

## 特集

### 科学と人間

—電気自動車という世界から学ぶこと—

南 繁行 大阪市立大学 複合先端研究機構

#### 1. はじめに

本稿のテーマは、現在話題になっている電気自動車についてである。しばしば、EV (Electric Vehicle) と呼び、ここでは主にEVと記載する。実はこの分野を全てわかる専門家はいない。なぜなら、次のように5つの研究のカテゴリー全体を知る必要があるからである。

- (1) 機械に関する理解
- (2) 電気の知識
- (3) 化学の知識
- (4) 社会における商品と人間の理解
- (5) 国際性

このうち、(1)、(2)、(3) は自動車の機械設計、電気モータの設計、電池の開発に必要なだとわかる。それだけでは商品として十分ではない。(4) 社会や人間、そして(5)の世界的視野も重要である。

50年ほど前、「自動車の社会的費用」という岩波新書が出て、当時自動車は、便利な反面、排気ガスや交通渋滞、事故を引き起こす困った道具として社会問題化していた。<sup>(1)</sup>

自動車には、使う消費者の心理や社会におけるあり方の理解が必要である。EVの未来に向けても、機械としての科学技術の開発だけではなく、人間の性質について知る必要があるのだ。

今、EVは「クリーン」で「静か」と言われているが、本当だろうか。EVは新しいビジネスチャンスだとみなされて久しい。その理由についても後で記載するが、世界中でその覇権と利益を求めているいろいろな駆け引きが盛んにおこなわれている。日本は海外の国々との折衝が苦手で、折角の優れた技術が生かされないことも多い。

筆者の専門は、工学、特に電気工学である。したがって、電気モータやその制御はよく知っているが、それはEVの一部の知識なのだ(図1)。

EVに関する経験を通して、EVの世界を知ると、世の中が新しい次元で多々見えてくる。EVは、経験なしの机上の論議が意味をなさない分野の一つである。技術だけではなく、世の中とのかかわりを知る必要性がEV研究にはある。



図1: EVのあり方についても記載した拙著もある<sup>(2,3)</sup>

#### 2. 電気自動車について

電気自動車ほど世の中の状況に翻弄され100有余年間も浮き沈みしている製品も珍しい。例えば、EVへの期待のきっかけの一つは、オイルショックがあり、石油枯渇の救世主としてEVの価値が上がり始めたことだ。今も、EVの存在価値の第一は、脱石油でも動く点にある。地球には2兆バレル程度しか石油は残っておらず、世界では年間500億バレルを消費している(図2)。

EVとしては、バッテリーを積んで、そのエネルギー源だけでモータを回して走るEV (バッテリーEV、BEV) 以外に、ガソリ



埋蔵量=2兆バレル ①100年、200年先のエネルギー  
2兆/500億=40年 ②炭酸ガスを出す石油消費を抑える

図2: 地球に残存する石油は富士山の2合目より上の体積しかない

ンや軽油でエンジンを回しながら、電池に充電して走るハイブリッド車（HEV）、あるいは燃料電池と水素を搭載し、電気を発生してモータを回して走る燃料電池車（FCV）もある。

筆者らは、人工光合成で水素を水とCO<sub>2</sub>から製造し、2025年までに、家庭一軒分が必要とする電気を水素によって賄えることを目標にして、沖縄の宮古島で実証研究も行っている（図3）。この自然エネルギー活用の水素はFCVにも適用可能である。石油資源に変わるエネルギー源を太陽光から得ることは、人類が今のうちに達成すべき重要な課題の一つである。

さて、大半のEVは今のところ石油や天然ガスを燃料にして発電したエネルギーで走っている。日本に約100基ある大型の発電所では、原子力あるいはこのような化石燃料を使っている。この化石燃料による発電効率は約50%である。一方、自動車に搭載したエンジンによる発電効率は約25%なので、大まかにいえば、EVはガソリン車よりも燃費が2倍良いことになる。ただ、高価でまだ性能が十分でない電池を使わなければならない。

### 3. 電気自動車にまつわる誤解

EV理解には、机上の論だけではなく、実際の経験が不可欠である。自動車評論家の言は、およそ試乗会で乗って、加速度や乗り心地等の側面を見たにすぎない。電気自動車に至っては、頻繁な充電や電池交換コストなど、オーナーになってみないとわからない部分が多い。良いところも悪いところもあって、やっぱりこれが善いというのが意味のあることだが、それを知らずに批評する人が多い。

