

論文

持続可能・地方分散型社会構築の実践

芦田 譲¹

投稿受付：2019年12月13日 受理日：2020年2月11日 WEB公開日：2020年2月17日

1. はじめに

現代の人類は対策を誤れば存亡の危機に関わる、①人口の急激な増加、②エネルギー問題、③食糧問題、④地球温暖化、⑤地球環境破壊等の問題に直面している。国連においてもこのような状況を認識し、SDGs(Sustainable Development Goals ; 持続可能な開発目標)が平成13年(2001年)のミレニアム開発目標(MDGs)の後継として平成27年(2015)年9月の国連サミットで採択された。これは17項目のゴール、169項目からなる平成28年(2016年)から令和12年(2030年)までの国際目標が提案されている。日本政府としても、この目標に取り組むべき、平成26年(2014年)に15個の施策分野ごとの推進方針を掲げた「国土強靱化基本計画」を策定した。これを受けて、各都道府県も地域の課題を解決すべき地域計画を策定している。ここで課題となるのは、計画が絵に描いた餅にならないようにする具体的な実践活動である。

筆者は、昭和42年(1967年)に京都大学理学部地球物理学科を卒業後、20年間弱石油資源開発(株)に勤務し、中国渤海湾の石油開発や、新潟県岩船沖の層位封鎖型油・ガス田の発見に貢献してきた。その油・ガス田が年々減退していくのを目のあたりにし、「資源は有限」、「エネルギーは質が全て」であるとの東京大学名誉教授、国立環境研究所所長の石井吉徳先生の主張に共鳴し、平成19年(2007年)の京都大学定年後、従来からの活動に加えて、生まれ故郷である京都府南丹市において、仲間とともに食料・エネルギーの自給自足による地方分散型社会構築を目指す地道な実践活動

を行ってきた。ここではその活動について紹介する。

2. 実践活動

(1) プロバイオティクス農法

プロバイオティクス(Probiotics)とは人体に良い影響を与える微生物、または、それらを含む製品、食品のことである。人間は体内の微生物のバランスを崩すと病気になるという概念から、体内環境を整えるために、乳酸菌に代表される善玉菌を食品から摂取することで、消化器系のバランスを改善し、病気の発生を未然に抑えることができるとされる。この考えは、アンチバイオティクス(抗生物質)の副作用や、抗生物質によって生まれた耐性菌の発生に対する批判から生まれたものである。

プロバイオティクスに向いているのは、善玉の乳酸菌、枯草菌、放線菌がある。

(i) 乳酸菌は主として植物ホルモンであるオーキシシン、サイトカイニンを分泌して生育を促進し、また、エンドファイト化して、後から侵入する病原性カビ菌や細菌を駆除するとともに、害虫の一部に忌避効果がある。

(ii) 枯草菌は、主として昆虫や線虫等に対して殺傷する力や忌避効果があり、また植物ホルモンであるオーキシシンを分泌して生育を促進する。

(iii) 放線菌は、抗生物質を生産して病原性カビ菌や細菌を制御し、またエンドファイト化して、後から侵入する病原性カビ菌や細菌を防ぐとともに植物ホルモンであるサイトカイニンを分泌して生育を促進する。

¹ 芦田 譲 (あしだ ゆずる) 京都大学名誉教授、アカデミー環境・エネルギー研究会代表、NPO 法人環境・エネルギー・農林業ネットワーク理事長、NPO 法人もったいない学会理事



(iv) プロバイオティクス農法による栽培方法
 乳酸菌を田んぼの灌漑水に溶かして稲の根に活着させ、稲と乳酸菌の共生により米を収穫する。また、野菜の場合には乳酸菌を100倍希釈して野菜の葉面に散布する。

(v) 農作物の効能

・安全・安心：農薬を減らした栽培で、かつ米中の残留農薬成分が含まれない安全・安心な食材が得られる。

・免疫効果：乳酸菌が稲の免疫効果を引き出し、さらに、植物成長ホルモンを分泌して刺激し、作物自らの活力が伸びて病害にかかりにくくなる。

・甘み効果：乳酸菌により米の糖度が増え、口中での食味感（甘み）が増す。

(vi) 実践活動

筆者が理事長を務める特定非営利活動法人南丹市エコタウン推進協議会が地域の15名の農家の協力を得て、平成25年(2013年)から乳酸菌、枯草菌を用いて米を栽培し令和元年(2019年)には約980a(9町8反)の農地で実践活動を行っている。収穫した米を、京都の老舗の料理店、京都大学生協、老人ホーム、ゴルフ場、一般家庭等に、平成30年度(2018年度)には約15トン販売している。



