

# スイスに見られる低エネルギー社会

大久保泰邦<sup>1)</sup>

## 1. 低エネルギー社会

ASPO (Association for the Study of Peak Oil: 石油ピークに関する研究連盟) は、2002年に第1回の石油減耗に関する国際ワークショップをスウェーデンのウプサラ大学で開催した。それ以来ASPOは、インターネットやシンポジウムなどを通して石油ピークに関する情報を発信している(大久保, 2004, 2005)。

石油は、開発の初期段階では生産量は増えるが、有限であることからいつか生産のピークが訪れ、その後減衰する。そのピークのことを石油ピークと呼んでいる。この現象は1つの井戸だけに限らず、地域や国全体でも石油ピークが現れる。事実、米国の石油ピークは1971年であり、北海油田の石油ピークは21世紀初頭であった。

世界の石油ピークはまだ到来していないと考えられているが、実際石油ピークは過ぎてしまわぬと分らない。現在までの石油生産量の推移を見ると2005年にピークがあり(石井, 2011)、すでに世界の石油ピークが訪れている可能性がある。

石油は輸送の燃料、石油化学の原料、電力の燃料となる。さらに石油は石油化学製品である肥料、農薬の原料となることから、石油生産量は食料生産量も左右している。

石油生産量の減退によるエネルギー供給量の減少は、原子力発電などの他のエネルギーによって補えるだろうと楽観的な考えが支配的であったが、2011年3月11日の地震・津波とその後の原発事故を考えると、実際はそうはいかないようである。

つまり石油ピーク後は、エネルギーの大量生産、大量輸送、大量消費でなく、エネルギー全体量が少ない社会、すなわち「低エネルギー社会」となる。

低エネルギー社会の例はキューバにある。これについてはThe Community Solution (2004)が報告しており、その邦訳は大久保(2005)の中に宮野素美子訳がある。キューバでは1991年ソビエト連邦崩壊後、石油輸入が途絶えた。しかし、石油に依存する工業社会から徹底した労働集約型有機農法を中心とした分散社会を築き上げた。そこ

では、農村地帯で作物を育てる技術者は非常に大切にされ、都市に住む人たちは裏庭を耕し、放棄された土地や、閉鎖された製糖工場の敷地を利用して、野菜生産や林業を行っている。また輸送に関しては、遠距離輸送は避け、近距離輸送にとどめて、地元で生産、消費するいわゆる地産地消である。

著者は2011年6月～2012年5月、スイスのジュネーブに滞在した。その間スイス社会に接し、周辺国と違う社会、価値観を発見した。それは将来の低エネルギー時代においても生き残れる社会である。ここではこの経験に基づいてスイス社会を紹介する。

## 2. スイス社会

スイスは周辺国との長い戦争によって独立を勝ち得た連邦共和国であり、永世中立国である。またその豊かな自然を生かした畜産業、観光業や高付加価値の精密工業などで、1人当たりのGDPが日本以上の3万3千ドル程度と高い生活水準を保っている。そこには低エネルギー社会の要素がいくつも発見できる。

スイスは、13世紀に3つのカントンが同盟したことから始まり、その後、次々と周辺のカントンがこの同盟に加わって現在の姿になった。現在26のカントンがある。スイス人の起源はローマ帝国末期、ゲルマン民族の移動に伴って移り住んできた人々であるので、カントンの原型はローマ帝国時代末期にはすでにあったと考えられる。そこに住む人々は中央集権を嫌い、民主主義を好む。そのスイス形成の長い歴史を考えると、カントンは「州」というよりはむしろ「邦」に相当し、その連合体であるスイスはまさしく「連邦」である。カントンは人間集団の基本生活を営むための要素を有した自立した地域である(森田, 1980)。

永世中立国は、まさに周辺国との戦争の果てに勝ち得たものである。スイスは酪農が主体であったので、15世紀以降恒常的な穀物不足となった。そこで、傭兵となって稼ぐことが産業になっていった。16世紀、スイスはフラン

1) 産総研 地質分野研究企画室

キーワード: スイス, 低エネルギー社会, 電力, 地熱, バイオマス, バイオリージョン

スに敗れ、それ以来スイス傭兵はフランスに忠誠を誓い戦った。ルツェルンには、ルイ 16 世を守って死んでいったスイス傭兵達の悲劇を描いた「嘆きのライオン」の像がある。