EVは、「クリーン」で「静か」というと、そうとばかりは言えない。充電する電気も発電所で石油等の化石エネルギーを使って発生させている。そうすると、二酸化炭素や汚染廃棄物も生まれてくるのである。

今、世界のたくさんの国でガソリンなど化石燃料を使った自動車はハイブリッド車も含め販売禁止、あるいは乗り入れ禁止にしようという動きがある。実はどの国もEVがCO<sub>2</sub>を発生することは知っているのだ。走行中の自動車からは出ないだけである。一方で、現在認可のエンジン自動車は超低排ガス基準を満足し、吸い込む空気よりも、エンジンで焼かれ触媒を通った後の排ガスの方がきれいなのである。昔は渋滞時の自動車群を写真に写し、排ガス蔓延をアピールした記事があったが、今ではこれは間違った表現なのだ。

EVの静けさについてであるが、実際に乗ってみると、エンジン音がない分、タイヤの転がり音や車枠のガタピシ音が目立って聞こえ、快適とは言えない。静けさを求めるなら、普通の遮音の効いたガソリンの大型車に乗る方が優れていると感じる。

一番好ましくないのはEVを使った自動車レースだ。夜にタイヤの急ブレーキ音が鳴って、不快に思われたことがある筈だ。エンジンの騒音にかき消されて、レースでは趣味の悪い音が鳴り響き、期待した折角のEVの静けさは全く帳消しになる。

世の中に、思い込みほど怖いものはない。現実とかけ離れた間違った概念の多くは、マスコミが私たちに刷り込むことで起きるのだ。例えば、大きな台風が来ると、温暖化のせいだとまことしやかに放送している。本当だろうか。過去70年の台風記録によれば、上陸回数や上陸時の最大低気圧の記録には全く変化のないのが事実だ（図4）。

最近では大雪や大雨まで温暖化のせいだと無責任に言う人もいる。確かに気温が上昇している地域もあることは認めるが、例えば南極昭和基地の50年間の平均気温は一定で、むしろ少し寒冷傾向にある。このようなことは、温暖化を主張する人にとっては隠しておきたい不都合な真実なのだ。

