

特集

電気自動車普及の未来予測が例証する科学的判断の必要性について

南 繁行 大阪市立大学 複合先端研究施設

1. まえがき

歴史的に見れば、電気自動車 (EV) に寄せる期待は実際のところ、脱石油に貢献することが全てであった。これまで起きた電気自動車ブームはいずれも石油高騰と枯渇意識の高揚がその駆動力となってきた。なぜか最近は環境問題への貢献が期待の中心として加わった形になっている。本当にそれが可能という検証がなされているのだろうか、それとも単なる勘違いにすぎないのだろうか。本論文では、それを科学の視点で客観的に明らかにしたい。

そもそも世界の石油埋蔵総量はざっと見て1兆バレル程度である。一方、近年における世界の年間石油消費総量は約250億バレルだから、あと40年間しか石油は使えないという結論が出てくる。

EVはバッテリーだけで走る自動車という意味で使われることが多い。ただ、専門的には、EVだと広義の電気で動く乗り物ということになるので、厳密にはバッテリーだけで走る場合はBEV (Battery Electric Vehicle) とし、ハイブリッド車 (HEV) 等の車に対し区別するが、一般にはBEVのことをEVということが多い。本稿では、EV全般との違いが重要な際は、BEVの言葉を使用した。その意味で筆者がBEVを初めて運転したのは30数年前になるが、その当時、世間ではBEVの実物を見た人はほとんどいなかった。15年ほど前に、我国では、四国で公道を走る唯一の電気自動車ラリーが開催された。現在まで続くこのイベントは、EVの存在を世の中に周知し、技術開発を体験的に学ぶ場としては一つの役割を果たしたと言えるが(図1)、それが普及に貢献したプロジェクトで合ったかといえば疑問符が付く。電池とモーターで走るのがEVだと理論では分かっている、作ってみたい、オーナーになって初めて、本当の良い面、悪い面が見えてくる。私は電気自動車等各種の電気で動く乗り物を四半世紀にわたり製作してきたが、そこで技術だけではなく、多くのことを学んだ(図2)。例えば、長距離をたまたに走ることも考えると、BEVよりもHEVが普及には是非とも必要だと思ひ、プラグインハイブリッド車も何台か製作した。商品は一般にそうであるが、特に電気自動車や風力発電ほど、机上で考えると、実際に所有してみた現実との差が大きいものはなかった。

ハイブリッド車 (HEV) はトヨタ自動車の独壇場で、2012年



図1：四国電気自動車ラリーの記事(1999)

の段階で既に生産40万台を超え、他社がとても追いつけない状態になっている。我国ではこのところ販売台数も第1位を堅持しており、既にシステムとして普及期に入っていると言える。一方、電池だけで走るBEVが自動車メーカーで量産され始め、まさに今マーケットが熱くなってきている。その本当の実力が世に試される時代になった。今のところはBEVは惚れて購入した人がほとんどだが、いずれ普及過程では、消費者はBEVをこれまでの自動車と同じレベルだと期待して購入することになる。

さて、電気自動車でビジネスをしようと思うならば、次の



図2：大学で製作してきた電動車両や電動船

5要素を知ることが必要である。つまり、①機械工学（シャーシや駆動系）、②電気工学（モータや駆動回路）、③化学（電池）の知見があるのはもちろんであるが、④それを使う消費者の考えや交通手段としての位置づけを考えることも重要である。更に、⑤BEVは参入障壁が低い特徴がある。だから世界的視点でマーケットが求める内容を理解し、価格も含めて商品としての競争力があるか判断できる国際感覚を持たなければ、企業としての利益は得られない。BEV自体は自動車産業革命の寵児となる時代の到来は迫りつつあることは確かだ。

我国のBEVに対する国際競争力を知るには、BEV技術の高さそのものより、企業の出す商品が市場の求めるものに合致しているのかが重要である。我国は、欧米文化に対し、劣等感を持っているにもかかわらず、自分たちお仲間だけで自国の物事を過大に称賛する傾向があると思う。第二次世界大戦で日本が負けたことは、その世間知らずの過信がなせる災いの最たるものではないだろうか。政治のやり方に限ったことではない。良いこと悪いこといづれにつけても、何も真実を知らない国民に対し、マスコミは小さなことを針小棒大に扱い、偏向誇張した報道を過去から現在に至るまでしばしば行っている。それが結果として国民に大きな損害を与えてきた。

