

# 提言：日本におけるエネルギー政策と地域交通システム

法政大学国際文化学部 小池 康郎

## 要旨

日本のエネルギー自給率はわずかに4%に過ぎない。したがって最終エネルギー消費を構造的に減少させることが強く望まれる。いわゆる「節電」「省エネ」の掛け声だけで済ますわけには行かないのである。地域における最終エネルギー消費のうち、運輸部門のエネルギー消費が一般に一番大きい。その減少方法をこの小論では考察

する。結論を述べると鉄道の系統的利用促進、および電動自動車の普及が望まれる。水力ケーブルカーの将来を見据えた導入は、これから重要課題となり得る。

キーワード：エネルギー政策、地域研究、最終エネルギー消費、省エネ、地域交通システム、鉄道、電気自動車、水力ケーブルカー

## Proposal: The Energy Policy of the Regional Transportation System in Japan

Faculty of Intercultural Communication, Hosei University  
Yasuro Koike

### Abstract

Only 4% of the primary energy in Japan is domestic. Therefore the reduction of the final energy consumption (FEC) is seriously required. "Save energy" campaign is not enough for drastic reduction of FEC. Possible well designed strategies for the regional policy is considered especially for transportation system, because it dominates regional FEC. Systematical use of the

railway system as well as introduction of electric vehicles should result the reduction of FEC. Future use of water powered cable-cars should be widely promoted in Japan.

**Keyword:** Regional study, final energy consumption, traffic system, railway, electric vehicle, water powered cable car

## 1. はじめに

福島原発事故をうけて、日本における、あるいは世界におけるエネルギー戦略の再構築が、急務となりつつある。国民的には脱原発を望む声が強くなり、代替エネルギーとして再生可能エネルギー、あるいは自然エネルギーにたいする期待が高まっている。一方でエネルギー現実主義に立てば、自然エネルギーが原発を代替するには、さまざまな課題があると指摘されている。

エネルギーについて議論を進めるには、エネルギー供給面と、エネルギー需要面の双方の議論が必要である。これまでの議論は、エネルギー供給面に偏りがちであった。一方エネルギー需要面では、省エネ、節電が叫ばれるだけで、エネルギー消費構造を積極的に変え、エネルギー需要を大幅に抑えようとの議論はほとんど行われていなかった。しかし現代社会がこれほど強くエネルギーに依存しながら、エネルギー供給構造が短期的にも、

また中長期的にも、きわめて不安定な要因をいくつも抱えていることを考えるとき、日本の、また世界の安定した発展のためには、社会をできるだけエネルギー消費についてスリムに、変えていかなければならないことは明らかであろう。

地域問題を考えるときにも、この視点はこれから重要になってくる。エネルギー需要はどの分野で大きいのであろうか？ 一般的に言って大工場がない地方においては、エネルギー需要は、つまりエネルギー消費は、運輸部門において最大となっている。それも自動車の消費エネルギーが大きいのである。

この論考では、地域の運輸部門のエネルギー消費を抑えるための方法を考える。特に国土の70%を山地が占める日本において、坂道によって受ける損失と利点を、適切に考慮に入れたエネルギー戦略を構築することが望まれるであろう。地域とえば少なくとも東京以外を指すだろうが、関東平野は日本では特殊な領域を作ってお

り、東京での知識をそのまま適用しようとするれば、さまざまな矛盾が引き起こされることは明らかである。

本小論の構成として、まず日本の最終エネルギーの構造を、他の国とのそれと比較しながら考察し、ここ数十年日本の社会構造の変化が、世界的に見ても急激なエネルギー消費構造の変化を引き起こしたことを見る。これは戦後進んだ東京一極集中と大いに関係がある。東京型ではない地域分散型社会を目指すことによって、エネルギー消費が大幅に減ずる可能性があるのだ。次に山地での移動エネルギー消費の仕組みを、初等物理学を使って考える。その結果山地を不利な要因にしない方法は電化であることを見る。また山地を利点に転嫁する方法の例として、水力ケーブルカーなどの水力の直接利用の可能性について論考する。