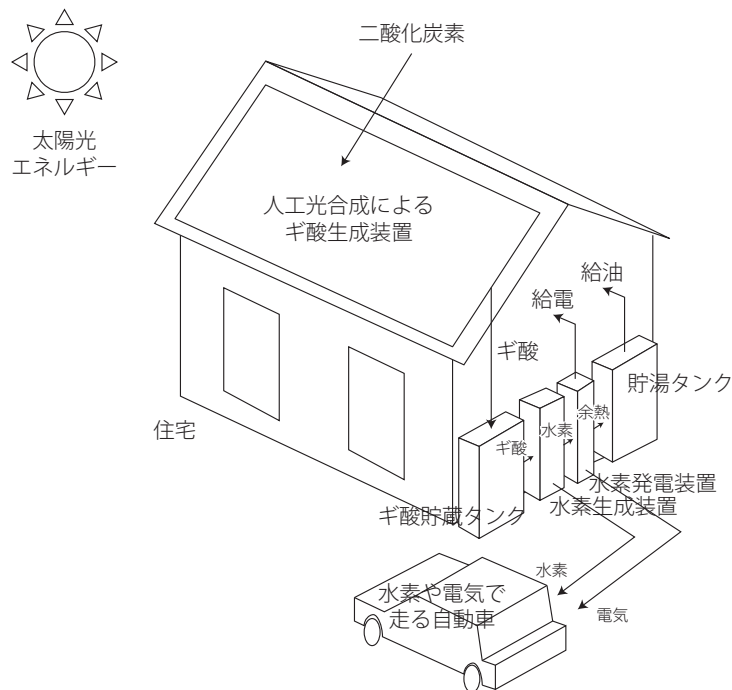


図3：宮古島に企業と共同研究の人工光合成実証ハウスが出来ている

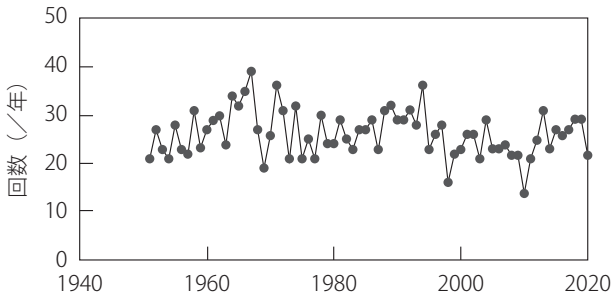


図4：台風の発生回数

注：過去70年の台風発生数には変化はない。

私たちは都合の良いデータだけを使って議論をしようする傾向がある。例えば光の速さの測定した結果が、これまでにデータとして知られている値に近ければ満足する。もし、違っていたらどうするだろうか。①そのデータをもみ消す人もある。②平均的な人は、これまで知られている値になるまで、何度でも実験を繰り返す。③得られたデータが予想外だった時、実験システムが間違っているか、あるいは新発見の要素があると考えて、孤独だが自らがリーダーとなって研究推進をするのが本当に優れた研究者だ。

#### 4. EVの世界からわかる世の中

先程書いたように、EVについても、静かとかクリーンとか、固定した概念に凝り固まった人たちがいる。欠点が見えなくなっているのだ。筆者は長年EVの研究をしているが、欠点を無視するような惚れ込みかたをしたことはない。

静けさとクリーンを求めるなら、先に記載の通り、今発売されているガソリン自動車ですら十分満足でき、便利さも享受できる。ただ、石油は未来の人に残しておくべき物質である。本来は、脱石油を達成した暁に、EVに多少の不便さがあっても、強い信念で乗ることこそが重要だ。いくらでも快適さや

便利さといった欲を出すべきではないのだ。

燃費の良い自動車は脱石油に貢献するだろうか。筆者が、たくさんのハイブリッド車プリウスと、それと同等のガソリン車の年間総走行距離を比較した結果によれば、燃費の良いハイブリッド車は、普通のガソリン車より、平均1.5倍走行距離が長く、石油消費の面で燃費の良さを帳消しにしていた。電車で行くより自動車の方が安くつく、人は経済的な方を選ぶ傾向がある。結果として交通渋滞や事故も増える。低燃費車が石油を多く消費しているのだ。このように、消費者のマインドを考えない商品は断り書きなしでは無効である(図5)。

優れた電動化の例は、電動フォークリフトである。排ガスを出さないの、室内使用では独壇場だ。今では50%程度が電池式になっている。ただ大型車はディーゼルが多く、フォークリフトの半世紀の歴史を見れば、ガソリンフォークリフトは減っているが、ディーゼル車はむしろ増えているのだ(図6)。