ここでは、電気自動車の普及という国際的大型開発・販売プロジェクトの競争を題材にし、従来と同じ轍を踏まないためには科学的な思考が重要であることを、その例証として述べたい。

2. 電気自動車とは

僅か数年ほど前まで、未来の交通手段として期待されていた、電池だけで走る電気自動車（BEV）の実際の性能を一般のユーザが知ろうと思えば、ほぼ法人用にしか販売されていなかったメーカー製の高価なBEVを買うよりも、自分で手づくりする方が最短距離であった。筆者もいろいろなEVを製作して

きたし、安全性の見地から幾度かEV製作ハンドブックも出版した。その経験から10数年前に、電動車両は、電池だけで走るBEVよりは、一見中途半端に見えるハイブリッド車（HEV）こそが未来車の現実的な解答になるであろう感じていた。事実、トヨタ自動車のプリウスによって、成功裏にHEVは圧倒的な普及をみた。ここでは、石油を搭載せず、電池だけで走る電気自動車BEVの普及可能性について言及したい。

最近も、電気自動車の製作技術に関する本を書いた（図3：南, 2011）。メーカーが一般消費者向けに電気自動車を販売するようになった状況で、現在でも手づくり電気自動車の開発に意味があるのかどうか考えてみたところ、下記の項目が存在することがわかった。

- (1) 安価に電気自動車が製造出来るかどうか、ビジネスとして成立するかを検討したい。
- (2) 市販されていない車、例えば燃料電池車や超高性能車を作りたい。
- (3) 古い愛着のあるエンジン車がNO_x規制等の排ガス規制で乗れなくなった時、電気自動車として延命させて長く使いたい。
- (4) 市販の電気自動車は複雑すぎる。簡素化したEVを製作し、「地産地消」的考えとして、地域の気候・風土・用途にあった特性の車だけを生産し、保守点検整備をするコミュニティに参画したい。（地域に特徴のある車とは、次のようなものが考えられる。観光地なら、低速で見晴らし良くオープンカーにして、行楽スポットを探索してまわる自転車代わりの二人乗り程度の簡便自動車を作る。雪国なら窓ガラスが曇らないことに重点を置いた車を作る。塩害の多いところならプラスチックあるいは防錆の行き届いたボディにするなどである。）
- (5) 市販されていない特殊用途の電気自動車を製作したい。トンネルや建屋の中などで運搬や作業をする特殊車両

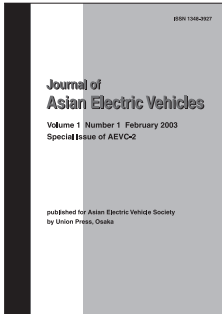
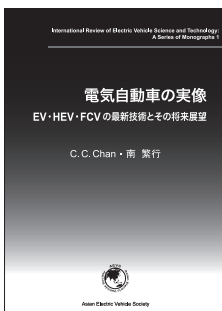
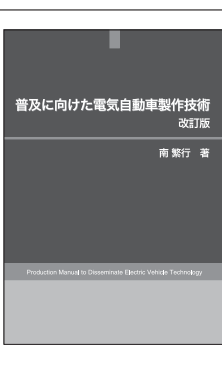
| | |
|--|---|
|  | <p>Journal of Asian Electric Vehicles (JAEV) Asian Electric Vehicle Society (AEVS:アジア電動車両学会)は、大阪に本部、香港・中国・韓国に支部を置いている。主な活動内容は、学術雑誌とモノグラフシリーズなど研究書の発行、国際学会の主催や共催を行っている。Journal of Asian Electric Vehiclesは、電動車両、ハイブリッド車両、都市交通、バッテリー、LRT、EV行政など、EV車両に関する学術雑誌（査読付き国際ジャーナル）。</p> |
|  | <p>電気自動車の実像—EV・HEV・FCVの最新技術とその将来展望— C. C. Chan・南 繁行 著 電気自動車の特徴を踏まえたうえで、その役割はどこにあるかが記載されている。昨今の電気自動車ブームの核心部分とは何か、それが本書によって確実に見えてくる。技術者は勿論のこと、行政の施策や企業の将来像を描く立場の方にとっても大いに役立つ内容である。電気自動車を科学の目で客観的に眺めたらどのようなことが見えてくるか、これまで記述されたことのない電気自動車の本質に迫った書である。</p> |
|  | <p>タイトル：普及に向けた電気自動車製作技術(改訂版) 南 繁行 著 本書は電気自動車を製作しようとする方のための技術解説書であるとともに、なぜ今電気自動車を作る必要があるのか、という質問に対する回答書でもある。従って、電気自動車のあり方に関して、かなりのページを使って記載した。動くものを作るくらい、完成した時の喜びの大きなものはない。オーナーとなって電気自動車を取り巻く現実を体験し、未来の交通手段のホープといわれる電気自動車で一体何が解決でき、何が出来ないかを理解しながら、電気で走る乗り物の素晴らしさを味わってもらいたいと期待して制作した。</p> |

