

## 論 説

# 小水力を核としたエネルギーの地産地消 ～エネルギー新時代へのパラダイムシフトに向けて～

富山国際大学 教授 上坂 博亨

### 1. はじめに

「繩はこれでいいがけ？」

「ちょっと待たれ、今かけっちゃ！」

こんな会話が聞こえてきそうな写真がある。図1は「螺旋水車」(田中, 1990) に掲載された1928年の富山県砺波平野における農民の姿をとらえたものである。1920年代は水車の普及期で、富山県の農村地帯にも急速に水車の利用が拡大していった。ここで用いられている水車は、「らせん水車」と呼ばれるタイプである。この水車は粉ひきなどに用いられる上掛け水車



図1 1928年頃、用水路にらせん水車を設置しロープを張る農民たち。(田中勇人, (1990) より)

とは異なり、低落差低流量の農業用水路などに支持台を使って設置するだけで稼働することができる、可搬性が高く使い勝手の良い小型水車である。1930年代は水車最盛期と呼ばれ、らせん型の他にもペルトン型、タービン型などの水車が地域の鉄工所で開発製造され農村に販売されていった。

さてここで重要な事がある。写真奥に見える大八車は農民が水車を自ら運ぶために使ったものであろう。また農民自らが水車を設置し、その奥方であろう人と協力してロープを張って、自らの努力で労働を助けていることに注目したい。つまり当時の農民には、自らの知恵と技術で動力(エネルギー)を自給し、自らの労働を効率化し、それを維持改良する力があったという事である。

しかし、戦後の電動機や発動機の普及とともに農民は水車を捨て、スイッチ一つで思いのままに動く便利で強力な動力へと切り替えていった。そして電動機や発動機のエネルギーである電力や燃料を確保するために「お金が手に入る農業」へとシフトしていった。その結果「エネルギーと食糧の源泉地」としての農村の機能が徐々に消失し、自らが管理不能なエネルギーシステムに生活をゆだねる、現在の都市型農村ができあがることになる。

このような変化は農村だけにあるものではなく、大量生産・大量消費型の近代化が生み出してき

た大きな流れである。しかし2011年3月の東日本大震災をきっかけとして、この流れを見直すとする様々な動きが始まっている。とりわけ化石燃料や原子力に大きく依存しているエネルギー分野においては、再生可能エネルギーに大きな注目が集まっており、全国各地で様々な取り組みが始まっている。本稿ではまず石油を中心とする化石燃料の現状と将来を概観し、人口問題にも軽く触れながら日本のエネルギー・シナリオについて考える。そして忘れかけている地産地消のエネルギーの意義について小水力発電による実例をご紹介しますながら再考してみたい。

## 2. 化石燃料依存と石油ピーク

世界最大の油田は1948年に発見されたサウジアラビアのガワール油田 (Ghawar Field)、第2の超巨大油田は1938年に発見されたクウェートのブルガン油田 (Burgan Field) である。この2大油田は、第3位のサファニヤ・カフジ油田と比較しても優に2倍以上の埋蔵量を誇るとびぬけて巨大な油田である。しかしともに発見年は古く、ガワール油田は60年以上、ブルガン油田は70年以上も前にさかのぼる。それ以降にこの二つの油田をこえる超巨大油田は発見されておらず、在来型の石油生産量がやがてピークを迎える事は明らかである。問題はその時期である。これについてアメリカの地質学者でASPOの創始者でもあるコリン・キャンベル

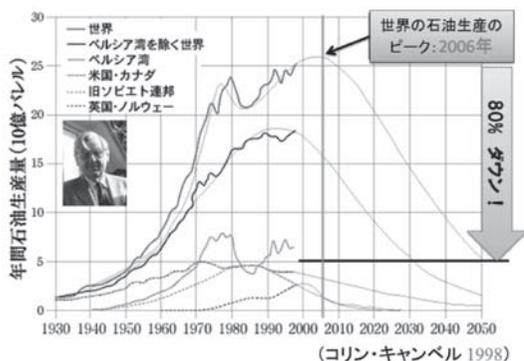


図2 在来型のオイルピークは2006年

(Colin Campbell) は1998年の論文で世界の石油生産のピークを2006年と予測した (図2)。そして2010年にIEA (国際エネルギー機関) が2006年であったことを指摘している (National Geographic News, 2010)。キャンベルの予測が正しいとすれば在来型オイルの将来動向は図2の様になり、石油生産量は2050年頃には現在の20%程度に落ち込む予測となる。