人は「衣食足りて礼節を知る」という。きれいごとばかりで

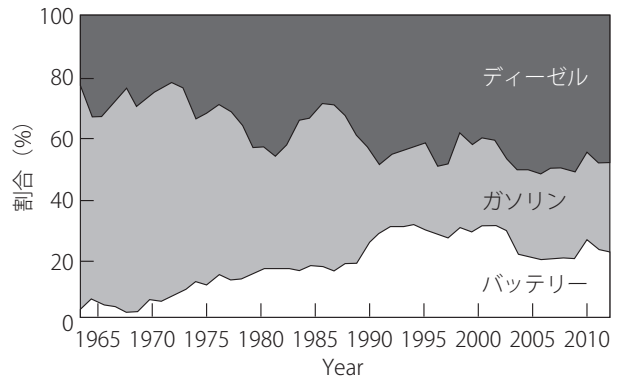


図6：日本から輸出されるフォークリフトの台数割合

注：過去50年間でディーゼル車がむしろ増えている。

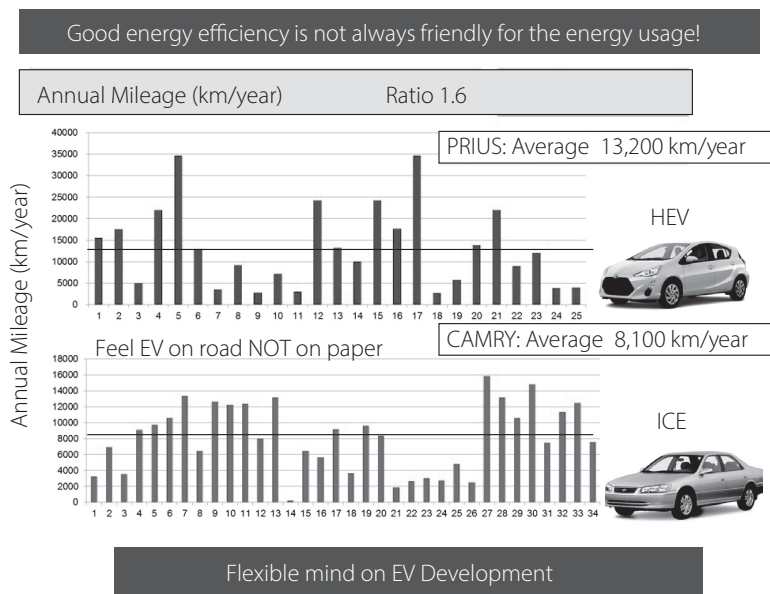


図5：燃費の良い車こそ、石油をたくさん消費している事実

はない。発展途上国だけではなくわが国でも、「生きることが環境問題よりも先決である」という本音が存在することを私たちは念頭に入れるべきである。

国際化の点で一つだけ指摘しておきたいのは、昨今の各国首脳によるガソリンやディーゼル車の販売や走行締め出し発言についてである。諸外国は、環境に優しく二酸化炭素を削減するという政治的スローガンを掲げて電気自動車促進の旗を振っているが、それらの国はいずれも、トヨタプリウスの優れた環境性能や燃費が良いハイブリッド車と同等のものを作れないので、その普及を阻止したいのが本音だ。だから、国際的な取引では、その優れたハイブリッド車や燃料電池の秘密を明かせばハイブリッド車の走行を認めると迫っている。日本は交渉ごとが下手なので、今これらの技術の根幹が失われる危機にある。

幸いなことに、HEVの神髄はエンジンとモータの最適制御ソフトにある。だから、いくらHEVを海外生産しても、ソフトを入れたチップさえ日本で管理すれば、このHEV技術がコピー商品として他国で使われることはない。機械部品だけの商品なら精密なコピーによって同じ製品が多数海外で出回っている。HEVのソフト解説を海外メーカーが刻苦勉強試みたが、成功した例はない。自動車におけるコストの50%がソフト開発に占める時代がやってくる。

科学として考えると、EVもその製造からリサイクルまでの全体では、たくさんのCO<sub>2</sub>を排出する。このような考えをライフサイクルアセスメント(LCA)という。それによると、特にリチウムイオン電池の製造やリサイクルにはたくさんのエネルギー消費が必要だ(図7)。表向きEV至上主義を唱える各国に対し、日本はその点を科学としてもっと主張してもよい

のだ。資源エネルギーの観点からは、自動車は特に、製造した限りは出来るだけ長く使用するのが良いが、製造者にとっては新車が売れないことは痛いことではあり、技術だけは解決できないと言えよう。

フォークリフトとならび、電化の価値が高いのが小型船だ。ディーゼル船に乗ると煙たい排ガスとすさまじい騒音にうんざりされた方も多い筈だ。小型船は屋根のないことが多いので、直接エンジンの排気ガスが乗客に飛び込んでくる。船は自動車と違い、ほぼ最大パワーに近い回転数で連続運転するので、騒音は自動車に比べるべくもない。一度、ハイブリッド船や燃料電池船に乗って頂きたい(図8)。きっと、静かな船旅の素晴らしさを味わっていただけるはずだ。

筆者らはハイブリッド化した一本釣り漁船を使った実証事業で、驚くことに80~90%もの燃料消費が可能であること



図8：旅客船として製作した電気船の公開(大阪市立大学)