図1 プロバイオティクス農法の実践とその仲間

(2) 下水および汚泥の活用による循環型農業

下水汚泥は、従来は埋め立て、セメントの材料および路面材として利用されていた。しかし、埋立地、建設土木工事の減少等により、それを資源、エネルギーとして有効活用するプロジェクトを国土交通省、農水省、環境省が連携して、下水処理、メタン発酵、家畜産業を組み合わせた農業循環サイクルを目指すビストロ下水道運動プロジェクトを進めている。



図2 ビストロ下水道運動による農業循環サイクル

佐賀市の下水処理場において、高千穂火山の火山灰から抽出した枯草菌を用いて、下水汚泥を処理している。まず、汚水はメタン発酵で発電し、残った汚泥を100℃に達する高温発酵で1週間に一度攪拌し、1ヵ月半で完熟の堆肥ができあがる。この堆肥にはオーキシンが含まれるとともに、昆虫や線虫に対する忌避効果がある上に、土壌改良剤としても利用される。



図3 佐賀市における高温発酵による下水汚泥処理工場

南丹市でも平成9年(1997年)に国等の約17億円の補助金を得て、周辺の酪農農家の乳牛・豚の糞尿やオカラを処理するメタン発酵施設と肉牛糞尿等や脱水ケーキを堆肥化する中温発酵の堆肥施設を設置し、農家に液肥や堆肥を提供している。

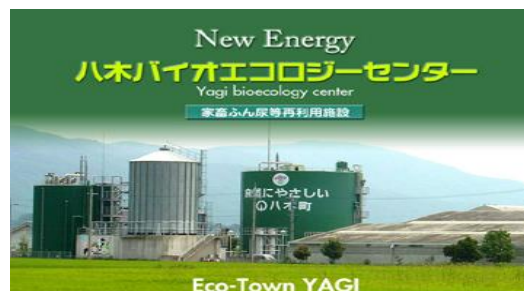


図4 南丹市のバイオエコロジーセンター

(3) ロハスの駅

ロハスとは、Life styles of health and sustainability の頭文字(Lohas)をとった略語で、健康と環境への配慮、持続可能な社会を目指した生活様式を行うことを目的とするビジネスモデルである。筆者は平成 21 年度(2009 年度)に地元の農産物を販売する「ロハスの駅」の商標登録し、自ら売り手として活動を行った。



図 5 ロハスの駅

(4) 廃食用油回収・精製・販売

京都府内および南丹市内の料理屋や一般家庭等から廃食用油を回収して(株)レポインターナショナルがエステル化反応で軽油を精製し、京都市内の市バス 100 台、清掃車 20 台に供給し、さらに南丹市においてもトラクター等の農機具の燃料として供給している。南丹市では、筆者が理事長である特定非営利活動法人南丹市エコタウン推進協議会が廃食用油を平成 30 年度(2018 年度)は 15,000ℓ回収した。廃食用油の活用により、2.58kg/ℓの炭酸ガスが削減されることから、約 39 トンの炭酸ガスを削減したことになる。

国内における廃食用油の回収には限度があることから、(株)レポインターナショナルは、ベトナムでジャトロファ(ナンヨウアブラヤシ)を栽培している。さらに我々は、EU 内に離着陸する航空機は炭酸ガスの削減を義務付けていることから、スイスの航空機会社に廃食用油から精製した軽油を輸出している。

2018 年度の炭酸ガス

削減量

2.58k/1x15,000ℓ ≒ 39t



図 6 農機具および京都市の清掃車と市バスへの軽油の提供

(5) 太陽光発電

南丹市の 55 世帯の山間地域で森林組合の山林 8 ヶ所に約 100 枚の太陽光パネルを設置し、年間 21 万 kw を発電している。この地域の年間電力使用量は 19 万 8 千 kw であることから、この地域の電力を自給自足していることになる。さらに当地域では小水力発電も計画している。



