

## 大気汚染修復活動の最前線からのレポート

### A Report from the Forefront of the Air Pollutant Remediation

山岸 善忠\*, 大澤 重義  
YOSHITADA YAMAGISHI, SHIGEYOSHI OSAWA

株式会社グリーンテック 〒722-2102 因島市重井町宮の上949

\* TEL: 08452-5-0236 FAX: 08452-5-0237

\* E-mail: greentech@mx41.tiki.ne.jp

Greentech Co. Ltd. 949 Miyanou, Shigei, Innoshima-shi, Hiroshima 722-2102

キーワード: 大気汚染, ヒマラヤザクラ, 環境浄化

Key words: air pollutant, Himalayan cherry, environmental purification

(原稿受付 2004年10月1日/原稿受理 2005年1月13日)

#### 1. 大量消費・大量廃棄の時代から再資源化の時代へ

近年,化石燃料の消費等による地球の温暖化,酸性雨,オゾンホールの拡大等々地球規模での環境悪化が云われ,国を超えた様々な対策が打ち出されている。一方,我々自身も身近で直ぐにでも手をつけられる問題として,我々の周りを見直し自然・環境保全を捉え直す必要がある。また,地域住民による,広域的な繋がりを持った自然・環境保全意識の高まりと具体的な自然保護の方法手段の確立が急がれている中で,本報文の趣意は,ごく一部の地域を除き生態学的意味での真の自然が存在していない日本列島において,何らかの形で人間の介在した自然の生態系に見られる一連の循環システムを捉え直し,再評価し,今後の環境修復活動の方向性を打ち出すことにある。

最近生態系「エコシステム」と言う言葉が,マスコミ等日常的に使われ始め,広く個人の生活の中まで浸透してきており,生物学上の概念が知らず知らずの内に一般化してきている。自然の生態系では,物質は,微生物,植物,動物を介し,循環的,自立的,安定的で多様な系を形成していた。しかし,人類は文明の発達と共に,農耕,牧畜,都市化,化石エネルギー利用,鉱物資源利用,水資源利用等々と独占的に環境を攪乱し続けてきた。環境から資源を収奪して消費し,結果19世紀のヨーロッパに始まる産業革命以降,加速度的に前例のない規模で工学的発想の下に大量生産・大量消費し,処理しきれないまま廃棄物の山を作ってきた。地球温暖化を含め環境問題が地球規模で議論されるようになってきた今,成すべき事は自然の生態系が有する循環の形成を助ける技術の模索と,可能な限り生態系を遮断せず適合して行く生物学的発想への転換であり,かつ新しい科学技術論の構築である。このことにより始めて,地域の環境負荷や更に進んで地球環境への負荷の軽減手段の獲得が実現可能と

なると考えている。

わが国の中国地方の沿岸部はシイノキを中心とする常緑広葉樹林が成立し,中国山地に連なる丘陵地帯にはモミ・ツガ林やシラカシ林であったと考えられている。元の植生は山陰と山陽との交流の中,古の昔からの製塩業,タタラ製鉄業,窯業等の製造業,それに農業により破壊尽くされ,コナラ,アベマキやクヌギの混じるアカマツを中心とした二次林となっていた。こうした人間の係りで成立してきた中国地方の二次林は,「里山」として蘇り,人々の生活を通し,人間と自然との深い関係を保っていた。コナラやクヌギの林は,20年程度で燃料用の薪や炭に加工され,落葉や下草それに若枝は生活廃棄物や人糞尿及び家畜糞尿を加え堆肥化され,或いは下草や若い枝葉は緑肥として水田や畑に鋤きこまれていた。その結果,林野が管理(伐採や枯れ枝,枯葉等の掃除,薬草や草花の積極的な移植)されることにより生じるキノコ類,山菜,薬草,季節を告げる草花等も地域の生活の中で重要な役割を果たしていた。人口の集中する平野部では水田を基盤とし,丘陵部でも段々畑を積極的に造営し,茶及び繊維,紙の原料となる綿やコウゾ他の各種繊維作物が栽培されていた。更に言えば,養蚕及び漆器を含む木工製品・竹細工,窯業,タタラ鉄からの農機具生産等の製造業を伴う,日本の稲作文化複合は江戸時代中期に完成を見,度々飢饉は起こったが,江戸時代を通じ約3,000万の人口を維持していた。一方,同時代のウエールズ・イングランドを合わせた人口は,約600~920万人であり,日本の稲作を中心とした食物生産体制は世界一進んでいたと考えられる。まさしく今日云う所の「ファイトレメディエーション」手法が日常生活の中で選抜され,適用され,当時のヨーロッパ先進国でも成し得なかった循環型社会経済が,時代と云う制約にも拘わらず日本の東北地方以西の各地域ごとに成立していたのである。