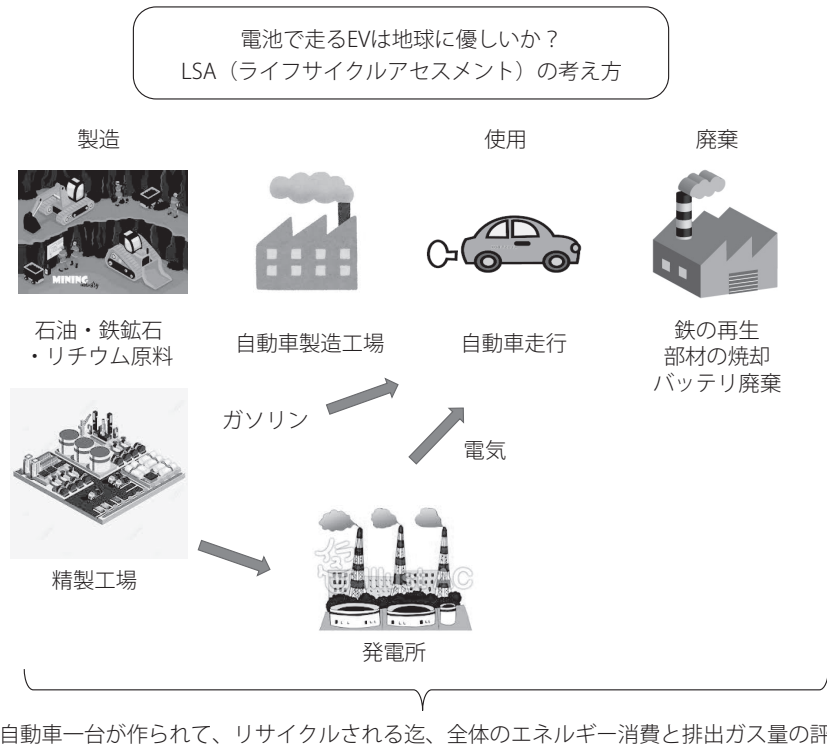


図7：ライフサイクルアセスメントの考え方では、製造時や廃棄時にEVは大量のCO<sub>2</sub>を発生する

を見出し、環境省から金星だとほめられたことがある。<sup>(4)</sup> 何事も適材適所で知恵を働かせることが大事だ。

図9は陸で走る燃料電池車を船に積んで水素による電源として使い、燃料電池船の実証事業をしているところである。現在、燃料電池船の普及を妨げているのは、燃料電池の性能ではない。揺れる船に水素を充填するための安全性確保が容易ではないからだ。石油ホースや電線に比べ、700気圧に充填された水素ホースは固形物のようなもので、船と充填岸壁間の揺れは破断をきたすからである。当面の解決法として、水素を載せた自動車を船との間で乗り降りさせる方法で解決を考えた。図9の燃料電池車搭載船を時速8 kmで航行するならば13時間可能で、時速4 kmだと消費量が8分の1になる(船は速度の3乗で燃費が変わる)ので、90時間以上の航行が可能となる。先に書いたが、船くらい静けさとクリーンという、電動化の美点を享受できるものはない。



図9：燃料電池車搭載船のプレス発表

イタリア・ベネチアでは、2028年に向けて、航行するすべての船舶を電動化するプロジェクトが始まり、筆者も発起人となって参画している(図10)。善は急げ、良いことには行動を起こすことが大事だ。

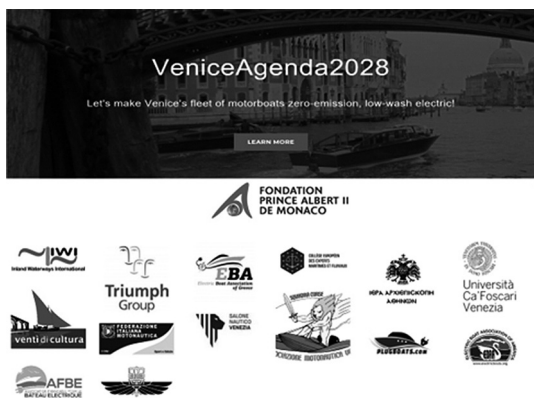


図10：ベネチア2028のホームページ

出典：VeniceAgenda2028 HP. <https://www.veniceagenda2028.com/>.

我が国の家電産業や自動車産業は生き残りをかけて世界のメーカーと競争している。そこでは、国際感覚を持った考え方が重要だ。家電は既にデジタル回路となり、テレビでは、微妙なブラウン管の色調整など必要とせず、5つほどのモジュールを組み立てだけで高品質の製品として売ることが

可能な時代だ。一方の自動車エンジンであるが、その排ガス特性や燃費特性を向上することは並大抵ではない。年間2,000万台を超える自動車生産をしている中国では、その多くは海外資本のカーメーカに軒下を貸し労働力だけを提供して、高性能車が作られている。少しの民族系と言われる国内カーメーカは安い自動車を作れるが、それらは環境規制の厳しい日本はもちろん、欧米でも販売できる代物ではない。エンジン制御には100年の経験が必要である。