隋の煬帝は、京杭大運河を完成させることで、古代中国の地形的弱点であった南北の物流を確保し、以後千年以上の中国の地域経済発展の土台を与えた。日本の物流の地形的弱点は、中央に背骨のように走る山地である。その弱点を克服するような仕組みを現実化すれば、長く日本の繁栄に寄与するに違いない。

## 2. 日本における最終エネルギー消費の構造

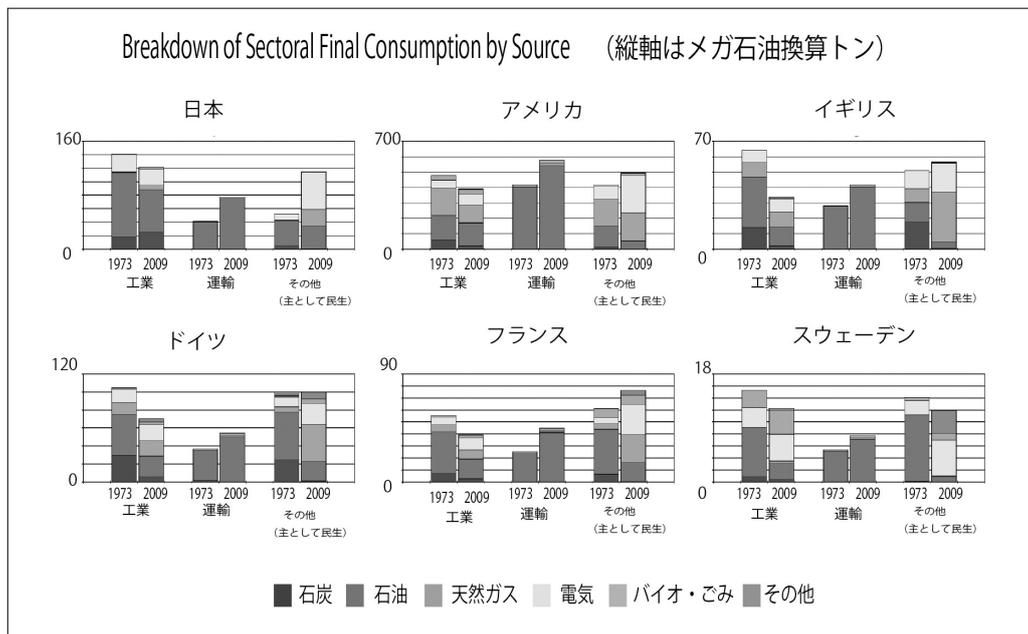
エネルギーの消費構造を知ることは、エネルギー政策

決定において欠かせない。一般にエネルギーを消費する部門として、産業部門（第一次及び第二次産業-主として工業）、運輸部門（人と物の移動）、民生部門に分けられる。ここ数年の日本における最終エネルギー消費は、産業部門において約45%、民生部門において約32%、運輸部門において約23%となっている。民生部門はさらに家庭部門と業務部門に分けられるが、家庭部門では全体の13%、業務部門では全体の約19%と、業務部門がかなり大きくなっている。マスコミなどで省エネルギーが議論されるとき、家庭での省エネルギーがその主たる対象となるが、実はマスコミも含めた業務部門のほうが、省エネを求められなければならない。

さらに詳しく見てみよう。International Energy Agency (IEA) が、OECD 各国でのエネルギー消費について、各部門で過去40年の間にどのように変化したかを報告している。それによれば1973年と2009年での比較において、日本を含む先進諸国では、産業部門（工場）のエネルギー消費にはほぼ減少傾向がみられる。原因の一つは、工場での省エネが石油ショックなどを経て大きく進んだこと、もう一つは工場の海外移転が進んだことによる。このようにエネルギー消費は素直に社会の進展を反映しているのだ。