縄文時代はもとより近代以前の日本では林野に対する経済的依存度は非常に高かった。このように農業者により歴史時代を通じ営々とよく管理維持されてきた林野が、明治時代以降の自然主義作家の目に留まり、文学作品の中の自然として現代人の心の中に強く焼き付いているのである。言い換えれば、アカトンボ、ホタル、メダカやドジョウの生息する自然は、稲作文化複合により作り出された人の手になる自然であり、この人工自然が、循環系を形成する水田、灌漑用水路と小川や池の中だけでしか生存できない小動物群を生んだと云える。日本の農業者は、生活環境から得られる有機質・無機質肥料を用いて、長い間に亘って無意識の中に自然を作り上げ、保全し、生態系を維持してきた。ところが、明治以降の近代化、更に戦後の工業生産の急速な増大と、人口の都市集中、農業分野における機械化、化学化とともに、自然への配慮がなされないまま、林野の重要性が失われ、その「里山」の多くが無視され、放置されたままになっている。

## 2. 日本人の自然の概念

広辞苑には、「自然」の意味は、①(じねん)おのずからそうになっている様。天然のままでも人為の加わらぬ様。②(nature)人工・人為になったものとしての文化に対し、人力によって変更・形成・規制されることなく、おのずからなる生成・展開によって成りいでの状態。③人の力では予測できないこと。と説明されている。①と③は古来日本人が、「しぜん」或いは「じねん」と云う表現で指し示していた事象を意味し、②は nature の訳語で、明治以降に新たに加わった概念であるとされる。我々が元々概念として持っていた自然は、①の意味の「自然薯(じねんじょ)」と発音される「独りでに生えてくる山の芋」であり、また、③のあるがままの状態への畏敬の念を意味している。一方、欧米人にとっての自然は、神(God)の造形(nature)で、現代用語では同じ意味として捉えている言葉であっても、基本的な概念が元々異なっており、その背景となる自然観も違っている事を理解していなければならない。従って、一旦破壊してしまうと200~300年も修復に時間がかかり、人の手で保護しなければ自然が保てないヨーロッパの自然と、放って置いても20~30年で自然が回復する、東アジアモンスーン地帯に位置する日本との違いが、自然観に反映しているものと思われる。今日、地中海地方を訪れる観光客の眼に映る、オリーブ、ゲッケイジュやブドウ、背の低い薫り高いブッシュや草本からなる植生は、歴史を遡れば、ヨーロッパ文明の発祥の地であるギリシャ・ローマ帝国の領土として、都市建設や軍艦の建造、燃料等に木材を供出したため、また、更に家畜の過放牧により壊滅した、カシ、ナラ、ブナ、マツやレバノンスギ等からなる常緑樹と落葉樹の混じる一大森林を形成していたことを知る人は少ない。

狭い国土に約1億2千万人の人口を有するわが国は、弥生時代以来の稲作を中心とした定住型農耕社会による森林破壊にもかかわらず、今もまだ国土の67%以上<sup>2)</sup>が森林に覆われている。日本人は豊かな森林資源を用いて、生活を享受し、地理的、気候的制約の中で固有の民族文