図 8 太陽光発電

(6) 風レンズ風車

九州大学の大屋教授が開発されたレンズ風車は、ブレード(羽)の周りにつば付き集風リングをつけることにより、乱流が発生し風車の中心部の気圧が下がり、風がブレードに集中する。この風車は以下の特徴を持つ。

- ・風の集中で、より強い風が風車ブレードに当たる。このことから発電効率 (P (発電量) $\propto U_3$ (風速の 3 乗)) が集風体のない場合に比べて数倍向上する。
- ・低騒音ノイズが発生しない。
- ・Bird strike がない。
- ・風車の向きが風向きに対して自動的に正対する。

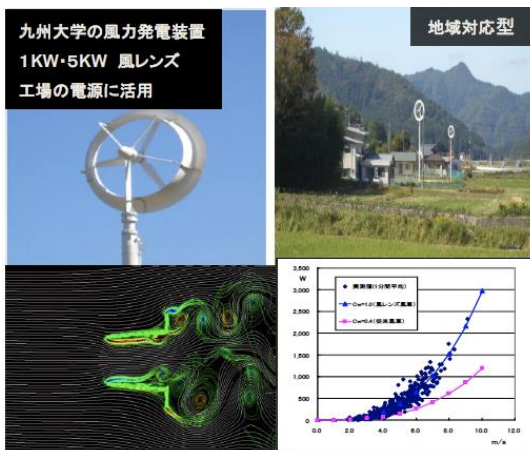


図 8 風レンズ風車

(7) 小水力発電

南丹市美山地区において、京都府が過疎化が進む農山村に賦存するエネルギーを活用して、地域防災の強化と地域振興を目的として

小水力発電を行っている。この発電所は関西電力株が発電していた落差 6m の水路を改修してクロスフロー式の発電機で 1.3kw を発電し、近くの宿泊所や工場に電力を供給している。

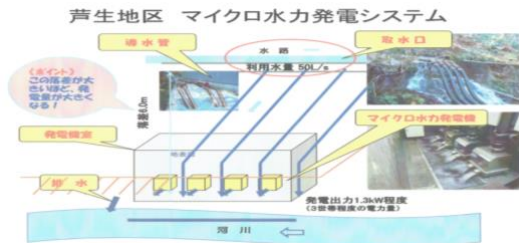


図9 芦生地区の小水力発電システム

京都府京丹後市においては、京都府の補助金を得て既存の水車に発電機を装置して小水力発電を行っている。流量は 0.02m³/s、落差 1.5m で効率を 50% とした場合、発電量は 150w である。電力は穀物の脱穀や製粉、餅つきなどに用いる臼を動かしたり、水車小屋周辺の夜間街灯や電気柵の電源として使用している。



図10 水車による発電

(8) バイオマス資源による熱水供給

南丹市には美山地区を中心として豊富な森林がある。しかし、当地区の間伐材の量はバイオマス発電に長期間安定的に供給するだけの量はないことから、森林整備事業の助成金を受けて平成 23 年(2011 年)にボイラーにより作った熱水を周辺の宿泊施設に供給している。



・主な設備

- ・チップボイラー： 最大出力 300 kW 型式無圧式温水発生器
- ・燃料:生チップ 含水率 120%以下
- ・バックアップボイラー：規格出力 407 kW (燃料:灯油)
- ・貯湯タンク：3,000ℓ
- ・事業費：66,000 千円

図11 平成23年度温室効果ガス吸収源対策森林整備事業

(9) 逆浸透膜による飲料水の供給

地球上の水は 14 億 km³、その内 97.5% が海水で、淡水は 2.5% である。しかも、淡水の大部分は北極・南極の水で、河川・湖沼の水は地球全体のわずか 0.01% である。水がないと人類は 1 週間位しか生きていけない。筆者が顧問を務めるニューメディカ・テック(株)が JAXA(航空研究開発機構)の支援を受けて宇宙飛行士に飲み水を供給する逆浸透膜による飲料水供給装置を開発した。この装置は可搬式で雨水、風呂水、河川・湖沼水、防火用水、プール水、さらには海水でさえも淡水にすることができる。