一方日本での民生部門の最終エネルギー消費は、2倍強に膨れ上がっている。実はこの数値は先進諸国では特殊であり、欧米諸国では2-30%増が共通してみられる増

図一 1 1973年と2009年における最終エネルギー消費の6先進諸国についての比較。データはIEA (International Energy Agency) による。日本では民生部門が倍に急増していることと、石油、電気の消費が多くエネルギーの多様性が少ないことが見て取れる。



加である。環境先進国と言われるドイツでは、ほとんど増減は見られず、スウェーデンに至っては逆に減少している。にもかかわらず、2009年において、一人あたりのエネルギー消費として見てみれば、日本はOECD諸国の中でも少ないほうであり、アメリカやカナダに比べて大幅に少ない。

このことは何を意味するのだろうか？ 日本では民生部門で過去急速にエネルギー消費を増してきた。その結果数値的に欧州並みのエネルギー消費を見るに至った。逆に言えば3-40年前は欧米諸国と比べて、一人あたりのエネルギー消費はかなり少なめであったのである。ここ3-40年の間に、日本では東京一極集中が進み、また特に東京で高層ビルが大量に増えた。社会構造が大幅に変化したのである。このことが日本における民生部門のエネルギー消費を大幅に増加させる原因となった。エネルギー戦略を考えると、このことはしっかりと記憶されなければならない。ちなみに地方都市では業務部門のエネルギー消費は、家庭部門を下回る傾向がある。そしてほとんどのOECD諸国でも、業務部門のエネルギー消費は、家庭部門より下回っている。これらのことを考慮に入れると、これから東京一極集中を脱し、地域にしっかりとした経済拠点を移す努力をすれば、民生部門のエネルギー消費を減少に転ずることができる可能性がある。ただしその場合、地方都市の東京化を避け、伝統的日本文化を生かした街づくりで、エネルギー消費を抑えるという姿勢が必要である。

最後に運輸部門を見てみよう。運輸部門でのエネルギー消費は、OECDすべての諸国で、1973年から2009年で大幅に増加している。交通網の発達で世界は狭くなったと言われ、自動車や飛行機が現代生活に欠くことができないものになった。それらの増加をエネルギー消費の統計は如実に反映しているのである。

### 3. 坂での自動車のエネルギー消費

これから後は、運輸部門でのエネルギー消費を減少させる方策を考えていくことにする。エネルギー消費は時代とともに増加する一方であると考えられがちであるが、効率的なエネルギー利用を考えることによって、必要量を大幅に減らすことができる。前節で指摘したように、工業でのエネルギー消費は、すべての先進国で過去40年の間に減少しているのである。もちろん生産拠点を海外に移した結果だとも取れようが、工場では技術が生産の基本であり、エネルギー消費を真に科学的に分析できる利点が工場にはある。運輸部門では利用者は必ずしも科学技術に長けた必要はなく、エネルギーについての

考察はそこではあまり顧みられてこなかったことは、ある意味で当然のことであろう。したがってエネルギーを前面に押し出して考えれば、運輸部門は大きく見直しがきく可能性を秘めた部門であり、事実大幅にエネルギー消費を減少に転ずることが可能な部門であることを小論の残りの部分で考察したい。

運輸部門のエネルギー消費の主役は自動車である。事実運輸部門の最終エネルギーの半分以上がガソリンであり、ディーゼルエンジンの燃料である軽油がそれに続く。日本ではエネルギー消費と言えば電力と、ほとんど短絡的に考えがちであるが、運輸部門では電力の割合は2%と極度に小さく、ジェット燃料よりも割合としては小さい。すなわちエネルギーの側面から考慮したら、電車が自動車よりずっと有利な乗り物であることを示す。このことは初等物理学による考察からも示すことができる。一般的に言って自動車利用を電車（鉄道）利用に置き換えることによって、大掛かりな省エネが期待できるのである。

