

リーン生産方式の教訓を気候変動問題に活用 日本からG7と世界への贈り物

Gill Pratt, Ph.D.

Chief Scientist, Toyota Motor Corporation
CEO, Toyota Research Institute

皆さん、おはようございます。本日、皆様とお会いできる貴重な機会を頂き、ありがとうございます。

本日は、気候変動に最も効果的に対処する方法について、日本がG7各国や世界に何を伝えることができるのか、日本を外から見る外国人としての視点、そして日本の企業で働く科学者として私の考えをお話ししたいと思います。



島国である日本は、限られた資源の中で成長をするという、非常に貴重、且つ独自の経験をしてきたと思います。トヨタ生産方式をはじめとするリーン生産方式が日本で生まれたのは、決して偶然ではないでしょう。

ムダを省きつつ、品質を高めるという日本の技術革新は、世界への素晴らしい贈り物になると考えられます。

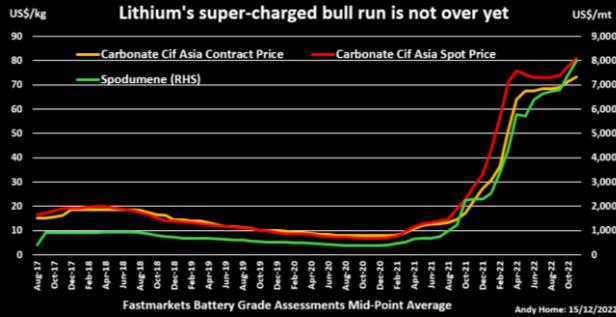
日本はG7・世界に対して、この教訓を伝えるべきではないでしょうか。具体的には、限られた資源の中、できるだけ早く、できるだけ多くの二酸化炭素を削減する重要性というメッセージをお伝えできると思います。



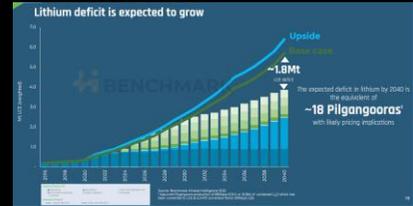
南極大陸のエレファント島から出発するジェイムズ・ケアード号、1916年4月24日
写真はサー・アーネスト・シャクルトンの「South」より。(乗員は全員生存)

この教訓は、救命ボートで生き延びるために必要な行動と同じです。サー・アーネスト・シャクルトンの南極大陸への大冒険で使われた救命ボートに乗っていたとしましょう。その時、用意していた全ての水を一人に与え、その人が手を洗えるようにするでしょうか。それとも乗員の喉の渇きを防ぐために、水をみんなで分配するでしょうか？ 答えは明らかだと思います。また、船員それぞれのニーズに関係なく同じ量の水を全員に与えるか、それとも船を漕いでいる人に多くの水を与えるでしょうか？ この質問に対する答えもまた、明らかになります。

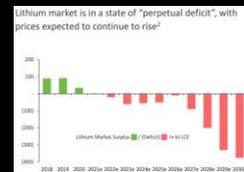
リチウム不足の見通し



出典: Fastmarkets Commodity Pricing Agency



出典: Benchmark Minerals Intelligence



出典: Macquarie Bank

今日の気候変動との戦いの中で、リチウムをはじめとする多くの電池用鉱物は、救命ボートにおける水のような存在です。BEVを作るには、従来のガソリン車に比べ、最大6倍もの重要鉱物が必要となります。また、電池工場の建設期間は2～3年ですが、新しい鉱山の稼働には10～15年かかります。その結果、地球上にはたくさんの電池用鉱物が眠っているにも関わらず、IEAを含む多くの専門家は、今後10～20年（自動車の寿命とほぼ同じ期間）は、電池用鉱物が30～50%不足すると予測しているのです。