図3：電気自動車の製作技術に関する本

- は、電動車両の独壇場である。
- (6) 電気自動車がどのようなものであるかを、とまかくローコストで体験したい。
 - (7) 高齢化社会での小型電気自動車による低速交通体系に適合した車両を設計・試作し、その普及が可能であるかどうかを模索したい。
 - (8) EV試作を通して、電動オートバイや電動車いす、あるいは電動船など、未来の交通体系での車両電化の意味を実感したい。
 - (9) 自分で車を作る、という趣味の世界をEVで楽しみたい。
 - (10) 電気自動車は、部品の故障が少なく、今後長期にわたり使用することが出来る点を生かした、長持ちする車を作りたい。
 - (11) 自作そのものの感動を共有したいため。自動車という動くものが作れた時の感動は素晴らしいものである。特に学校時代にチームや研究室で取り組んだこのような製作体験は将来の技術者にとっては心身ともに有意義な経験となる。
 - (12) 自分の好みのデザインをもつユニークな車で街を走りたい。
 - (13) 自分の好みのデザインをもつユニークな車で街を走りたい。
 - (14) 市販の電気自動車に対する整備や故障時のサービスに対応する知見を得たい。
- 最近開催される電気自動車に関する学会やシンポジウムでは昔とテーマが変わりつつある。10年、20年前は電池、モータ、駆動システムなど工学的技術の各論が話題のほぼ全てであったが、最近は走行のための電気エネルギーをどのようにして未来に向けて持続的に得るか、あるいはEV部品製造に必要な資源をどう確保するか、再資源化の方法等、大量普及段階まで見据えての議論が多くなってきた。また、普及にあたってのビジネスモデル、機器の標準化等が検討され始めたことは、市場成長の前触れとも言えよう。また、人口増加や、人口密度の偏在、消費マーケットの増大についても、コストと資源の点で大きな課題となりつつある。問題は果たしてそのような気運でマーケットが拡大したとして、それがEVに期待される脱石油や環境改善に貢献することが出来るかどうかである。筆者らが10年前にアジア電動車両学会を世界規模で創設したのもそのような気運の高まりを予測したからであった。