次に日本の特殊性を考えよう。すぐ気が付くのは日本には山地が多く、山地が生活の場所を阻害し、また交通をも阻害していることである。人力や馬の力で移動していた時代には、山越えと言えはそれだけで大変な労力を必要とすることであった。現代は自動車のおかげで、山地でも道があれば、ほぼ平地を走行すると同じように、難なく達成することができる。

坂道を登るとき、車両は位置エネルギーを増す。したがって坂を上るにはそれだけ余計にエネルギーを供給しなければならない。言い換えれば坂道では燃費が悪くなる。簡単な計算によると、100メートル高度を上げるためには、5キロメートルほど走行するのと同じだけのエネルギーを要する。

一方坂道を下るとき、車両は位置エネルギーを減ずる。通常の自動車はこのときエンジンプレーキなどをかけて、不必要な車両の加速を抑えている。位置エネルギーの減少が、運動エネルギーの増加につながらないように、ブレーキをかけることによって、熱エネルギーに変換させているのだ。このエネルギーを回収できれば、無駄なエネルギー消費を抑えることになる。

坂道を上るとき電動モーターを使い、下るときは電動モーターを発電機に変えて、発生した電気を蓄電するメカニズムは、坂道による無駄な消費を抑えることになる。つまり電気自動車や、ハイブリッドカーを利用すれば、山が多い地形での運輸のエネルギー消費を、それだけ抑えることができることになる。

## 4. 地域での運輸部門のエネルギーの改善策

以上のような特質を考慮に入れて、地域での可能な取り組みを考えてみよう。

### 4-1 電気自動車並びにハイブリッドカーの普及

電気自動車は走行時のエネルギーを、ガソリン車に比べて1/5ほどに減少させる。これはエンジンの構造による。すなわちガソリンエンジンは内燃機関の限界として、エネルギー効率は15-20%しかでない。技術によって多少の改善をしてエコカーと呼んでいるが、構造上の理論的限界が広く理解されるべきである。それに対して電動モーターは、エネルギー効率90%を原理的に超えることができ、事実最近のモーターは実際に超えている。むしろ100%を超えることはないが（エネルギー保存則による）。

したがって電気自動車あるいはプラグインハイブリッド車を普及させることによって、走行時のエネルギー（最終エネルギー）を大幅に減らすことができる。

さらに坂が多い山地では、前述の理由で、坂を上ることで消費した電気エネルギーを、坂を下りるとき捨てることなく（ガソリン車はそうするしかない）、電気エネルギーとして回収することができる。電気自動車は走行距離が短い欠点があるが、むしろ長距離移動は鉄道利用を促進し、鉄道駅から地域の交通機関として電気自動車を利用しやすい街づくりを心掛けることで、トータルに移動エネルギー消費を抑えることを、地域の交通システムとして考慮することが必要なのである。また必要な充電を行う充電ステーションを設ける必要もあるが、下りではエネルギーを消費せず、むしろ充電される性質を利用すれば、充電ステーションは高地には必要なく、低地に備え付ければよいことが解るだろう。鉄道駅に地域のレンタカーを設置し、そこで電気自動車を使ってもらうことを奨励するなど、工夫次第で電気自動車の普及を図れるであろう。また地域で電気自動車を利用する地域ぐるみの活動を通じて、LRTなどを含む、さらに高度な地域の交通システムの導入の地域的合意を得やすくすることも視野に入っていくだろう。

### 4-2 地域鉄道普及

ガソリンエンジンを電動モーターに変えることで、最終エネルギー消費を約1/5に減らすことができるのに対し、ゴムタイヤと舗装道路の組み合わせを、鉄輪と鉄線路に変えることにより、2トンの電車車両は、同じ重量の電気自動車の約1/5のエネルギーで、同じ距離を走行することができる。電車が運輸部門での究極の選択であるゆえんである。以上は初等物理学で考察すれば明らか