化を形成してきたのである。

## 3. ヒマラヤザクラと里山復活活動

森や林や草地を形成している生態系の中で、今進行している様々な生物同士の繋がりを知ることは、また、我々がそれらを有効に管理する事が、環境保全のために絶対必要なことである。里山の有機質の絶対量は、我々の生活環境にとって必要な様々な繋がり的重要度も決めている。木材や薪及び山菜やキノコ類等の経済作物の量、過去の時代に於ける緑肥素材の提供等々、我々の生活環境に於ける里山の資源としての利用価値は、全て植物が生息する森や林により生産された有機質の蓄積と質に因っている。選抜された木材は森や林による有機質生産の結果であるが全てではない。そこに生えている人工林を含む植物は、太陽エネルギーと水を用い、大気中の炭酸ガスを固定し有機質を生産するが、一部は生産工場となる葉によっても消費されている。また、有機質の残りの一部は、光合成を行わない他の部分の呼吸により使われる。呼吸及び他の部分で使われた残りの有機質は蓄積され、生産量として計測される。これが、植物による炭酸ガスの固定量である。植物の葉は有機質生産の担い手であり、植物はその枝の効率的な配列により葉における無駄の無い有機質生産を可能にし、根はその生産に必要な水や養分を吸い上げる入り口となり、かつ、植物体に於けるこれら器官が相互に役割分担をすることで植物の命は成り立っている。また、最近の研究で葉は、炭酸ガスだけでなく窒素分<sup>3)</sup>やミネラルの入り口として重要な役割を果たしている事が判ってきた。従って、ここで云う里山の復活とは、管理作業を通じ様々な方法で植物により生産された有機質を資源として回収し、人間の経済活動の中に環境修復思想を組み込むものである。

ヒマラヤザクラ<sup>4)</sup>は、ヒマラヤ山脈の南麓、インド・カシミールからネパール、シッキム、ミャンマー及び中華人民共和国雲南省に至る標高1,100~2,300mの暖温帯に分布している。日本では、ネパールの故ビレンドラ国王が日本に留学中に熱海市に寄贈された種子から育てられた、熱海市伊豆多賀の3本が知られている。分類学的には日本のヤマザクラに近い種とされている。表1にヒマラヤザクラの特性を示す。

表1に示す通りヒマラヤザクラは日本では晩秋に約1ヶ月間豪華な花が咲き、11ヶ月間葉を付ける落葉性広葉樹であるが、落葉とほぼ同時に萌芽するので C. Parmar and H.S. Bist (1992)<sup>5)</sup>は常緑と記載している。このザクラは、木片や若葉の香りが良く、木片は燻製製造用のチップ材として、若葉と花は乾燥ポプリや塩漬けに、また、蜜の多いのも特徴としてあげられ、その蜜は貴重で高価な甘味源として、果実はそのままアルコールに漬け込み腎石の特効薬として、更に材は固く家具や農機具の柄に加工され、民衆の生活の中に溶け込み、多目的利用が可能な経済作物としての地位をインドやネパールでは得ている<sup>6)</sup>。しかし、ネパール等の発展途上地域での木材の消費の8割は薪炭用材であり<sup>7)</sup>、かつ森林が減少・劣化しているこれら地域の住民にとって、森林は燃料などの生活必需品を得る重要な場所ともなっている。では日本の里山での経済作物としてのヒマラヤザク

表1. ヒマラヤザクラの特性

植 物 名	ヒマラヤザクラ バラ科サクラ亜科	学名	<i>Prunus cerasoides</i> D. Don	
分 布	インド・カシミールからブータン, ミャンマー, 中国雲南省 標高 1,100~2,300 m の暖温帯			
形 態	高木	生育形態	落葉性広葉樹	
環 境 適 応 性	樹 高	10 m 以上	成 長 度	早
	陰 陽 度	陽	耐 潮 害	強
	移植難易	やや難 (浅根性で太い根が伸び, 髭根が少ない)		
	発 根 性	中庸	開 花 期	11月下旬~12月下旬 (ネパールでは一月早い)
管 理	移植適期	6月下旬~9月 上旬を除く	繁 殖	実生 (挿し木, 接木不可)
	主な病害	病害に強い	主 な 虫 害	シンクイムシ, コスカシバ

ラの評価は如何なものか。筆者等は経済作物としての価値を PR し, 管理作業を通じて里山から資源として回収し, 管理費の一部に充当するという具体的な作業工程を含めヒマラヤザクラの拡販活動を行っている。

#### 4. ヒマラヤザクラによる大気汚染修復

植物は光合成の過程で, 大気成分である窒素, 酸素, 炭酸ガス及び汚染ガスを同時に気孔から取り込んでいく。植物の光合成能は, 葉の量や葉が光を受ける角度及び葉の配列等植物別の構造的属性に左右され, 気孔を通じての汚染ガスの吸収も同様な影響を受けているものと考えられている。ヒマラヤザクラは, 萌芽が旺盛で, 一枚一枚の葉の面積は細長い分少なくなっているが, 枝数及び葉数もソメイヨシノに比べてはるかに多いことが観察されている。