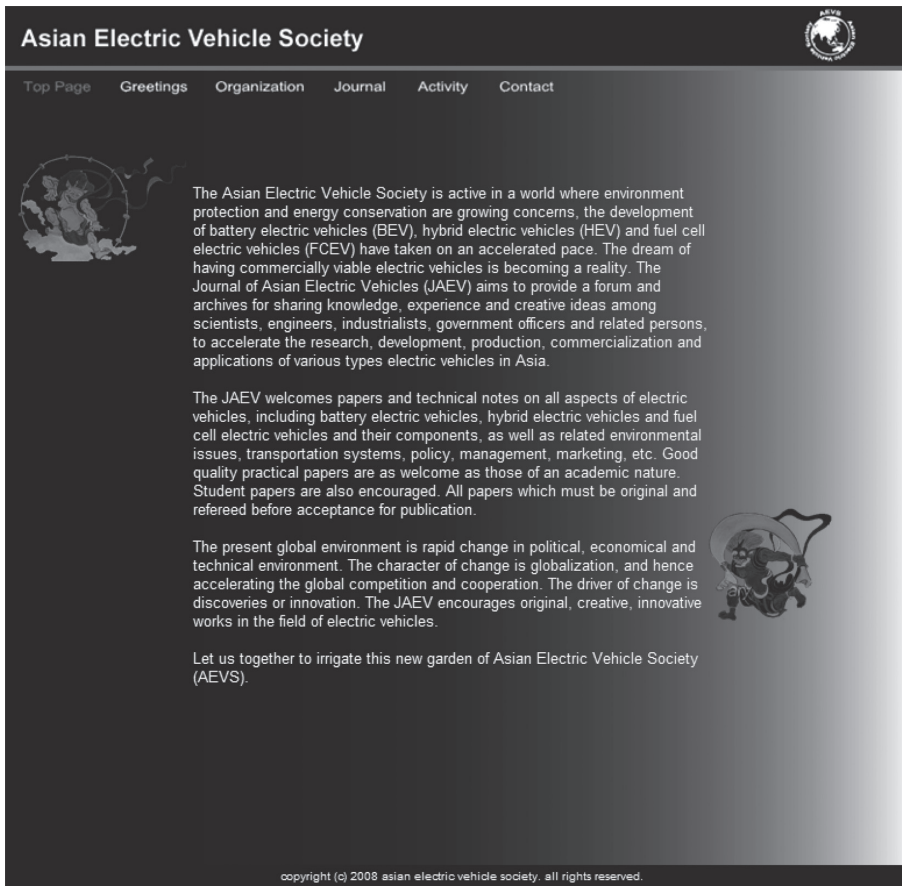


図4：アジア電動車両学会のホームページ

(アジア電動車両学会のHP, 図4)。

電気自動車は、電池とモータそれにコントローラが基本部品の全てであり（図5）、それらが市場で簡単に手に入るところに、産業としての参入の容易さ、それに伴う低価格化が予想される特徴をもっている。従って、高コストの我国にとっては、電気自動車の普及が本当に産業を活発にさせるとは簡単に言えない状況にある。

EVは確かに次のような利点を持っている。

- ・ 排ガスを出さず、静かに走る
- ・ 効率が良い
- ・ 制御性が良い

それと同時にEVであるがゆえの弱点もある。図6は、各種



図5：電気自動車駆動部の構成は簡単であり、部品が世界中で容易に手に入る市場特性をもつ。

方法による蓄積エネルギーの重量あたりの大きさを示している。理論限界の性能をもつ製品が作れたとしても、電池はガソリンや水素に比べ、約100分の1しか、エネルギーを蓄積出来ないことが分かる。

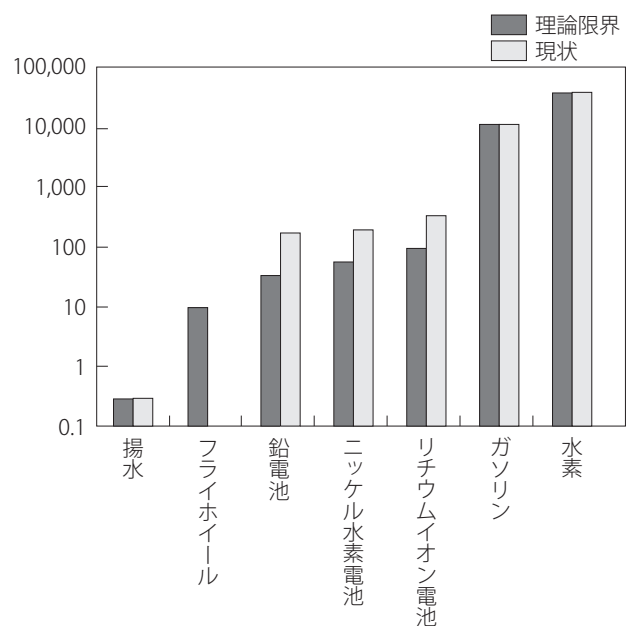


図6：各種エネルギー蓄積法のエネルギー密度 [Wh/kg]

各種の方法によるエネルギー蓄積密度 [Wh/kg] は、ガソリンエンジンの効率を20%、モータの効率を100%としても、エネルギー蓄積重量あたりの走行可能距離に10倍以上の差が出る(リチウムイオン電池の場合でも)。つまり、同じ燃料重さなら、電気自動車の走行可能距離は約10分の1なのである。なお、これは乗用車の場合である。また、現在のリチウムイオン電池の市場価格を10万円/kWhとしても、もし2年毎の買い替えをするなら、100 km走るには約10 kWhの電池があるので、さっと100万円の買い替えコストがいる。