傭兵の歴史は、スイス人独特の自立心を育んだ。それは、特定のイデオロギー、国と強調しないことである。そのため、スイスの「永世中立」とは、将来もし他国間で戦争が起こっても国としてはその戦争の圏外に立つことである。傭兵が産業となり得たのは、国が中立であったから、個人はお金でどこに対しても戦えたのである。現在、傭兵の名残をバチカン市国に見ることができる。16 世紀初頭以来、バチカン市国の衛兵はスイス兵である。

しかし現在の永世中立の維持は大変である。軍事的な同盟国がないため、他国からの軍事的脅威に遭えば自国のみで解決しなければならない。国民皆兵制で強力な軍隊を持ち、危機に備え、食料の備蓄も行っている。スイスのパンがまずいのは、長期間備蓄した小麦が原料だからと言われている。核シェルターも住宅やオフィスビルに備え付けられている。日本のようないわゆる平和主義や非暴力非武装とはまったく異なる概念で、自分たちの課題は自分の力で解決するという意識である。

### 3. 電力事情

2008 年におけるスイスの総電力量は約 6 万 9 千ギガワット時で、日本の約 16 分の 1 である。人口は日本の約 16 分の 1 に当たる 790 万人なので、1 人当たりの電力消費は日本とほぼ同じということになる。電力生産の一番はアルプスの水を使った水力で 55%、約 3 万 8 千ギガワット時である。水力に続いて原子力が 40%、石油・天然ガス火力や自然エネルギーなどが 5% である。

スイス連邦政府は、長期的視点に立ったエネルギー供給の変革を目指して「Energy Concept 2050」を設計した。この骨子は、エネルギー効率の向上、水力と自然エネルギーの拡大である。2011 年 5 月には、福島原発における事故を受けて、2034 年までに、「脱原発」を実現することを決定した。スイスでは現在 2 万 5 千ギガワット時程度を 4 発電所 5 基の原子力で発電しているが、今後徐々に廃炉されることとなる。

この原子力発電に代わるものとして注目されているのが、風力や太陽光などの自然エネルギーである。

しかしその実態を見ると課題は山積である。2008 年の統計を見ると、ゴミ・バイオマス発電が全体の発電量の



写真 1 インターラーケンの夏だけに現れる滝。

3.5%をしめている。ゴミやバイオマスは発電の他、熱利用も盛んである。しかし太陽光発電や風力発電は合わせても 0.1%にもならない。地熱発電も大きな注目を浴びているが、まだ計画段階で発電量はゼロである。

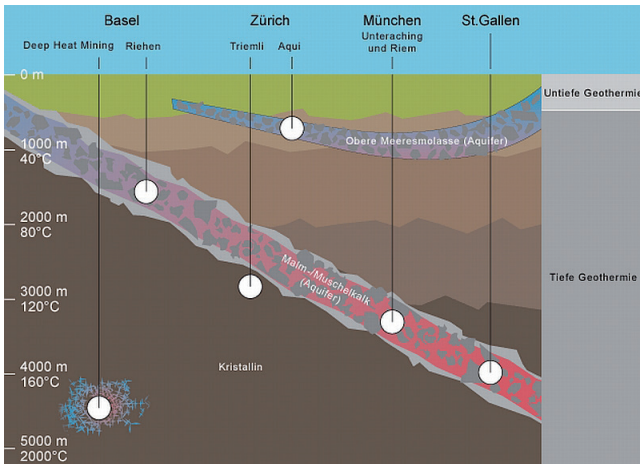
スイスは、夏は涼しく冷房はいらないが、冬は寒く暖房が必要である。そのため電力ピークは冬の正午前である。しかし夏の間は雪解け水で水量が豊富であるが、冬になると山の上は雪で川は凍結し、水力の出力は低下してしまう(写真 1)。

またスイスの原子力についても、雨量に左右される。日本の火力・原子力発電所は全て海沿いに立地し、タービンを回す蒸気の冷却を海水で行っている。福島原発の冷却システムが津波に襲われたのもこのためである。しかしスイスの場合、海がないこともあって、川の水を利用して、冷却塔（日本では地熱発電所でよく見かける）で蒸気を冷却する。そのため津波の心配はないのであるが、水不足になると冷却水が不足して発電量が落ちる。