ヒマラヤザクラ CO<sub>2</sub> 吸収量の算定においては大気浄化植樹マニュアル (1995) <sup>9)</sup> に記載のソメイヨシノの CO<sub>2</sub> 吸収量を基に, 12/9 (ヒマラヤザクラは12ヶ月間葉が有るがソメイヨシノは9ヶ月間しか葉がない) を掛け, 同様に NO<sub>2</sub> の吸収量においては, ヒマラヤザクラの吸収量 3.23 mg NO<sub>2</sub>-N/g とソメイヨシノの吸収量 0.57 mg NO<sub>2</sub>-N/g<sup>10)</sup> で割った値を掛けて算出した。

ヒマラヤザクラの CO<sub>2</sub> 吸収量

$$= \text{ソメイヨシノの CO}_2 \text{ 吸収量} \times 12/9$$

ヒマラヤザクラの NO<sub>2</sub> 吸収量

$$= \text{ソメイヨシノの NO}_2 \text{ 吸収量} \times 2.23/0.57$$

また, ヒマラヤザクラ, ソメイヨシノ及びクスノキの SO<sub>2</sub> と NO<sub>2</sub> の吸収速度の計算式を上記大気浄化植樹マニュアルに従い以下の通りとした。前提条件として大気中のガス濃度を, CO<sub>2</sub>; 350 ppm, SO<sub>2</sub>; 0.011 ppm, NO<sub>2</sub>; 0.028 ppm とし, また, 瀬戸内海及び中国地方での植え込みを考え, 気候較差の補正値を1.0とした。

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 \text{ の吸収速度} &= 12.7 \times \text{大気中の SO}_2 \text{ 濃度} \\ &(\text{gSO}_2/\text{年}) \quad (\mu\text{g}/\text{cm}^3 \text{ に変換}) \\ &\times \text{CO}_2 \text{ の吸収速度} \times \text{気候補正係数} \\ &(\text{kgCO}_2/\text{年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 \text{ の吸収速度} &= 9.5 \times \text{大気中の NO}_2 \text{ 濃度} \\ &(\text{gNO}_2/\text{年}) \quad (\mu\text{g}/\text{cm}^3 \text{ に変換}) \\ &\times \text{CO}_2 \text{ の吸収速度} \times \text{気候補正係数} \\ &(\text{kgCO}_2/\text{年}) \end{aligned}$$

表2に示す通り, 胸高直径 10 cm のヒマラヤザクラの場合, NO<sub>x</sub> 法制定後の規制適合車1台から排出され

表2. ヒマラヤザクラ, ソメイヨシノ及びクスノキの年間汚染ガス吸収量

胸高直径 (cm)	樹 種	炭酸ガス (CO <sub>2</sub> kg/年)	亜硫酸ガス (SO <sub>2</sub> g/年)	二酸化窒素ガス (NO <sub>2</sub> g/年)
5	ヒマラヤザクラ	93	34	200
	ソメイヨシノ	70	26	35
	クスノキ	80	30	40
10	ヒマラヤザクラ	333	123	713
	ソメイヨシノ	250	92	126
	クスノキ	180	67	90
20	ヒマラヤザクラ	933	344	1,997
	ソメイヨシノ	700	258	352
	クスノキ	420	160	210

る NOx 量を (0.25 g/km) に換算すると, この自動車が毎日 7.8 km, 1 年間に 2,852 km 走行して排出する NOx 量を吸収している計算になる。