図12 逆浸透膜の浄水装置

(10) 地熱発電

地熱発電とは、地中数 km 以浅に存在する蒸気を井戸を掘って取り出しタービンを回して発電するものである。使用した熱水は還元井で地中に戻す。

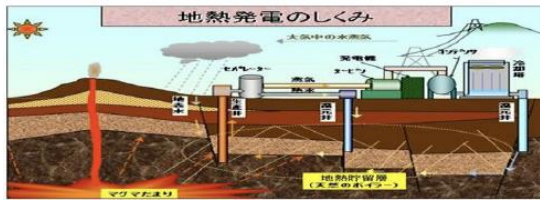


図 1.3 地熱発電の仕組み

日本には 110 個の火山があり、地熱発電のポテンシャルは、100 万 kw の原子力発電の 23 基分にもなるとされている。しかし、現在稼働している発電所の発電量は約 55 万 kw(世界第 8 位)にすぎない。その主な理由としては、①地下深部まで井戸を掘るのに高額な掘削費がかかる。また、掘っても必ずしも蒸気にあたるとは限らないリスク、さらに蒸気を地表に取り出すと、温度と圧力が低下し、蒸気中に溶けていたシリカ等が析出して鉄管を詰まらせるという障害が生じる。加えて、発電所から既存の変電所までの送電線を地熱発電のデベロッパーが架設しなければならないという等の総合的な開発コストの問題、②地熱地帯は自然公園内、あるいはその周辺地域にあることが多いことから、自然公園保護の立場からの公園法の規制による開発地域の限定、③地下から蒸気を取り出すと、既存の温泉が枯渇するのではないかという懸念等がある。

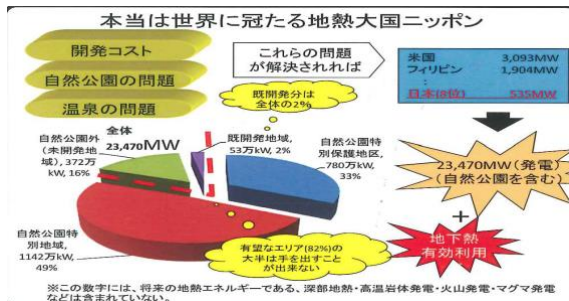


図 1.4 地熱発電のポテンシャルと課題

しかし、最近では地球温暖化の問題があり、純粋の国産エネルギーで、炭酸ガスを発生しない地熱発電が注目され、自然公園の規制緩和、地熱発電に対する理解促進の取り組み、開発コストの低減努力、再生エネルギーの固定価格買取制度(FIT)等により、地熱発電に対する見直しがなされ、平成 11 年(1979 年)の八丈島地熱発電所以降新規発電所の稼働がなかったが、令和元年(2019 年)5 月に筆者が地熱大使を務める秋田県湯沢市で三菱マテリアル(株)、三菱瓦斯化学(株)、J-POWER の 3 社による 46,000kw の新規発電所が稼働した。

(1.1) 地中熱利用システム

地球上の中緯度地帯では、地下深度 100～

200m の地温は平均的に年間通じて約 15℃である。地表の温度を夏場は 30℃、冬場は 0℃とすると、年中 15℃の温度差がある。この温度差による熱エネルギーを利用して夏は冷房、冬は暖房を行うのが地中熱利用システムである。このシステムは井戸を掘り、地中熱交換器に不凍液等を循環させてヒートポンプで熱交換するヒートポンプシステム、空気循環、熱伝導、水循環、ヒートパイプ等の方式がある。東京のスカイツリー地区、東京国際空港国際線ターミナル等の冷暖房や豪雪地帯の融雪等に利用されている。