このため冬季の電力料金は夏に比べ高い。価格を上げることによって電力消費を抑える努力をしている。しかしこれも市民の協力があってこそできることである。

### 4. 地熱開発の試み

スイスでは各地で温泉が発見されている。これらはローマ時代から病氣や怪我、疲労回復に利用されていた。中世の時代には湯治場であるとともに社交場として発展したそうである。ジュネーブからレマン湖沿いを通り、さらに東へ行った、車だと 2 時間強の距離に、標高 1140 メートル、アルプス最大のテルメ（温泉）、ロイカーバードの村があ



第1図 スイスにおける地熱系モデル。  
Stadt St. Gallen Geothermie-projekt のホームページより。  
<http://www.geothermie.stadt.sg.ch/aktuell/geothermie-projekt-stgallen/> (2012/11/25 確認)。

る。この温泉は65の源泉から1日350万リットルのお湯が出るそうで、かなりの水量である。この温泉の源は、1000メートル以上の地下深部に位置する花崗岩と考えられている。ザンクト・ガレンにおける地熱開発もこの花崗岩を熱源としたものである。ザンクト・ガレンはスイス北東に位置し、7世紀に建てた小さな僧院が起源で、現在では繊維工業の中心地として栄えた町である。2010年11月28日、住民投票を行い、80%の多数で地熱開発を進めることにした。

計画は壮大である。まず最先端技術でありまた高額な3次元地震探査を行い、地下構造を調べた(第1図)。その結果から地下4000メートル付近に帯水層があると予想し、ボーリングを開始した。この予算の大部分は市民が支払う住民税や所得税といった直接税から歳出されている。地下を掘るので、それに伴って地震が起きないかと気になる市民もいるので、データは全て公開されている。現在のボーリングの進捗状況もこのプロジェクトの公式サイトで知ることができる。

スイスの地熱開発は、ザンクト・ガレンだけでなく、いくつかの地域で計画されている。しかし、どれも日本のように高温、高圧の地熱蒸気によってタービンを回して発電するまでには至らないと思われる。結局は、100℃程度の低温でも発電できるバイナリー発電になるか、暖房、給湯などの熱利用となると思われる。

この地熱開発には多額の経費がかかり、大きなリスクもある。それでも市民が自分の判断で、自分たちが納めた税金を使って4000メートルを掘ると決断したことになる。スイスの政治は、スイス市民のボトムアップによって成立していることがよく分かる。また自治体の活動は完全に透



写真2 森に囲まれたスイスの町では薪や木質ペレットが燃料になる。

明であることも、市民自身が判断したことであるからこそである。エネルギー問題も、自分たちの問題で、自分たちで解決することである、という認識である。

## 5. バイオマス資源の活用

日本では暖房用に薪を使っていたが、今は石油などに代わってあまり使われていない。しかしスイスでは、薪、木質ペレットなどの木材の利用が盛んである。

木材をエネルギー源としようとしたときの最大の欠点は、石油に比べエネルギー密度が小さいことである。木質ペレットの場合は1リットルあたり10メガジュール程度で、石油の3分の1以下である。そのため収集になるべくエネルギーを使わないことが重要である。

欧州は小都市を中心としてその周辺に農地、森林がある(写真2)。その森林からたくさんの木材が生産されている。欧州の森林1ヘクタール当たりの丸太生産量を見ると、日本よりはるかに多いことが分かる。自産の木材は製材工場や合板工場で加工される。この木材の加工に伴って、樹皮、おがくず、背板、端材などさまざまな木くずが出る。これを木質ペレット、木質チップ、薪として加工し、地元で消費する(熊崎, 2011)。スイスでは森林から建物への木質バイオマスの供給網がそれぞれの地域で直径30キロメートル程度の単位でできあがっている(滝川, 2009)。このようにして収集に使うエネルギーを削減している。