シェールガスの採掘技術が開発された事により天然ガスの可採年数が100年以上延長したとの報道もあるが、化石燃料は有限であり、いつかは限界を迎える。まだ化石燃料が利用可能のうちに、脱化石燃料へのシナリオを考える必要があることをピークオイルが警告していると考えるべきではないか。

## 3. 人口減少とその行く末

弥生時代から江戸初期までの日本の人口は波打ちながらも緩やかに増加し1600年頃には約1200万人であった (人口問題研究所, 2012)。その後、江戸時代初期にかけて増加するものの、1700年代に入り人口が3000万人のレベルを超えて停滞する。この時代の人口停滞は、鎖国状態の中で農業の技術水準が低く食糧とエネルギーが満たされない事で、国土の上で養える人口が頭打ちとなっていたと解釈される (鬼頭, 2011)。そして幕末、開国により海外との交易が回復する明治初期から人口は再び急激に増加

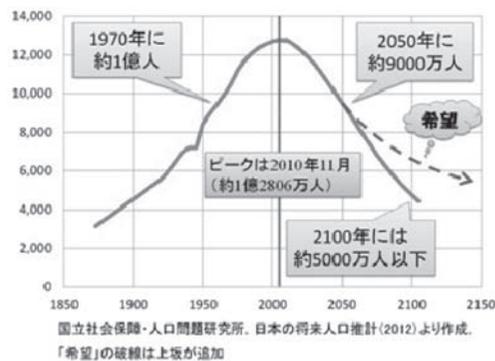


図3 日本人口は2050年に9000万人前後に

し、1964年には1億人を突破するまでになった。ところが急激な人口増加は政府主導の少子化政策（1974）により抑制され、2007年には死亡率が出生率を上回る自然減が始まる。その結果2010年11月の1億2806万人をピークに我が国の人口は減少に転じた（図3）。その後しばらくは加速度的に人口減少し2050年には9000万人前後まで落ち込むと予測されている。そのまま減少を続ければ2100年には5000万人を割り込む予測となるが、できる事ならその前に下げ止まり、5000万人程度を残して安定することを望みたい。ここで重要な事は、今後30~40年の間に急激に人口が減少する事により、日本全体のエネルギー需要も低下することである。このことが次章のエネルギー・シナリオに影響を与えている。

2050年、2100年の話となるとずいぶん先の事のように思われるかも知れない。しかし2100年頃に安定した人口に落ち着くためには、いつか必ず人口減少率が徐々に小さくなる変化をしなければならぬ。現在は人口減少が徐々に大きくなっている状況であるから、2100年までの人口変動カーブの途中に「上に凸」から「下に凸」への変曲点が必ず存在することになる。要するに人口が「下げ止まる兆候」がその変曲点である。2100年頃に人口が落ち着くためには、おおよそ2050年前後に「変曲点」が存在することが妥当であろう。そして変曲点を形作るのはそのころに出産適齢期を迎える若い夫婦である。そしてその夫婦たる若者が生まれるのは更にさかのぼる20年~30年前ということになるので、重要な変曲点を担う人材は2020年頃に生を受ける若者たちという事になる。教育の視点で考えると、そのころの若者への教育が「変曲点」を左右する可能性があるとも言える。重要な時期である。

#### 4. 日本のエネルギー・シナリオ

東日本大震災直後の2011年5月、千葉大学法経学部倉阪研究室により「再生可能エネルギーによる 原子力発電代替プラン」が公開された（図4）。これによると2012年の需要量約7000億kWhは、2040年に向けて大きく減少する予測となっている。この要因としては、①国民の努力による15%程度の省エネ、②電化製品のエネルギー効率向上、③人口減少、④自然エネルギー（主にバイオマス）の熱代替による電力需要減が挙げられており、人口減少による需要減少効果が将来に向かって大きく効いている事が解る。その結果2040年における電力総需要量は5200億kWh程度とされている（倉阪、2011）。