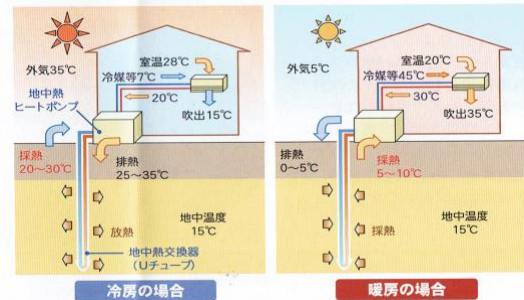


図 1.5 地中熱利用システムの原理

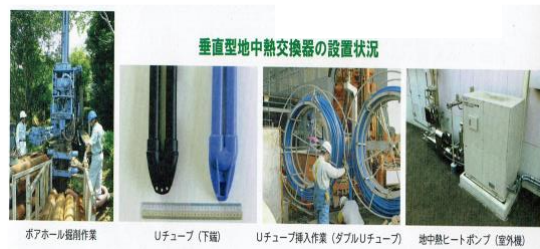


図 1.6 地中熱利用システム設置手順

(1.2) 森林資源の化学素材への変換

三重大学の船岡教授が森林資源を分子レベルでコントロールする常温・常圧で機能する相分離系変換システムを開発した。これはセルロース、セミセルロース、リグニンからなる木材を化学処理して、従来は捨てていたリグニンから新素材リグノフェノールを抽出して新規活用にするものである。新聞紙が変色するのはリグニンが環境に対応しているからであり、また法隆寺が創建後 1,500 年を経ても立派に立っているのは木材に含まれるリグニンによる。筆者もこの技術の実用化のために、徳島県那賀町にプラントを建設する等のプロジェクトに参画した。

リグノフェノールの相変換システムは

- ・リグノセルロース系複合体 (木片等) をフェノール誘導体で包んで、酸水溶液と混合し攪拌すると水中にフェノール誘導体粒子が分散する二層分離系を形成する。
- ・両相の界面でリグノセルロース粒子は短時間酸と接触する。炭水化物は膨潤し加水分解

を受け、一方リグニンにはフェノール誘導体が導入され、細胞壁複合体が緩み始める(1次制御)。

- ・加水分解を受けた親水性炭水化物はフェノール相から水相へと抜け出し(2次制御)、一方変換によって疎水性の高まったリグニンは粒子界面から中心部へと移行する(3次制御)。
- ・攪拌を停止すると、両相の比重差により反応系は機能制御リグニンを含む有機相(上層)と炭水化物を溶解した水相(下層)に分離する。この反応系により最終的に白色粉末状のリグノフェノールが分離される。

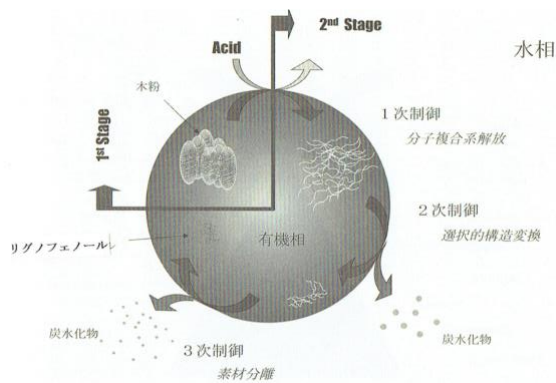


図17 リグノフェノールの相変換システムの原理

天然リグニンのリグノフェノールへの精密転換により、①リグノセルロースプラスチック、②酵素複合系、③金属系、④ポリエステル複合系、⑤電子伝達系、⑥光応答型複合系、⑦炭素構造制御等の様々な機能的活用分野が開けてくる。

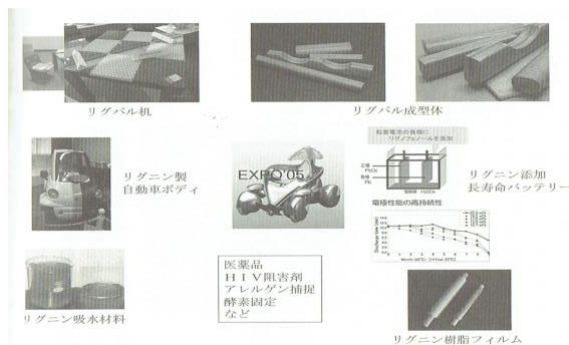


図18 リグノフェノールの活用分野

(13) モデルフォーレスト

南丹市は京都市から列車で30分、車で45分という地の利を活かして、筆者らは京都府の地域力再生プロジェクトの補助金と自己負担の資金を観光協会からの支援を得て、森林の有効活用の事業を行った。具体的には休憩所、炭焼き窯とピザ焼き窯、逆浸透膜浄水装置等を設置した「大鳥羽冒険の森」を平成20