中国はEVを国家五カ年計画のトップ2として長年開発を進めてきた。その優れた点は、実効性を大事にしている点だ。我が国はEVといってもたかが10万台である。8,000万台ある自動車がこれに置き換わってこそ効果を発揮するはずだ。中国では電動オートバイが年産5,000万台で既に3億を超える台数である。日本のメーカーが目指す高性能高価格のものは、目標がせいぜい1万台で、実効性という意味ではお話にならない。社会に役立つこそ商品が意味を持つてくる。

CO<sub>2</sub>削減についてであるが、環境省のホームページには、CO<sub>2</sub>の全体量は蛇口を閉めれば直ぐに減るような図が掲げている(図11)。実際には、年間のCO<sub>2</sub>排出量に比べ、その2桁以上のCO<sub>2</sub>が大気中に存在する。これを目標とするppmまで減らすには、たとえ今CO<sub>2</sub>排出をゼロにしても、産業革命以降に石油を燃やしてきた時間と同じだけの年月を要する。このホームページの図は、年間削減量に的を絞り、いわば「木を見て森を見ず」になっている。人々が認識を過つように仕向けたとしか言いようがないのは残念である。

CO<sub>2</sub>削減は温暖化阻止という意味ではなく、貴重な石油資源を燃やさないという意味においてこそ、その努力は非常に重要であると筆者は認識している。目的とCO<sub>2</sub>の課題が何であるかを見誤ってはならない。

日本のHEVは年間販売台数では30%を占めるようになり、素晴らしいことではあるが、走行中の車全体の中では1%に過ぎない(図12)。今のところ環境への実効性には乏しい上に、HEV車は事実として年間走行距離が多いことも欠点ではある。

家電メーカーが技術力を少量・高品質で自慢しても、世界に大きなマーケットはなかった。我が国の家電が高品質高性能を誇りながら、海外では商品として売れずに凋落していった過去を自動車産業が歩んではならない。過去の栄光にしがみついているのは破綻が起きるのだ(図13)。ただ、日本も海外の一流メーカーを完膚なきまで叩いてきた歴史があった。膜式カメラで全盛を誇ったライカやツァイス社の製品を、一眼レフ方式で駆逐してしまった。コダック社の安価なフィルム式カメラは米国の家庭に団欒を長い間もたらしていたが、日本製カメラが進出し、その文化まで破壊してしまった。今は日本が同じ目にあっている。

10年ほど前、ある家電メーカーが消滅した折、その会長が「外国の安い人件費に負けた」と言っているのを聞いて、あきれたことがある。中国も日本以上にたゆまぬ努力をしている。世界で売れる少量のハイエンド製品は、良い製造機械と、有能な社員で作られる。意外に思うかもしれないが、フランスの高級ブランド品はその多くが決して日本ではなく、中国で作られている。このようなMADE IN CHINAの製品は、日本の企業が買えない最高級の機械で生産されている。日本の産