一方その電力需要を満たすための電源構成については、原子力発電所を耐用年数40年で順次閉鎖するとして、その不足分を再エネおよび大規模水力と化石燃料で補う形で必要量を見積もっている。これによれば2040年には再エネ電力（太陽光・風力・小水力・地熱）が総需要量の50%強を占めることになる（図4）。現実的な問題としては50%強の再エネ電力を電力系統に送り込むことは、現状の電力供給体制のままでは電力品質の確保の点で困難と思われる。とりわけ太陽光発電と風力発電による電力は自

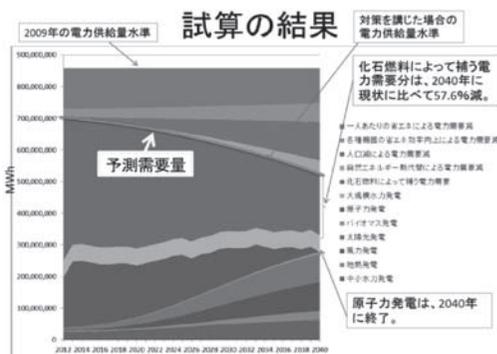


図4 2040年までのエネルギー・シナリオ（倉阪秀史、(2011)より）

然条件によって電圧が大きく変動する性質があり、それが総電力の30%前後を占めるとなると何らかの電力安定化策を講ずる必要がある。長期的には太陽光や風力による電力を利用する社会が到来することを考えれば、不安定な再エネ電力を安定化させるための安全で安価な手段を模索していくことは重要であろう。将来的に蓄電型の自動車（EVなど）が普及すれば1車両あたり20kWh程度の蓄電池を備える事になるため、これが地域の電力安定化に貢献する可能性もある。また必ずしも蓄電池などによる安定化ばかりではなく、電力品質低下の許容範囲を調査したうえで、品質の高い電力と低い電力を分離して使用する電力インフラの構築なども考える解決策である。さらには電力管理の地域化により、地域の特色に合わせた生活電力確保のための地域インフラ（地域グリッド）などへも発展の可能性がある。

## 5. エネルギー地産地消の意味

地域に賦存するエネルギー資源を地域で利用する、すなわちエネルギーを地産地消することの意義についてはすでに新妻（2011）が概念を整理している。その中ではエネルギーを「流通エネルギー」「自給エネルギー」「戦略エネルギー」の3つに分類している（表1）。流通エネルギーとは、現代社会において我々が普通に利用しているエネルギーであり、商品化され貨幣で

流通 エネルギー	商品、売り買い 貨幣で置き換えられる価値 不特定多数が対象、利便性・価格・ カロリー・ワット・事業・採算・効 率・流通・競争・優劣
戦略 エネルギー	国家規模 数値・政策 都市側の問題
自給 エネルギー	生活必需・自然の恵み・自然との共 生・生産の喜び・相互扶助・健康・ 安心・生活の豊かさ・食の豊かさ・ 一家団欒・多様な関係性

表1 三種のエネルギー(新妻弘明, (2011)より)

置き換えられる価値をもつものである。戦略エネルギーとは国家規模でエネルギー問題を考える際のエネルギーの概念であり、実体よりも数字に重きが置かれる。地産地消のエネルギーはこのうち自給エネルギーに属する。自給エネルギーはエネルギー源とその利用者が直接つながっており、生活必需のエネルギーとして自分のために創生して自ら利用するという特徴がある。そこでは自然との共生をはかりながら持続可能な状態で利用する必要があり、このエネルギー利用は地球の生態系の多様な関係性のうえに成り立っている。自給エネルギーは一般には小規模でコスト高、低品質であるため、高品質のエネルギーを格安で簡単に購入できる現代ではエネルギー地産地消の意味が解りにくくなっている。しかし2011年の東日本大震災時に見られたように、災害などで広域的な停電が発生すると、流通エネルギーのみに依存した社会では即時に電力不足に陥り、まず生活そのものが危機にさらされることになる。自給エネルギーを確保し日ごろから利用する事で、非常時にも少なくとも生活の為のエネルギー確保が期待できるのである。逆に自然条件によって自給エネルギーが確保できない場合には流通エネルギーに切り替え、生活の為のエネルギーを確保することも重要である。この様に生活の為のエネルギーを受け取る道筋を二つにしようという考え方デュアル・エネルギー・パス