- ガソリン 10 km/L (1 km/0.1 kg)
- EV 10 km/1kWh (1 km/1kg)

電気自動車の燃費は、重量1トンの標準的な自動車とし、10-15モード走行パターンで計算すると、1 kWhのエネルギーで約7 km (回生なし) ~ 11 km (100%回生あり) 走行できることになる。ところで世の中には直径数mのタイヤをもつ重量級の車も存在する。国民の生活と経済を支えるバスやトラックのような10トン車では、1 kWhのエネルギーでたった1 kmしか走れない。大型車の電池での走行を可能にするためには、電池購入と維持に多大なコストがかかり、その普及は将来にわたっても困難である(図7)。



図7：大型車のバッテリー電動化は、コストと性能の点で将来にわたっても到底実現が困難である。

消費者は、石油が存在するならば、決して多額の費用がかかる電池を積んで走る電気自動車を選択することはない。これは後でフォークリフトの普及事例であきらかにする。

現在では、我国のような先進国では、運輸部門からの大気汚染で問題になるのは、NO_x、PM (黒鉛微粒子) だけである。日本で走っている優れたエンジン車からはCOやSO_xはもはや排出されないといい。NO_xは図8のように喘息の原因物質と言われているし、PMは花粉症の原因を作ると言われている(図9)。これらの排出が低減出来ればそれに越したことはない。それを電気自動車に期待できるであろうか。その答えは否である。

なぜならば、図8と図9で分かる通り、NO_xはディーゼル車から大半が排出される。PMに至っては100%がディーゼル車から排出される。これらの大型車を電池で走ら

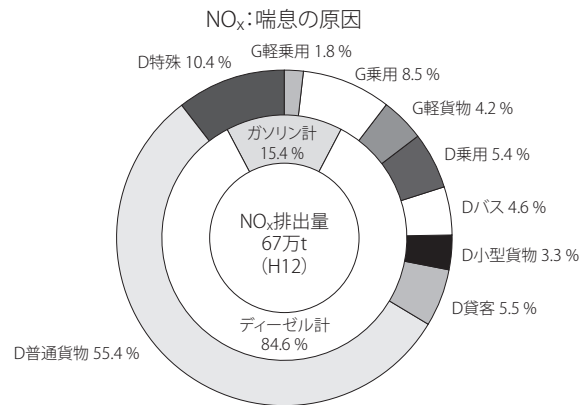


図8：我国の車種別NO_x排出量

注：1%未満はラベルを除く。

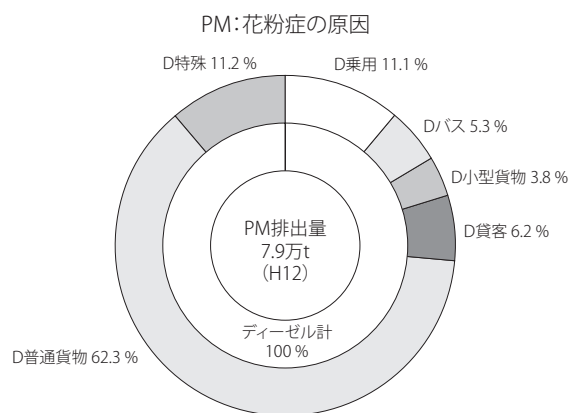


図9：我国の車種別PM排出量

注：1%未満はラベルを除く。

ることが甚だ難しいことは、電池性能とコストを考えると明白である。

エンジン車からのこれらの排出ガスも規制によって急激に低減されてきた。ということは、1トン足らずの乗用車なら電動化によって静かで排ガスが出ないことを喜んでおられるが、単にそれだけのことである。乗用車のEV化は今の大気環境汚染対策には、全くと言ってよいほど貢献することはない。確かに石油採掘から走行迄のWell-Wheel総合効率が理論的に若干良いことは、CO₂排出削減に代表される化石燃料消費を抑制させることには多少とも貢献できる筈である。