年(2008年)にオープンした。また、離接する山林に「西京都パラグライダー」練習場も設けた。さらに、企業の参加を得て、森林の減少・劣化の防止、地域社会への貢献、従業員の環境教育やボランティア・福利厚生を目的とした「京都モデルフォーレスト運動」に(株)島津製作所の参画を得て活動を展開している。



図19 モデルフォーレストとパラグライダー練習場

(14) 亜臨界水による洗浄および遮熱塗料による環境保全

筆者は亜臨界水洗浄および遮熱塗料による環境保全等の研究を実施するために、IET(Innovative Eco-tech Technology)研究会を創設するとともに、その実用化および実施組織として(株)HotJetを設立した。この研究会は以下の4本柱をテーマとしている。この技術は平成30年(2018年)に京都市ベンチャー企業目利き委員会からAランクに認定された。

(i) 亜臨界水による洗浄

水は1気圧で沸点が100℃であるが、圧力を上げると沸点が上昇し亜臨界状態になる。亜臨界水は、①潜熱と瞬間的水蒸気膨張圧力による水蒸気の数千倍の熱エネルギーを放出する、②水が酸・アルカリの性質を持ち加水分解力が生じる、③水が誘電力の低下でアルコールのような浸透力を持つ。これらの効能により、140~200℃の亜臨界領域の水により洗浄・溶剤不使用で汚れを落とす、さらに洗浄後チタン水溶液(チタン錯体)を含浸させ耐久性を付与する等の用途がある。具体的には、壁面の落書き消し、道路トンネル壁の排気ガスによる汚れの洗浄、文化財等の洗浄、船体に付着した貝殻等の除去、橋梁等の塗膜剥離、水害にあった家屋等の洗浄・消毒等において施工されている。

(ii) セラミック化チタン

有害な紫外線を吸収し、光半導体を使用して常温で強固なチタンセラミック膜を形成する。その結果建物の経年劣化を抑制し、ラディカル効果で汚れも抑止する。既に各種建物の壁面に施工されている。

(iii) 透明遮熱塗料

窓から侵入する紫外線、赤外線、外赤外線を散乱させ、エアコンの温度を年間通じて2~3℃節約できる。既に各種建築物に施工さ

れている。

(iv) 光・熱変換塗料

光のエネルギーをエネルギー変換機能で制御し、塗膜下部への熱還流、蓄熱を軽減させ屋根、壁の極端な暑さを緩和する。



図 20 亜臨界水による洗浄

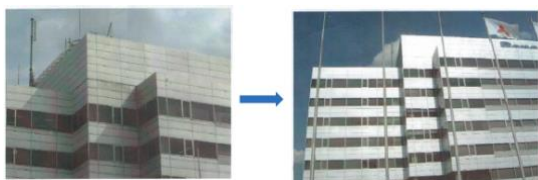


図 21 セラミックチタンの施工



図 22 遮熱塗料の施工

(15) エコパーク構想

上述のように、日本には実用化レベルにある多くの環境関連の技術が存在する。これらの技術を総合的、有機的に組み合わせることでショールーム的なエコパークをオートバイの耐久レースで有名なイギリスのマン島に建設すべきとの構想を掲げ、シンポジウムを開催してマン島政府と交渉を行ったが、資金調達等の問題がありこのプロジェクトは実現しなかった。しかし、何とかこの夢を実現したいと思っている。



図 23 エコパーク構想

3. おわりに

現在、世界の人口は約 72 億人といわれている。この調子で増加すると、エネルギー、食糧の供給において、地球の収容能力の限界を超えると考えられる。今、アフリカ等で生じている飢餓はその現れの一側面であると思われる。動物でも植物でも、増えすぎると自然淘汰されるのは自然の摂理である。

その対策としては、資源は有限という根本理念に基づき、大都市集中の社会構造ではなく、地域に賦存する資源・エネルギーの活用による、地方分散型社会のための地道な実践活動を実行すべきである。そのためには地域の資源、技術、資金の三位一体に加え、地元のその必要性の認識と実現に向けた熱意、地方自治体および地元企業の協力を得て、事業計画を策定し、事業の予算化・実行が必要である。