## 6. 建築も低エネルギー

スイスには高層ビルはほとんどない。あるのはカントン



写真3 ジュネーブの旧市街の建物。

の中心となる小都市の数階建ての商店や住宅である（写真3）。

冬は寒いので暖房は必需品である。住宅やオフィスは断熱を高め、暖房の効果を上げる。暖房には、薪、間伐材を砕いたチップ、おがくずを圧縮したペレットといった木質バイオマスを使ったり、地中熱を利用したりする。

しかし、夏は30℃程度には気温は上昇するが、比較的湿度が低いので冷房なしでもすごせる。そのため一般家庭にはクーラーはない。その代わり風通しを良くする。ローテクで快適なソーラー建築（石川，2009）は、冬、太陽熱をそのまま暖房に使う。つまり陽だまりを利用する。夏は自然換気である。スイスではソーラー建築が普及しつつある。

建物を作る時も冷暖房効果の他、建材の原料に使うエネルギーを少なくする努力もする。どこでどのように採掘、栽培、収穫され、どのような方法でどのくらいの距離を輸送したか、どこでどのように加工されたか、などによって使うエネルギー量が変化する。この観点で考えると、地元で生産したものが最適である。建材も地産地消が推奨されている（滝川，2009）。

## 7. 低エネルギーの産業

スイスの国土は日本の九州よりやや広い程度と狭く、さらに多くは美しいアルプスの山々で覆われ、耕作可能な土地はあまりない。そのため国内で生産される食料だけでは自給自足には不十分である。これといった天然資源もないため、スイスは食物から工業製品用の天然資源まで輸入に頼らざるを得ない。そこで外貨を稼ぐため、国外に市場を求め、国外から輸入した原料を加工して、製品の輸出を行



写真4 宗教改革者像。

っている。ここまでは日本とそっくりである。しかし、日本と違っている点はこの先である。

スイスは他のヨーロッパであるような農民が土地を追われて工業労働者化するのではなく、農民と工業労働者が混合した形態をとって発展したため、大量の労働者を必要とする大規模工場ではなく、小規模工場が多数発生した。ここでは、大量生産ではなく原料や半製品を輸入し、独自の高度な技術を磨き、高品質のブランド商品を作っていた。こうして国際市場で勝ち残り、狭いスイス市場だけでなく、世界市場を相手にして高い収益を上げるに至った。2003年には、スイスに輸入された品目は約2.25倍の価値の製品になって国外に輸出されている。ヨーロッパの歴史の中で生まれたスイス固有の産業構造である。

主な製造業は、機械・電気産業、製菓産業、時計産業である。この中で時計産業は、ロレックスに代表される高級時計で有名である。スイスの時計生産高は世界の時計全生産高の5割を占め、2002年の統計ではスイス時計1個の平均輸出価格は362フラン（3万円強）であった。

この時計産業の元は、16世紀の宗教改革の時、主にフランスからやってきた宗教難民が手に持っていた技術である。ジュネーブの旧市街南端にあるバスチヨン公園には、ジュネーブでカルヴァン派の宗教改革を推進した4人の、高さ6mという巨大な立像がある（写真4）。しかし、このうち3人はフランス出身者、もう1人はスコットランドの出身で、4人とも宗教難民であったわけである。

宗教難民が持ってきた技術にスイス人の勤勉さと正確さが加わって、300以上の部品からなる高級時計が作られた。高級時計を1つ作るのに手作業で150時間、有名な時計職人による名作は完成までに2000時間を要すると言われている。時計の販売価格のうち材料費が占める割合はごく



写真5 スイス国内を縦横に走る鉄道。

一部でほとんどが人件費である。

1人当たりの年間二酸化炭素排出量では、日本は米国の約20トンに対して約10トンと少ないことから、エネルギー効率の高い社会であると自負している。しかしスイスは5.5トンと22のOECD高所得国の中で一番少ない。それに比べれば日本は、22か国中16番目である。

2011年における1人当たりの石油消費量は、日本が年間12.6バレルに対し、スイスは10.9バレルである。1人当たりのGDPはスイスが上であるので、スイスはいかに少ない石油消費で大きな利益を上げているかが分かる。