排出量と吸収量のバランス

- ・温室効果ガス濃度安定化のためには、排出量を今後自然吸収量と同等まで減らさねばならない。
- ・現在の排出量は自然吸収量の約2倍以上にも達している。

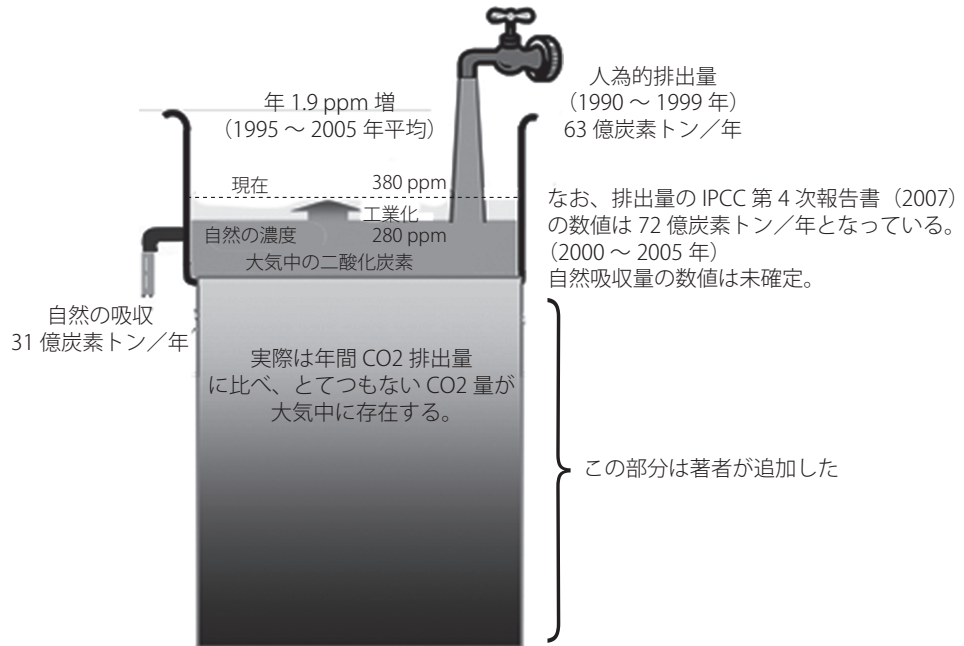


図11：世界が取り組むべき方向

注：環境省のホームページでは、CO<sub>2</sub>の全体量は蛇口を占めれば直ぐにでも劇的に減るような図が掲げている。

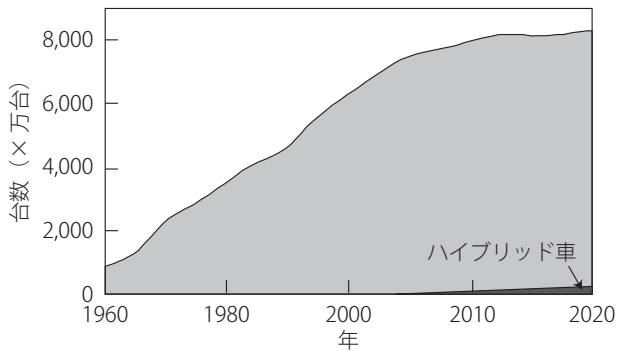


図12：自動車保有台数の推移(軽自動車を含む)

注：HEVは年間販売台数では30%を占めるようになり、素晴らしいことではあるが、登録車全体の中では1%に過ぎない。今のところ環境への実効性には乏しい上に、HEV車は事実として年間走行距離が多いことも欠点ではある。

業界がある意味で輝いていた時代があった。<sup>(5)</sup> 今も優れた技術が日本にあることは確かだ。しかし、多くの日本製品は高品質が大量に売れるという過信によって負のスパイラルに陥り、海外で勝ち目のない製品が増えていく一方だ。ダメな経営者は社員を路頭に迷わせる(図14)。

EVになると、部品数は減るし、モジュールとしてモータや電池など要素部品を購入し、いわばプラモデルのようにして作れる。また、安全なシャーシも含め、自社技術なしで製品化するファブレス化も可能となる。

ガソリンやディーゼル車を締め出しEV販売だけにしようと



図13：過去の栄光にすがりつき新しい技術を考えないと会社は凋落する

する各国の施策は、環境改善を目指しているふりをして、実のところ、ハイブリッド車やガソリン車を売らせず、技術が横一線にあるEVで優位に立とうと画策しての考えなのだ。ただ、科学として考えれば、本質的にEV技術はまだ力不足だ。あと50年は、化石燃料自動車の利便性や安全性は揺るぎない価値を持っていることは間違いない。

消費者の心理誘導や海外との交渉の得手不得手という、技術以外の要素で、商品の勝ち負けが決まりかねない世界では、総じて新聞記事をうのみにせず自分で考えることが有用だ。この話の中で重要なことは、読者諸氏が「自分で経験してこそ物事が分かる」という点である。筆者は燃料電池車ミライを購入して3年経つが、その走行距離はガソリン車の10分の1だ。やはり利便性に劣ることは間違いない。

EV 開発には明確な目的を持つことが重要

- ・EV で単に環境に優しいことをしているふりをしたいのか？
- ・大量普及によって、社会に実質的な貢献をしたいのか？
- ・自動車産業が変化しつつある中で、内燃機関をどう生かしていくかを考えた上で、EV を位置づけているか？
- ・企業のトップが EV 開発に深い理解を示しているか？
- ・技術者は最高性能を望みがちだが、それが価格も含め、本当にマーケットのある製品なのか？



図 14：目的が何かをはっきりせず、実は国際競争力のない製品が売れると思って作っていると社員が路頭に迷うことになる

ここでは、「真の国際性とは何か」という問いに答えたい。図 15 は著者が招待された 2017 年開催「アセアン EV サミット」での展示風景である。地元の EV と日本製の EV 群が展示されていた。日本車の展示の意味を考察する。