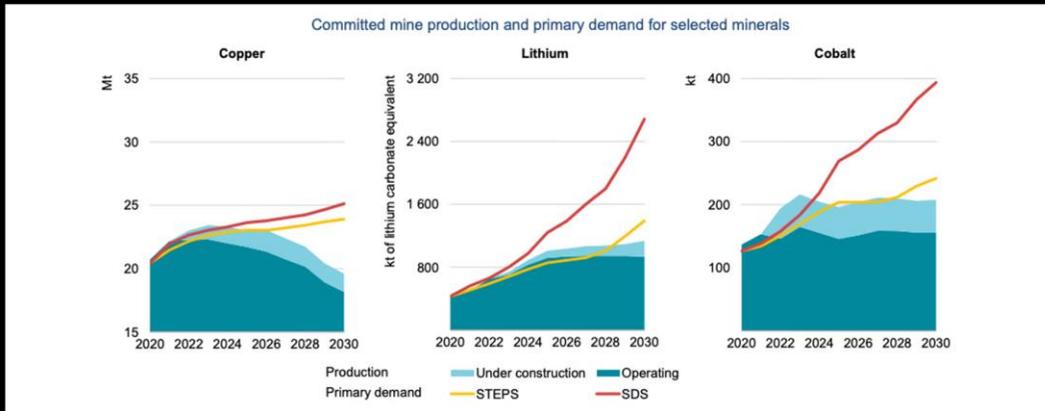


Figure 11: 2030 market balance projections

	Deficit Emerges	Size of Deficit in 2030e	Deficit as a % of Market
Cobalt	2023	170kt	42%
Copper	2024	10.9Mt	31%
Lithium	2024	2.1Mt	50%
Natural Graphite	2024	3.7Mt	37%
Nickel	2021	2.2Mt	37%
Rare Earths	2022	48kt	47%

Source: UBS.

出典: UBS

THE WALL STREET JOURNAL. Gill Pratt

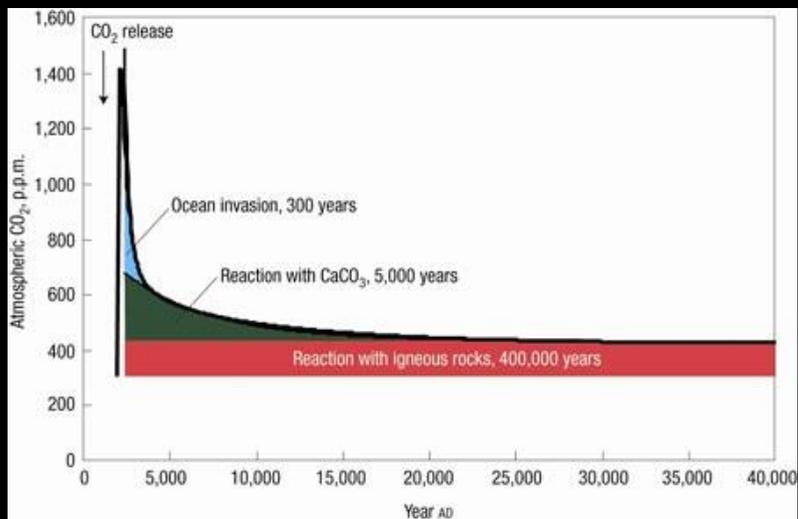
Home World U.S. Politics Economy Business Tech Markets Opinion Books & Arts Real Estate Life & Work Style Sports

Shift to Mined vs. Man-Made Graphite Raises Shortage Risk for EVs

Natural graphite is greener than synthetic, leading auto makers to turn to mines for the mineral

2023年1月25日、Wall Street Journal

そして、不足するのはリチウムだけではありません。様々な重要鉱物の供給不足、そして充電インフラの整備状況も、地域によって大きく異なるでしょう。そのため、たとえ電池用鉱物の不足が解消されたとしても、クリーンな電力を供給する充電インフラは、今後数十年間、世界の多くの地域で不足することになります。