ただ、先に述べたように、ランニングコストの面で経済的な電気自動車については、消費者の性質を考慮することも必要である。環境問題改善には気持ちの上で賛同する人は多く、始めは物珍しさも手伝って電気自動車を購入する人はいる。今後は、燃費がよいという経済的理由で電気自動車を選択されてくるだろう。電池買い替えを考えれば、本当は電気自動車には経済的にはメリットない。その点はともかくとして、目先の経済性を重視する消費者の気持ちからすると、もし燃費が良い経済車ならば走らなければ損をする、という気持ちが出てきても不思議ではない。つまり、不要な時でも使用し、石油など発電所の原料消費削減には逆に悪い影響すら与えか

ねないのである。

その実例をあげよう。単純に考えると燃費の良い車は石油消費が少ないと思うが、それは誤った幻想である。任意に選んだHEVであるトヨタ自動車プリウスとエンジン自動車ビスタに対し、年間走行距離を解析したところ、図10に示すように、残念ながら平均値はそれぞれ約13,000 km及び8,000 kmと約1.6倍もの違いを示した。石油消費削減の観点からみると、燃費の良いクルマは、実はそれを帳消しにして、多量の年間石油消費をする車であることが多い。その上、結果として燃費の良い車は不必要に道路にあふれ、交通事故や渋滞を余計に作り出している。勿論、高い見識で使われている人もいる。私も電気自動車やハイブリッド車プリウスも持っているが、それほど使用しているわけではない。ただ、平均値としてみれば、明らかに人が思うような予想には反する結果を示していることは事実である。

技術者にとっては悔しいことであるが、マイカーとでの石油消費総量を抑制しようとするなら、燃費の良い車を開発するより、不経済で乗り心地が悪く安全性も低い車を消費者に乗ってもらうことが一番なのである。

消費者とはそのようなエゴな習性を持っていることを忘れてはならない。ユーザの性質を知れば、燃費の良いクルマはかえって社会にとっては困る存在とすらなっていることに気づく必要があるのだ。なにも現実を知らない政治家や自動車評論家の本がどんな美辞麗句で電気自動車を褒めても、それらが空しいものになりかねない。石油を22、23世紀まで保存するにはどのような施策が必要なのか、何が未来の人類に

にとって良い商品であったと言えるのか、現在の我々の行いに対し、歴史が善悪の判断を下すだろう。

電気自動車に関する結論は、大型車の電動化を普及させることは困難だが、一方で大型車のEV化が普及しなくして環境改善はない点である。自動車が撒き散らす道路のほこりや交通事故・渋滞はEV化で解決できるものではない。無論、既に道路を走っている我国の自動車は既に十分排ガスはきれいであり、局所的なところを除き環境汚染は克服されたものになっている。だから、環境への影響だけに関して言えば、我々が自動車に乗る時に、現実を歪めて書かれた教科書によって我々の心に長年刷り込まれてきた罪悪感でさいなまれる必要はない。ただ、未来に残すべき石油を今のペースで使い続けてよいのかどうか、それが大きな問題であることに間違いはない。

3. フォークリフトの普及推移に見る電気自動車普及の未来予測

ここでは、フォークリフトの普及推移データに見る電気自動車普及の未来予測について述べる。フォークリフトにはエンジン駆動と電動モータ駆動がある。一度電動式を使うと、運転中静かで排ガスも出ないことは、運転者にとって大きな利点であり、手放せなくなる。だから電動モータ式が増えてきているし、それを筆者も愛用している。その普及の現実をみてみよう。