なのであるが、大学で働く科学者も往々にしてこの観点を見誤り、同じ公共交通機関であるからバスでよいとか、トロリーバスでも電気で動くから良いじゃないとか、誤った認識を示すことも多々見られるのは残念なことである。環境問題を考えるとき、きちんとした物理学の理解を必要とするゆえんである。先進国すべてにおいて、運輸部門の最終エネルギー消費での電力の占める割合は、3%を超えない。電気自動車が普及していない現状では、電気を使う運輸部門とは電車を意味する。このようなエネルギーの消費構造 - すなわち極度の電力の割合の小ささ - は、電車と自動車の利用率だけでは決して説明がつかない。

この小論で取り上げるエネルギー需要のスリム化のためには、鉄道をもっと普及させるという観点が是非とも必要である。長距離移動をできる限り鉄道で行い、出発点から発車鉄道駅、および到着鉄道駅から最終目的地の移動は小回りの利く自動車を使うという大原則を持って、地域交通システムを各地で考えることが求められる。

その良い例が地域交通システムとしてのLRTである。カールスルーエやストラズブルで有名になった例を見ればその利点は良くわかる。すぐにわかることであるが、ここで大切なのは自動車から鉄道への乗り換えを極力便利にすることである。日本では乗り換えという段階の上下を伴うことが当たり前となっているが、ヨーロッパで成功した都市の例を見れば、パークアンドライドを完全にバリアフリーとして行うことで、乗り換えを容易にしていることが解る。東京などのすでに密集した地域では難しいが、地方都市では少なくとも郊外には、土地が比較的ゆったりと利用できる場合が多い。郊外で自動車を乗り捨て、そこで段差なしに電車に乗れるようなパークアンドライドを設置することは、地方都市では可能であろう。このようにしても乗り換えをする不便さはあると躊躇する人もいようが、その代わり町の中心部では、やはりバリアフリーで電車を乗り降りする簡便さで、中心の繁華街へのアクセスができることになる。中心部の混雑やまた駐車場の不足などの問題から解放されるので、トータルすればLRTを中心とした交通システムのほうが、住民にとってもまた旅行者にとっても、平均的に利便性は高くなるのである。

### 4-3 自然エネルギー直接利用

これまでのエネルギー政策の議論は、ほとんどが供給サイドからのものだったので、自然エネルギーというと、ほとんど発電を意味していた。これはかなり短絡的な思考だと言わざるを得ない。

需要サイドから見ると、電気は最終的な目的ではな

く、エネルギーを必要とするのは、熱（温度調節）、光、また移動のためのエネルギーなどが、エネルギー消費の目的である。自然エネルギーの直接利用についても、系統的に考えていかなければ、エネルギーのスリム化、ひいては持続社会のためのエネルギーについて、効果的に考えることにならない。

#### 4-3a 温泉と人力

自然エネルギーの直接利用の代表的な例は温泉である。古くから温泉は風呂などのための熱利用として使われてきた。また人力も自然エネルギーの直接利用と考えるとよいだろう。動物は食事によってエネルギーが供給されるエネルギーシステムである。人は一日約 2000kcal のエネルギーを食事から得ることによって、活動するエネルギーシステムである。一日 2000kcal をパワーに直すと、平均 100W のパワーとなる。現在日本で消費されているエネルギーを、一人あたりに換算し、平均パワーとして求めれば、最終エネルギー消費として 3700W ほどになるので、人力で最終エネルギー消費をまかなうことは、到底不可能であることが解る。ばかげた計算で当たり前じゃないかと考える読者も多いと思われるが、このようなことを数値的に計算することで、どのエネルギーが最終エネルギーを、どれだけの割合で満たすことができるのか、このような計算を基に考えることが、現実的なエネルギー政策を、策定するための基盤となることを、読者は知ってほしいと思う。