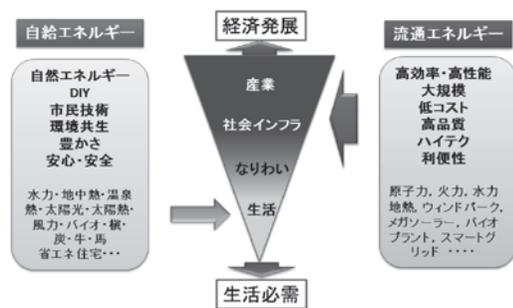


図5 自給エネルギーと流通エネルギーにより生活を支える(新妻弘明, (2011)より)

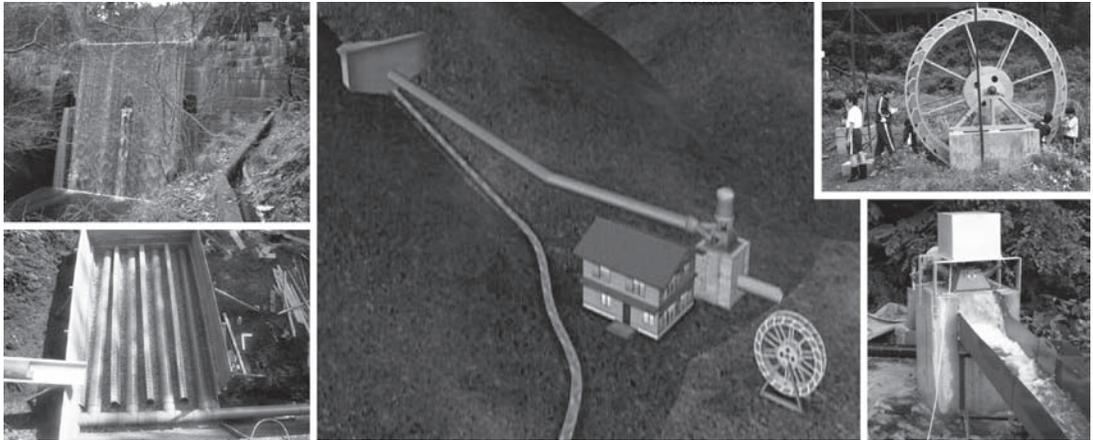


図6 富山市土（土遊野）の農家の電力自給システム全体の模式図（中央）、砂防堰堤（左上）、浸透取水装置（左下）、自作した400Wの上掛け水車（右上）、1kWのターゴインパルス水車（右下）

供給路を二重化できる事がエネルギー地産地消のもたらす大きな意味であり「デュアル・エネルギー・パス」と呼ばれている（図5）。

地産地消のエネルギーは一般に規模が小さく、国家的エネルギー計画の中に算入するとその貢献度の小ささに途方に暮れる。しかし地産地消のエネルギーを作り出すことによって数々の恩恵がもたらされる事に注目したい。それは①地域の資源活用に関する様々な知恵と技術の蓄積（継承）、②地域の資源と技術を維持するための新しい労働の創出、③自然エネルギーの利用により価値を地域内で循環できる事などである。地産地消のエネルギーは天下国家を支えるものではなく、地域と住民の生活に必要な地域の為の資源である。

## 6. 富山県の山間地農家における実験

地産地消エネルギーの考え方に基づいて、山間部の農家において小水力を用いたエネルギー自給の実証実験を実施した（上坂, 2011, 図6）。実験地点は富山市の神通川上流部にある集落で、有機農業を営む1軒の農家の電力を小水力発電によって賄おうとするものである。本システムでは、農家の裏山を流れる普通河川に既設の砂防堰堤上流から浸透取水法により取水し、塩ビ

管を用いて導水して2台の小水力発電機によって電力を発生させた。1台は出力1kWのターゴインパルス型水車発電機、他の1台は出力400Wの上掛け水車発電機である。2台の発電機で得られた電力は、需給バランスを取るために設置したバッテリー（DC24V）に一旦蓄電し、インバータを用いて電灯線と同じAC100Vに調整して農家の家屋内に引き込んで使用する。