これらの販売台数の過去約50年の推移における、両者の割合を図11（国内販売）、図12（輸出台数）に示す。確かに電動

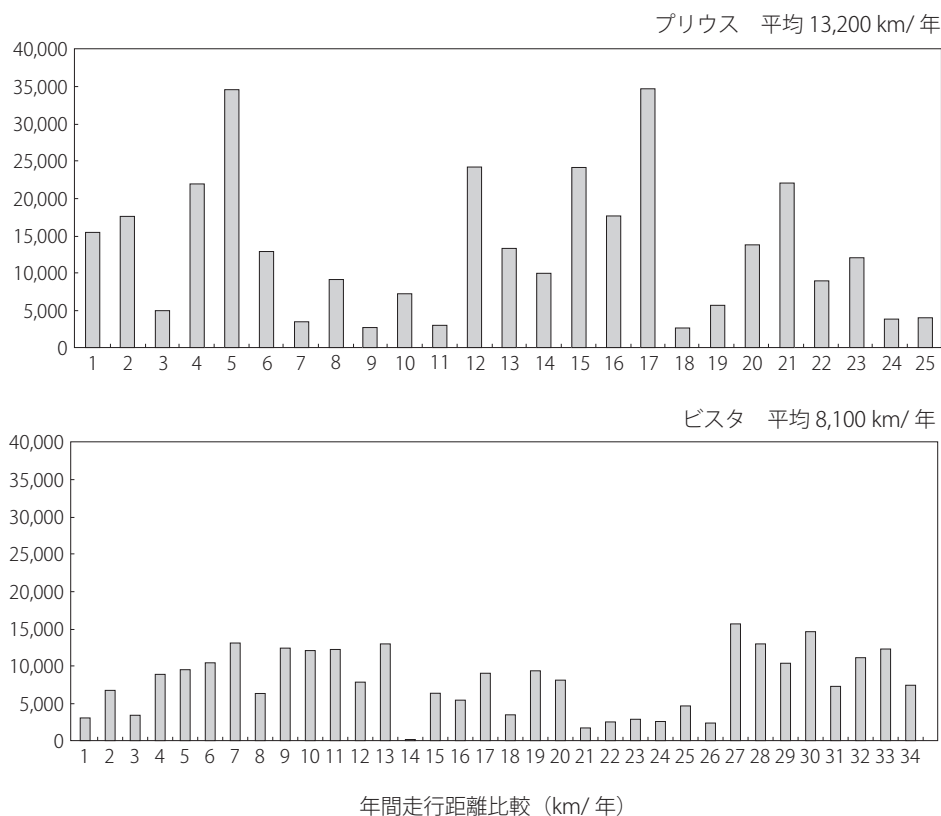


図10：任意に選んだトヨタ自動車プリウスとビスタの年間走行距離の違い。両者の平均走行距離比率は実に1.6倍である。

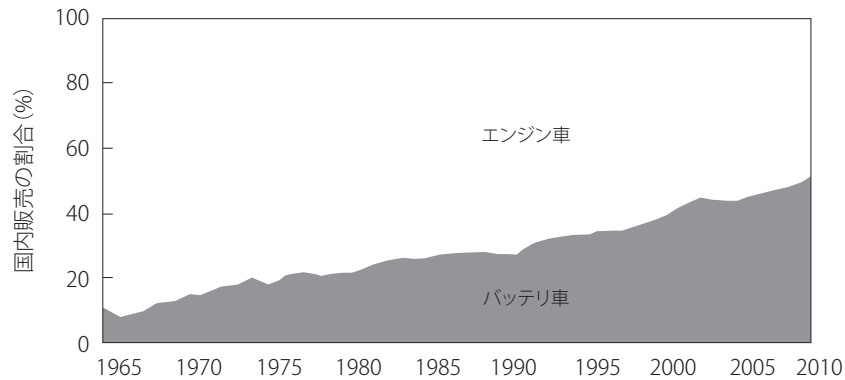


図11：フォークリフトの国内販売の割合
出典：産業車両統計情報，社団法人日本産業車両協会

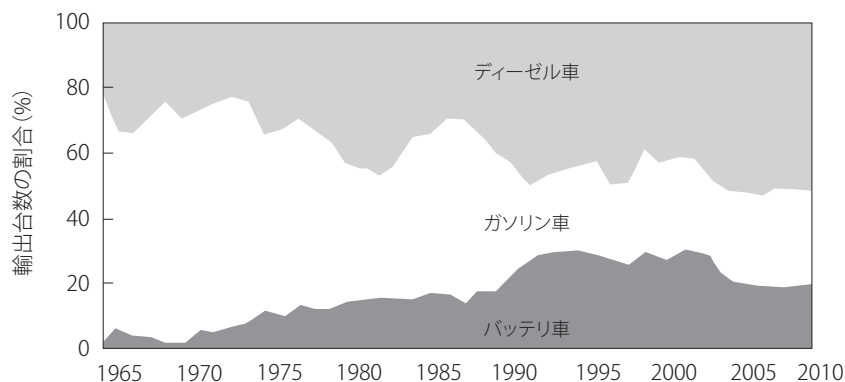


図12：フォークリフトの輸出台数の割合
出典：産業車両統計情報，社団法人日本産業車両協会

式が増えているが、実はガソリン駆動の小型フォークリフトが減っているからである。国内海外ともに荷役性能3～4トンを超える大型車のほとんどは未だディーゼル車であり、その結果ディーゼルの割合は減っていない。海外マーケットにたつては、経済的なディーゼル車が増加している。すなわち、大型車では電池の交換コストが高く、いくら環境に良いと言っても、それを導入することは不可能なのが現実であり、石油がある限り今後もそうである。