人々の豊かな文明を考えると、日本について考えるだけでなく、世界中の幸せについても考慮する必要がある。開発途上国に日本の製品を売って、その国を豊かにしたいとしたら、どうすればよいだろうか。

確かに、環境に良い日本製の EV やハイブリッド車をそれらの国に売れば新マーケットとなって、製造した企業や輸出業

者の儲けになる。また輸入業者や、補助金で車を購入した人もハッピーになるが、それらは彼の国の一部の人たちだけだ。補助金を出すことで、国や国民は益々貧乏になるという構図である。そこには、win-win の結果はなく、低公害車に関係した人達だけが得をして、社会はますます疲弊する。フィリピンは我が国とほぼ同じ人口だが、GDP は日本の約 10 分の 1 である。

販売者・購入者・社会の全てが幸せになるためには、外国が必要以上の余計な干渉をしないことだ。高性能車を単に少量輸入しても何の実効性も伴わない。いわば「三方良し」の精神で、販売・購入者・社会の全てが幸せになることが大事だ。彼の国も電動 3 輪など独自の製品を開発している。自前で努力して技術を確認し、その国の産業がゆっくりでも成長することによって、国内の販売者・購入者・社会全てが利益を得られればよいのだ。最近、アセアン諸国間が関税撤廃となった。それで喜ぶ国もあれば、輸入超過で国力が弱まり、益々不幸になってゆく国も出ている。

サミット当日同席した日本自動車トップメーカーのダイ支社長に個人的に聞いた話だが、「20 年先が見えない国に我が社は工場を建てない」は印象的だった。下手をすると、他国から見て日本もそういう国の一つになりかねないし、一方で彼の国の将来を思わずに単に商品売りつけて短期的に儲ける考え方を先進国が続けている限り、先の見えない国であり続けなければならないのだ。真の国際性とは、自国や自分の利益追求ではなく、他の国やその国民への尊敬や思いやりを持つことが基本だ。

5. 結言

HEV の技術で国益を守ることは重要であるが、だからといって、HEV を海外に売りまくれとは筆者は主張しない。その国



図 15：アセアン諸国を貿易自由化して儲かるのは誰だろうか？

---

独自で築いてきた自動車文化を大事にして、文明を独自のペースで進めるのが良いのではないだろうか。資源を含めた内燃機関自動車の優位性を無視して、EVによってすぐにでもガソリン車を置き換えることが是であるという考え方は、高い見地に立った科学として考えれば、愚かな思想であると言えよう。今後の更なる賢明な議論を促したい。

今年2020年に発足した我が国新政権でCO<sub>2</sub>削減が主たる政策として位置づけられている。それに越したことはないが、それよりも国家の1,000兆円に上る負債をどうするかについて、一切論及がなかった。この大問題が小さいことですり替えられているのである。国民に媚を売ることを禁じ得ない、民主主義という思想そのものの欠陥の具体例の一つだといえるだろう。その意味でも、マスコミの意見や、政治的な主張も、物事のある一つの切り口に過ぎないと認識し、国民それぞれが自分を守るために、冷静に科学的に世の中を考えることを忘れてはならないだろう。

環境にも世界の国民にも優しいことがEVの身上とするならば、他国の国民に被害を与えることに日本が加担して、その販売に手を貸すことを率先することは避けるべきではないだろうか。これがEVに課された、技術開発とは別の、国際的使命の根幹のはずだと言えよう。

本稿では、文明発展を考える時、科学技術と人間両方の視点から世界を見つめることが重要であることを、EVの世界を通して述べた。

## 注

- (1) 宇沢弘文(1974). 自動車の社会的費用. 岩波新書.
- (2) Chan, C. C. and Minami, S. (2009). 電気自動車の実像—EV・HEV・FCVの最新技術とその将来展望—. ユニオンプレス.
- (3) 南繁行 (2011). 普及に向けた電気自動車製作技術. ユニオンプレス.
- (4) Minami, S., Tsukuda, K., Koizumi, K., and Ikeda, H. (2015). Remarkable CO<sub>2</sub> reduction of the fixed point fishing plug-in hybrid boat. *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 13, No. 1, 1719-1724.
- (5) Vogel, E. F. (1979). *Japan as No. 1*. Harvard University Press.