## 8. 脱石油を目指す輸送

スイスのカントンの中心都市には必ずと言っていいほど路面電車、バス、電車といった公共交通機関が整備されている。自転車レーンは車道に設けられ、充実している。多くは、バスレーンと共有である。バスは自転車を優先させるので、市街地での自転車での移動は比較的安全である。ジュネーブでは、自転車やローラースケート、キックスクーターで通勤する姿も良く見かける。町自体がそれ程大きくないこともあり、自動車がなくとも十分都市内を移動することができる。

鉄道も発達しており、スイスに限らずヨーロッパのどこへでも電車で行ける。南西端のジュネーブから北東端のザンクト・ガレンまでは電車で4時間である。鉄道は、スイスの重要な産業である観光産業を支える柱にもなっている(写真5)。

スイスの鉄道には自転車を乗せることができる専用の車両もある。そこで、自宅から駅までは自転車、駅から目的の駅までは鉄道、その駅から目的地までは自転車というふ

うに移動することができる。

スイスは、道路輸送から鉄道輸送へというモーダルシフトを積極的に行っている。アルプスを通過する貨物鉄道の輸送量は、スイスでは輸送重量の64%を占めている。お隣のフランスのアルプス通過の鉄道輸送は23%、オーストリアは27%で、両国とも依然として鉄道より道路輸送が主体となっている。

## 9. 石油を使わない農業

農耕機械の燃料、ハウス栽培の暖房に石油を使う。また肥料、農薬、ビニールなどのプラスチック製品は石油化学製品である。また牛などの家畜は輸入した飼料によって育てられている。この飼料となる穀類は石油を大量に使う工業化農業によって栽培されたものであり、牛は自分の体重の約10倍の穀類を食べるので、我々は大量の石油を食べていると言っても過言ではない。つまり現代の農業・畜産業では大量の石油を使っている(Boys, 2011)。ところがスイスでは畜産と作物農業が一体化した石油消費の少ない農業を行っている。

スイスと言えば、アルプスの少女ハイジ、アルプスに広がる畜産業が思い浮かぶ。写真6は、夏季、山で放牧していた牛を、秋になって山裾の牛舎へ移動するお祭りの様子である。

第1次世界大戦以前、穀物は自給できず、輸入に依存していたが、第1次大戦が終わると、穀物は不足し、配給制になった。これを契機に酪農に偏っていたスイスの農業を穀物、野菜の増産へと変換していった。

具体的な政策は、農用地の義務的耕作、買取保証、価格助成、輸入制限、輸出補助金などである。これによって高収入が保証され、小規模経営が存続し、国土の分散的居住が維持された。この結果自給率は上昇し、例えばパン穀物は1920年代では25%だったのが、1980年代半ばにはほぼ自給できるようになった。

しかし1990年代になると、周辺国からスイスの保護政策に対して反発が起きた。そこで1996年には、新しい農業政策への移行のため国民投票が行われた。他国の圧力に屈せず、国民の意思で、食料の供給、自然生活基盤の維持、農村の景観保全、地域分散居住に重点を置くことにし、価格を下げることも、安全性、環境保護を第一とする政策を選択した。

さらに環境への意識も強く、自然で持続可能な環境配慮の農業、動物にあった飼育の牧畜を推進している。例えば、



写真6 秋、牛を山から下ろす「牛祭り」。

様々な微生物や植物、土を耕してくれるミミズ、自然な受粉を手伝ってくれる蝶や蜂など自然にある多様な生物環境を利用して、無農薬で化学肥料は使わず、遺伝子工学も使わず、できるだけ新鮮な旬の農産物を栽培している。また、不必要な着色や香料添加もせず、輸送にエネルギーも極力使わない。畜産においては、鶏を狭いケージに閉じ込めて飼育することはせず、牛は自由に移動でき、休息所には敷き藁が敷かれていて、光と換気が十分な環境で飼育する。家畜のえさに抗生物質やホルモン製剤を添加することはない。自然、畜産と作物農業は一体となり、石油消費は少なくなる。

## 10. まとめ

「バイオリージョン」とは、国境や行政区分といった人間が決めた地域ではなく、生態学の観点から定義された地域である。それは陸地や海や湖があり、山、平野、海、川など地理的に異なった場所でさまざまな生物が生息している地域のことである。魚介類、コメ、野菜、果物、衣服のための繊維、動物たんぱく質を供給する牧草地、家や燃料のための木材などが、一つのバイオリージョン内で確保される。そのため、ほかのバイオリージョンとの交易なしでも人びとは基本的な生活を送ることができる(Boys, 2011)。スイスのカントンはこのバイオリージョンに相当する。