このような理由によって、現実には大型自動車の電動化を普及させることも困難である。一方で、その普及なくして大気環境改善はない。電気自動車の未来普及がフォークリフトと同様の過程をたどることが容易に予測できる。電気自動車は、石油価格の高騰により、小型ガソリン車を置き換え増加する可能性があるが、それは何の救いにもならない。NO_x、PMを排出するディーゼルの大型車は石油がある限りエンジンで駆動されることは間違いないし、それだけでなくは彼らの商売が成り立たない。

4. まとめ

本稿では科学的視点の重要性を、電気自動車の価値との普及予測を例にあげて述べた。エネルギーという量は、変化する割合ではなく、積み上げたその総量にこそ意味がある。エネルギーに相場を立てて、その価格の上がり下がりて儲ける

ことを考えるべきでは決してないし、そのようなことで商売をしてはならない。その意味で、やれることとしては、化石燃料をいかに節約して後世に残すかを全ての施策の原点に据えて、今の交通用具としての自動車普及と交通施策は考えられるべきである。現在のエンジン乗用自動車は昔と違い、環境を汚染する排ガスをほとんど出していない。今や我国の排ガス規制は、走れば走るほど化学触媒燃焼器として作用し、大気をきれいにするレベルにまで達している。マスコミがいくらトラックのマフラーからでる黒煙を彼らのカメラで写そうと企んでも、違法な燃料でも使っていない限り、そのような特異な車は今時走っていない。

大型車だけが環境に問題ある排ガスを出しており、その電動化が進まなければ、乗用電気自動車や小型貨物電気自動車が普及しても、世間で期待しているような環境改善に貢献できそうもない。確かに、数値的には脱石油に少しは貢献するだろうが、それは燃費が安いことの恩恵を仇にして、どんどんと以前に増して電気自動車に乗って走る人々がいなければの話であるが、現実はそのことを示した。経済的だからと言って電気自動車の走行距離が増え、かえって道路渋滞・交通事故増加を惹き起す結果となりかねないし、きっとそうなることが懸念される。電気自動車は適材適所で使われてこそ、真の価値が生きてくる。

人間は衣食足りて礼節を知ると言うが、先ず経済性・儲け

を第一に考えることは否定できない事実である。我々は一つの商品をデザインするとき、人の利己的な面を計算に入れた上で、それが招く結果を推測することが重要である。決してエコがエゴになり下がらない工夫が、政治にも技術開発をする者にも求められる。

例えば、火急の問題である現在の電力エネルギー不足をどうして回避するかを考えると、太陽電池や風力発電機には、迫りくる電力需要危機に今すぐ応えられる能力など到底ないことは、科学的視点で考えれば自明だ。多くの予算を使い国やメーカーが投資する巨大プロジェクトに対し、今こそ人類にとってそれらを推進することがよいことか、他国でやっても我国は自信を持ってそれをしない方がよい事柄なのか、それをはっきりさせることが大事である。

国際感覚で客観的に我国がどう見られているかを知ることでも重要である。日本は発展途上国ではあるまい。自国の自慢話の為に、多額の予算を使って無益に近い世界一を競っている時ではない。一方では、政治家が思いつきで放言する、無責任な20年30年先のあり得ない数値目標だけが高らかに鳴り響き、国民は例えばエコビジネスなどと称した欲に絡んで、右往左往させられている。今こそ、人間の性質も考慮しつつ、冷静な科学的な視点で物事の判断し提言することが、緊急の課題として科学者に求められているのだと言えよう。

引用文献

- Asian Electric Vehicle Society, <http://www.union-services.com/aevs/>.
- Chan, C. C.・南繁行 (2010). 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, 2009.
- Minami, S. (2011). Reality and virtuality of electric vehicles, *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 9, No. 1, 1447-1451.
- 南繁行 (2011). 普及に向けた電気自動車製作技術 (改訂版), ユニオンプレス.