度の効果が確かめられた事例(Zackrisson, et al. (1996))も存在する。

また、炭化物は、最終的には熱回収のために燃焼されることも多いため、評価時間単位を無限大にした場合、焼却処理との差別化を行うことが困難になる。放出量、排出量の計上に時間的な要素を加味する必要がある。

5. 結論

本稿では、現代の物質循環を、地中のものを地表付近に引き上げ、地表付近にあるものと反応させ、利用することによって、地中起源と地表起源のものをあわせた「屑」を発生させるとともに、それが地表付近に蓄積するという構図で捉えた。物質循環の対象としてまず炭素を取り上げ、この「屑」である二酸化炭素を隔離することによって、「屑」の一部である地表起源のものをも隔離してしまうことについて指摘を行った。

次に窒素、リン酸を取り上げ、その受け入れ先としてもっとも有力な農地が、すでに家畜糞尿の受容のみで十分であり、食品廃棄物の追加的な受容は困難である点について指摘を行った。

炭化処理を用いて炭化物を生成すれば、前者の場合は、それは、地中に存在する化石燃料に組成が近い炭化物を作ることによって当面の代替手段となる。しかも、炭素が固定されているため、炭素量を容易に把握できる。後者の場合は、食品系廃棄物を炭化することによって、農地で受け入れ困難な堆肥にすることなく燃料や農地以外への土壌への還元等に利用しうることを示した。評価を行う上での留意点について問題提起を行った。

参考文献

- 石原 茂久(1996), 木質系炭素材料素材開発の新しい展開, 木材学会誌, vol. 42, no. 8, pp. 717-723
- 伊藤 公紀(2003): 地球温暖化 埋まってきたジグソーパズル, 日本評論社
- 宇田川武俊(1976): 水稻栽培における投入エネルギーの推定, 環境情報科学, Vol. 5, No. 2, p. 78
- エヌ・ティー・エス(2001): 脱焼却最前線 廃棄物の炭化処理と有効利用, NTS
- 大谷 義一(2001): 二酸化炭素フラックス, 森林科学, Vol. 33, No. 10, pp. 10-17
- 農林水産省(2002): バイオマス・ニッポン総合戦略, <http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>
- 岸本定吉監修・チャコールコミュニティ編(1994): 炭博士にきくー炭の神秘, ディーエイチシー
- 小林 紀之(2003): 地球温暖化と森林ビジネス, 日本林業調査会
- 齋藤 隆之(2004), 気泡群の浮力効果を利用する二酸化炭素の深海固定技術-Gladシステムによる二酸化炭素の深海固定-, 水, Vol. 46, No. 4, pp. 30-34
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2002): 温暖化対策における二酸化炭素隔離技術の政策的位置付けに関する調査研究
- 炭焼きの会(1991): 環境を守る炭と木酢液, 家の光協会
- 全国燃料会館日本木炭史編集委員会編(1960): 日本木炭史, 全国燃料会館
- 地球環境産業技術研究機構(2003): 樹木等の炭化による温暖化防止等 複合環境対策技術の開発(Ⅲ)成果報告書
- 中平 敏雄(2002): 炭化処理技術の実際とリサイクル施設としての稼働実績, 資源環境対策, Vol. 38, No. 3, pp. 58-64
- 燃料協会編(1984): 燃料便覧, コロナ社
- 藤森 隆郎(2001): 二酸化炭素問題の現状と森林への期待, 森林科学, Vol. 33, No. 10, pp. 2-9
- ボールディング, K. (1970): 『経済学を超えて』, 公文俊平訳, 竹内書店
- 松井 三郎, 内海 秀樹他(2004): 廃棄物の新しい炭化技術展開と適用事例, EICA, Vol. 18, No. 4, pp. 22-31
- 松本 光朗, 日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量, 森林科学, No. 33, 30-36
- 溝入 茂(1999): ごみ処理史における「焼却」の位置についてー事実上の標準<デファクト・スタンダード>への長い道のりー, リサイクル文化, vol. 59, pp. 34-45
- 村岡 靖基(2002): 連続式炭化処理装置の概要と特徴, 資源環境対策, Vol. 38, No. 3, pp. 58-64
- 室田 武(2001): 物質循環のエコロジー, 晃洋書房
- IPCC(2001): IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
- World Resource Institute(2000): World Resources 2000-2001
- Zackrisson, et al. (1996): Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest, OIKOS, Vol. 77, pp. 10-19