さて人力で移動のためのエネルギーと言えば、もちろん徒歩が基本となる。しかし徒歩を除いて、機械的な装置とすれば自転車がある。自転車も自然エネルギー利用の範疇に入る。人間の平均パワーは 100W であるから、持続可能な運動のパワーはせいぜい訓練しても 100W 程度、普通人では 50W 程度である。言い換えれば電動自転車で自転車を走行させれば、モーターの電力として 50W 程度あればよいことになる。一方自動車が普通に走行している場合、50,000W 程度のパワーを使っている。自動車が如何に無駄なエネルギーを消費しているか、この考察によってわかるだろう。詳しいことは拙著を参照されたい。

したがって移動の手段として、化石エネルギーを自然エネルギーに代替する有力な方法の一つとして、自転車の有効利用があることになる。ただし自転車は坂が多いと使えない欠点がある。だが坂を下るとき、ブレーキとして電気エネルギーに変え、蓄電するという方法は、電気自動車と同じになりつつ。電動アシスト自転車の有効活用は、これからの日本の運輸部門でのエネルギー消費を、有効に抑える方法の一つとして、組織的に推進する価値があるだろう。

#### 4-3b 水力ケーブルカー

国土の 70% が山地である日本で、数多い坂を障害とするのではなく、むしろ利点とする方法はないだろうか？

その鍵は水力にある。日本ではこの利点を生かして水力発電が古くからの発電方法として、積極的に利用されてきた。現在でも電力の 8% ほどが水力発電で賄われている。

水力の直接利用はないだろうか？ そのヒントは高知県馬路村にある。水力ケーブルカーである。

ケーブルカーは通常二つの車両がペアーを形作る。そしてその二つをケーブルで結び、片方が上昇すればもう一方は下降するようになっている。二つの車両の重さがほぼ同じとすれば、ちょうど滑車のようにバランスが保たれ、少ないエネルギーで二つの車両を同時に動かすことができる。

このとき下りの車両が重ければどうなるか？ 下りの車両に対する重力が、登りの車両に対する重力に打ち勝ち、外部からエネルギーを供給することなく、下りの車両が自動的に下って行き、登りの車両を引っ張り上げるという構造が出来上がる。

そこでケーブルカーの上駅で車両に水を注ぎ入れ、これから下って行く車両を、下駅にいる登りの車両より重くする。水を満タンにした下り車両は、強い重力を受け、下に向かって降下することによって、比較的軽い登り車両を引き上げるだろう。下り車両が下駅に着けば、車両の水を放出して車両を軽くし、一方登り切った登り車両には、次のステップである下りに備えて、水を注入する。

以上のメカニズムが水力ケーブルカーの基本である。馬路村の水力ケーブルカーは、子供のための遊びの施設として、実際の移動には使われていないが、欧州ではいくつもの例が 19 世紀末より現在まで、実際の交通手段として、市民や観光客を運んでいる。

一つの例がドイツ・ヴィースバーデンにある。商都フランクフルトに隣接するこの町は、歴史も古くフランクフルトを抑えてドイツヘッセン州の州都である。町の北西のはずれにネロベルクという小高い丘が、ブドウ畑に囲まれて町を見下ろすように立っている。ネロベルクは市民の憩いのために、格好の場所を提供している。

このネロベルクの登山のために、ネロベルクバーンという水力ケーブルカーが、19 世紀末から現在まで続いて稼働している。全長 438m、高低差 83m の登山軌道を水の重さだけで上下しているのだ。

今一つの例は、ポルトガル・ブラガにある。ポルトガルの町を代表して、リスボンは遊び、ポルトは働き、コインブラは学び、ブラガは祈ると言われたこの町には、やはり郊外に丘があり、祈りの町ブラガを象徴するボン

図-2 ヴィースバーデンの水力ケーブルカー



ジュス教会が威厳を保ちながらも、人をやさしく包み込むように立っている。信者は険しい坂をこの教会での礼拝のためにくねくねと上って行くのであるが、登山道の入り口に、年老いた人病弱な人を救うように、水力ケーブルカーの下駅があり、ボンジュス教会のすぐ近くの上駅まで運んでくれる。この付近の山は湧水が豊富で、流れる湧水を利用した、自然エネルギー有効利用の移動手段として、この水力ケーブルカーはやはり19世紀末から現在に至るまで、市民や巡礼者、観光客の足として稼働を続けている。