江戸時代の日本は、藩が独立し、他藩との生産物の交易や労働力の移動もほとんどなかった。藩札があり、経済もそれぞれの藩で独立していた。つまり藩がバイオリージョンであった。しかし明治維新以来欧米に追従し、現在は地方から都市へ物、人、エネルギーが流れ、バイオリージョンは崩壊した。

ところがスイスは欧米の大量生産、大量輸送、大量消費の流れに逆らって生き、バイオリージョンを維持している。スイス社会を見ると、低エネルギー社会に必要な要素がたくさん見られる。その要素の最大のものは、国民一人一人が自立する心、中央集権を嫌い民主主義を好む心を持っていることである。この心があるため、エネルギーや食料をなんとか自給しようと努力する。

この自立心、民主主義の精神はスイス成立の歴史によると考えられる。スイスは、自立したカントンが一つ一つスイス連邦に加盟していったことによって成立し、その意味で真の連邦国である。

スイスは穀物栽培の適地が少なく、輸入せざるを得なかった。昔、外貨を稼ぐ産業がなかった時代、他国のために戦う傭兵が産業となった。自分の血で食料を確保したのである。

また農民と工業労働者が混合した形態をとったため、小規模工場が多数発生し、大量生産ではなく高度な技術による手作りの工業が発展した。1人当たりの石油消費量を見ると、日本より少なく、いかに少ない石油消費で大きな収入を得る工業生産をしているかが分かる。

スイスは一次エネルギーの確保が難しくなっても、現在の生活を維持できるであろう。その最大の要素は、自分の周りの問題は、自分で考え、自分で解決する自立心である。この点キューバが周辺の大国の力に屈せずに孤高を守る精神と通じるところがある。

日本では江戸時代の藩がバイオリージョンであったが、それは幕府によって強制的に作られたものであり、スイスやキューバのような市民の意思で作り出したわけではない。日本の歴史や国民性を振り返ると、自給自足ができるバイオリージョンを作ることは難しいということになるのであろうか。

文 献

- Boys, A. F. F. (2011) 石油ピーク後の食料をどうするのか. 石油文明が終る 3・11後、日本はどう備える, 石油ピークを啓蒙し脱浪費社会をめざすもったいない学会, 東京, 105-125.
- 石井吉徳 (2011) 崩壊するエネルギー基盤, 世界はその先に何を見るのか. 石油文明が終る 3・11後、日本はどう備える, 石油ピークを啓蒙し脱浪費社会をめざすもったいない学会, 東京, 5-30.
- 石川 宏 (2009) 太陽熱利用住宅のEPR評価. もったいない学会web学会誌, 3, 13-17, [http://www.mottainaisociety.org/mso\\_journals/volume3.html](http://www.mottainaisociety.org/mso_journals/volume3.html) (2012/11/29 確認)
- 熊崎 実 (2011) 木質エネルギービジネスの展望. 林業改善普及双書, no. 167, 全国林業改良普及協会, 東京, 250p.
- 森田安一 (1980) スイス 歴史から現代へ. 刀水歴史全書16, 刀水書房, 東京, 304p.
- 大久保泰邦 (2004) 石油枯渇に関する第3回国際ワークショップに参加してーエネルギーの将来はー. 地質ニュース, no. 603, 34-39.
- 大久保泰邦 (2005) 石油減耗時代が到来?ー石油枯渇に関する国際ワークショップの議論からー. 地質ニュース, no. 615, 14-23.
- 滝川 薫 (2009) サステイナブル・スイス, 未来志向のエネルギー, 建築, 交通. 学芸出版社, 京都, 223p.
- The Community Solution (2004) Cuba: life after oil. *New Solutions*, no. 2, 1-7, <http://www.communitysolution.org/pdfs/NS2.pdf> (2012/11/29 確認)
- 
- OKUBO Yasukuni (2013) A low-energy society in Switzerland.
- 

(受付:2012年11月29日)