##### 5. 気候変動に関する国際連合枠組み条約京都議定書に対応する 1 つの方策として提案

1990年日本に於ける CO<sub>2</sub>-C 総発生量は3.2億 t/年であり, 国民一人当たりの CO<sub>2</sub>-C 発生量は, 3.2億 t/年/1.2億人=2.7 t/人/年と計算される。人口29,000人規模の市の CO<sub>2</sub>-C 発生量は, 2.7 t/人/年×2.9万人=78,300 t/年となる。また, 人口2.9万人規模の市での CO<sub>2</sub>-C 削減必要量(目標6%~京都議定書による)は, 78,300 t/年×0.06=4,698 t/年になる計算である。この4,698 t/年の削減必要量を, ヒマラヤザクラの年間の CO<sub>2</sub> 吸収量(胸高直径 20 cm, CO<sub>2</sub> 吸収量 933 kg/本/年)で割ると, ヒマラヤザクラの植栽必要本数は18,463本となる。従って, 人口3万人弱の都市では, 常緑性の植栽後7~8年で胸高直径 20 cm に成長するヒマラヤザクラ2万本を計画的に植栽することにより, この CO<sub>2</sub> 削減目標値は計算上達成可能である。地球温暖化防止を含め, 酸性雨(pH 5.6 以下の雨)の原因物質である SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> に対してもヒマラヤザクラは吸収同化能力が高い。植物は気孔から大気中の SO<sub>2</sub> も直接吸収し, これを含硫アミノ酸等のタンパク質の構成成分として同化して, 根から吸収されたものと同様に代謝しているが, なかでもヒマラヤザクラは特に毒性の強い SO<sub>2</sub> と NO<sub>2</sub> に対しては, 特徴的に高い同化能力を持っている。気孔を通じ葉に吸収された SO<sub>2</sub> は葉細胞内で硫酸イオンの形で, NO<sub>2</sub> はアンモニアイオンの形で, 次いで夫々アミノ酸に同化され<sup>11)</sup>, タンパク質合成の盛んな新葉に集積される。しかし, 一旦集積された硫酸イオンは他所へは移動しにくく<sup>12)</sup>, ヒマラヤザクラの葉細胞内においては, 葉の加齢とともに余分な硫酸イオンは水に難溶性の硫酸カルシウムに変換され, 落葉時に外部に廃棄されていると考えられ

ている<sup>13)</sup>。更に, ヒマラヤザクラの固体当りの葉が多いという事実も, このサクラの SO<sub>2</sub> 及び NO<sub>2</sub> 吸収能の高さを間接的に裏付けている。

秋から冬にかけて開花するヒマラヤザクラ総計2万本が植えられた里山や公園の景観は, 観光の目玉になる可能性が有る。

##### 文 献

- 1) クライブ ポンティング著, 石弘之・京都大学環境史研究会訳 緑の世界史上・下. 朝日選書504. 朝日新聞社. 1994年.
- 2) 林業センサス累年統計書. 林種別森林面積. 農林水産省統計情報部. 1993年.
- 3) Morikawa, H., M. Takahashi, and G. Arimura. 2002. Manipulation of Genes for Nitrogen Metabolism in Plants, K. Omasa, H. Saji, S. Youssefian, N. Kondo (eds.), Air Pollution and Plant Biotechnology, Springer-Verlag Tokyo, 20: 383-401.
- 4) Prodr. Fl. Nepal, pp. 239 (1825).
- 5) 日本のサクラの種・品種マニュアル. 1984. (財)日本花の会. pp. 64.
- 6) 世界の植物5, 朝日百科. 1980. 朝日新聞社. pp. 1243.
- 7) Parmar, C., and H.S. Bist. 1992. Paja-An Autumn-flowering Wild Cherry. HortScience 27(12): 1344-1345.
- 8) 図説森林・林業白書平成14年度. 2003. 農林統計協会.
- 9) 大気浄化植樹マニュアル(改訂版). 1995. 公害健康被害補償予防協会.
- 10) Morikawa, H., A. Higaki, M. Takahashi, M. Kamada, M. Nakata, G. Toyohara, Y. Okamura, K. Matsui, S. Kitani, K. Fujita, K. Irifune, and N. Goshima. 1998. More than a 600-fold variation in nitrogen dioxide assimilation among 217 plant taxa. Plant Cell & Environ. 21: 180-190.
- 11) 森川弘道, 高橋美佐, 河村義史. 2001. ファイトレメディエーションによる環境修復の新展開—Eew progress in Environmental Biotechnology using phytoremediation—. 環境バイオテクノロジー学会誌. 1(1): 1-14.
- 12) 植物栄養土壌肥料大事典. 1987. 養賢堂, pp. 108.
- 13) 染郷正孝(私信).