19世紀末、自動車はまだ事実上完成していなかった。一方技術的に見て、さまざまな試みが行われる時代でもあった。その中から移動の為なら石油利用、固定した場所へのエネルギー供給なら電気利用という、現在に至る流れが定着していくのであるが、一世紀を経て、この時代の試みを見直す流れが、現在始まっているとも考えられる。

その代表的な例が路面電車である。19世紀末、路面電車は世界の主だった都市に競って導入された。日本でも最初の大掛かりな発電所が、京都蹴上に設置されたことを契機として、京都に日本初めての路面電車が導入されたのを皮切りに、各地で路面電車が導入された。だがそれから半世紀たって、自動車の普及とともに、自動車の邪魔であるという理由で路面電車は、世界の多くの都市で廃止されていった。だが自動車のさまざまな限界が実感として理解されるようになって、路面電車はLRTとして、世界各地で新しい形で再導入が進んでいる。

同様に水力ケーブルカーも、改良が加えられた上で復活する可能性を持っている。水力発電は初期の発電方法として、世界中でそして日本でも大々的に導入された。現在の日本では、もはや大規模ダムの建築は不可能であろうが、それでも水力の潜在的な能力は高く、小規模水力

図-3 水力ケーブルカーの上駅での注水。注水パイプが車両の取水口に自動的にはめ込まれる。



発電は、自然エネルギーの一つの可能性として、大きな期待を担っている。陸地における自然界の水の流れは、重力の作用で高低差を利用して起きるのであるが、そのために水の流れのエネルギーは、高低差に比例する。大規模ダムではダムを利用して、局地的な高低差を人工的に増幅させているわけだが、小水力では発電機の設置場所は固定されているので、高低差の効率的利用はあまり望めない。それに対して水力ケーブルカーは、水とともに移動することにより、例えばヴィースバーデンのように、ほぼ100mの高低差を直接利用することができる。水力の潜在能力を最大限発揮できるのである。

この考察は次の可能性を示唆する。水力ケーブルカーの移動のためのエネルギーをはるかに超えたエネルギーを、高低差を持つ車両内部の水が位置エネルギーとして蓄えている可能性が高い。つまり水力ケーブルカーではブレーキをかけないと車両がどんどん加速してしまう。したがってブレーキをかけて、運動エネルギーの増加を抑えないといけないのだが、19世紀の水力ケーブルカーでは摩擦熱を発生させることで、つまり通常のブレーキで、加速を抑えていた。しかし現在では各種の回生ブレーキが市場に出回っている。これを用いて水力ケーブルカーを走らせながら、発電をすることができる。水力ケーブルカーは、同時に水力発電機にもなり得ることになる。

水力発電とのコジェネレーションが19世紀に比べての進歩の一つだが、改良はまだ考えられる。例えば自転車を車両に持ち込めるようにすることだ。LRTは自転車を持ち込めることで利便性を大幅に増した。日本では電車はラッシュアワーの殺人的混雑のイメージがあるので、自転車を乗せるというのは、あまり考えられないが、これからの公共交通機関は、生活の足として、スローライフを楽しむ道具との視点が欠かせない。

水力ケーブルカーに自転車を持ち込めるようにする。同時に水力ケーブルカー周辺を整備して自転車道を作り、上駅に降りた自転車利用者が、ゆっくりと森林浴を楽しみながら、基本的には下りの道を、サイクリングす

るという習慣を作れば、山地が多い日本では、地域の楽しみが大きく増すほうに変えていくことができるのではないだろうか？そのような可能性を秘めた水力ケーブルカーである。

## 参考文献

小池康郎「文系人のためのエネルギー入門」2011、勁草書房  
IEA（International Energy Agency）ホームページより統計 <http://www.iea.org/stats/index.asp>