構築した発電システムはエネルギー地産地消の概念における「デュアル・エネルギー・パス」を実現している。通常、水車が稼働している時は水車側のバッテリー充電器が動作してバッテリーが充電されていく。しかし河川の流量不足などによって発電が停止した場合にはバッテリー電圧の監視回路が動作して系統電力側の充電器に切り替わる。これによってバッテリーは常に満充電の状態にあり、家屋には継続的に電力供給される。もし何らかの事情で系統電力が停電しても、河川に流量があるかぎり農家には電力が供給される。さらに万が一、河川流量の低下と系統の停電が同時に発生した場合には、バッテリーに蓄積されている電力（約18kWh）によって農家は約1日分の生活をまかなうことができる。以上のようにして、電力を自給しているこの農家は災害時においても通常より高い

安全性で電力が供給される事が期待できる。

## 7. エネルギー新時代へのパラダイムシフト<sup>1</sup>

明治以降、経済発展とともに人口が増加しエネルギー消費量も飛躍的に増大し続けて来た。特に戦後の高度成長期は顕著で、すべてが「右肩上がり」を基本として発展し、工業においては製造の効率化と品質の安定化を追及してきた。この時期のモノづくりの現場では、創造性や個性の重視は製造工程の複雑化と不均一化に繋がり、ひいては生産性と品質の低下を招く恐れがあった。これは教育の視点でも同様であり、この当時は個性豊かで独創性あふれる人材よりもむしろ、マニュアルにそって正確かつ速やかに作業をこなす人材の大量育成が求められた。

しかし、先に示した通り、石油ピーク・人口ピークを迎えた今後は、エネルギー面からも人口の面からも従来のような大量生産・大量消費は期待できない。石油漬けの文明が終焉をむかえ、再生可能エネルギーを基盤とする新しいエネルギー社会へのシフトが始まりつつある。それは、従来までの右肩上がりから「右肩下がり」への移行であり、生産から消費のすべてにおいて我々が未経験で、従来の常識が役に立たない社会への突入ともいえる。エネルギー面での大きな転換期となりそうな2050年頃までの約40年間は、「従来のやり方」が次々に失敗を生む重要注意の過渡期となる可能性がある。

教育に着目して考えた場合、常識や経験が役に立たないとすれば、画一的で効率重視の大量生産教育はリスクが大きい。方針がはっきりせず、予想外の方向に舵を取られる社会の中では全方位的に対応可能な、多様性重視の教育システムが望ましい。できれば度重なる軌道修正に耐えられる柔軟性を兼ね備えていればなお強靱である。そのためには徹底した個性の育成と適材適所化を進める事が重要と考える。

人類の歴史を数万年とする。人類が石油を使

い始めたのはおよそ1900年頃であり、石油文明の終焉は2100年頃と考えられているので、この間約200年間。これは人類の歴史の約1%である。その間に劇的に文明が発達し人類の生活は大きく変わった。この大変革をパーティーと呼び、もはやパーティーは終わりだとりチャード・ハインバーグは指摘した(“The Party's Over”, Richard Heinberg, 2004)。再生可能エネルギー時代へと軟着陸していくためのパラダイムシフト、工学・社会学・経済学等の学術面のみならず教育面からも進めなければならない。

1 パラダイムとはその時代に支配的な物の考え方や認識の仕組み。規範のこと。パラダイムシフトは、集団を支配する考え方が、非連続・劇的に変化すること。社会の規範や価値観が変わる事(国語辞典)

### 〈参考資料〉

- (1) 田中勇人, 「螺旋水車」, (1990)
- (2) “Has the World Already Passed Peak Oil?”, National Geographic News, (2010), <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2010/11/101109-peak-oil-iea-world-energy-outlook>
- (3) 鬼頭宏, 「2100年, 人口3分の1の日本」, メディアファクトリー, (2011)
- (4) 国立社会保障・人口問題研究所, (2012), <http://www.ipss.go.jp/>
- (5) 倉阪秀史, 「再生可能エネルギーによる原子力代替プラン」, 千葉大学法経学部倉阪研究室, (2011), <http://homepage3.nifty.com/kurasaka/renewable-plan-ver2.pdf>
- (6) 新妻弘明, 「デュアル・エネルギー・パス」, 日本EIMY研究所報, (2011)
- (7) 上坂博亨, 「山間地農家における小水力発電による電力自給システムの開発」, 富山国際大学子ども育成学部紀要, (2011)