化石燃料の燃焼によるCO₂の大量放出後、4万年間の大気中CO₂濃度のモデルシミュレーション。
The Long Thawより転載

CO₂は大気中に非常に長い時間蓄積されます。
CO₂を大気から直接除去するには、膨大なエネルギーが必要です。
つまり、私たちが今日排出したCO₂は、私たちのひ孫やその先の世代の時代まで大気中に残ります。
したがって、私たちは、資源の制約がある今後数十年の間も、できるだけ早く、できるだけ多くのCO₂排出を削減しなければならないのです。



南極大陸のエレファント島から出発するジェイムズ・ケアード号、1916年4月24日
写真はサー・アーネスト・シャクルトンの「South」より。(乗員は全員生存)

私たちは限られた資源しかない状態で救命ボートに乗っているだけでなく、時間も味方をしてきていません。
私たちは一生懸命ボートを漕ぎ、一刻も早く、出来るだけ多くの結果を出すことが急務です。

Average Lifetime
CO2 Emissions Rate:
253 g/km

FLEET AVERAGE
253 g/km

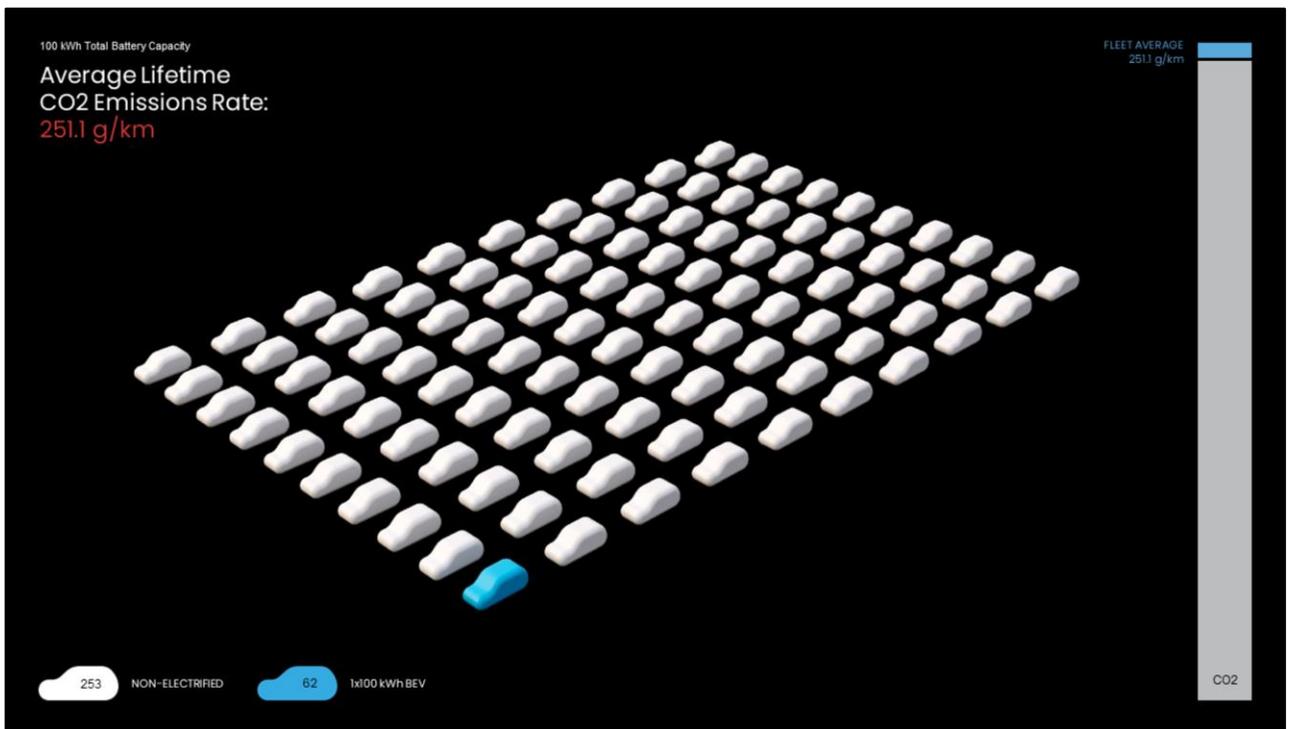


253

NON-ELECTRIFIED

CO2

これを自動車の電動化という文脈で見てください。
生涯平均で253g/kmのCO2を排出するガソリン車が100台あります。
そして、救命ボートにおける水のように、100kWhのバッテリーが使えるとしましょう。

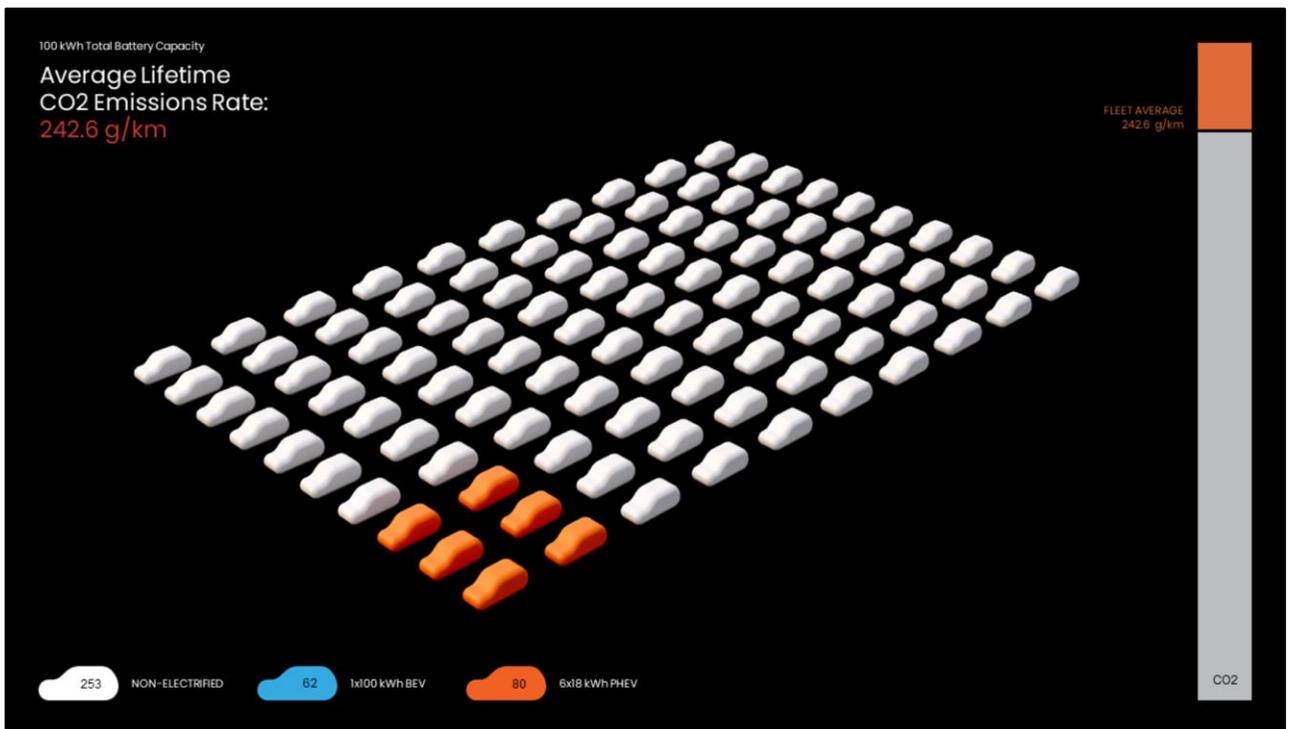


その100kWhのバッテリーをすべて、長距離走行が可能なBEV1台に搭載することもできます。

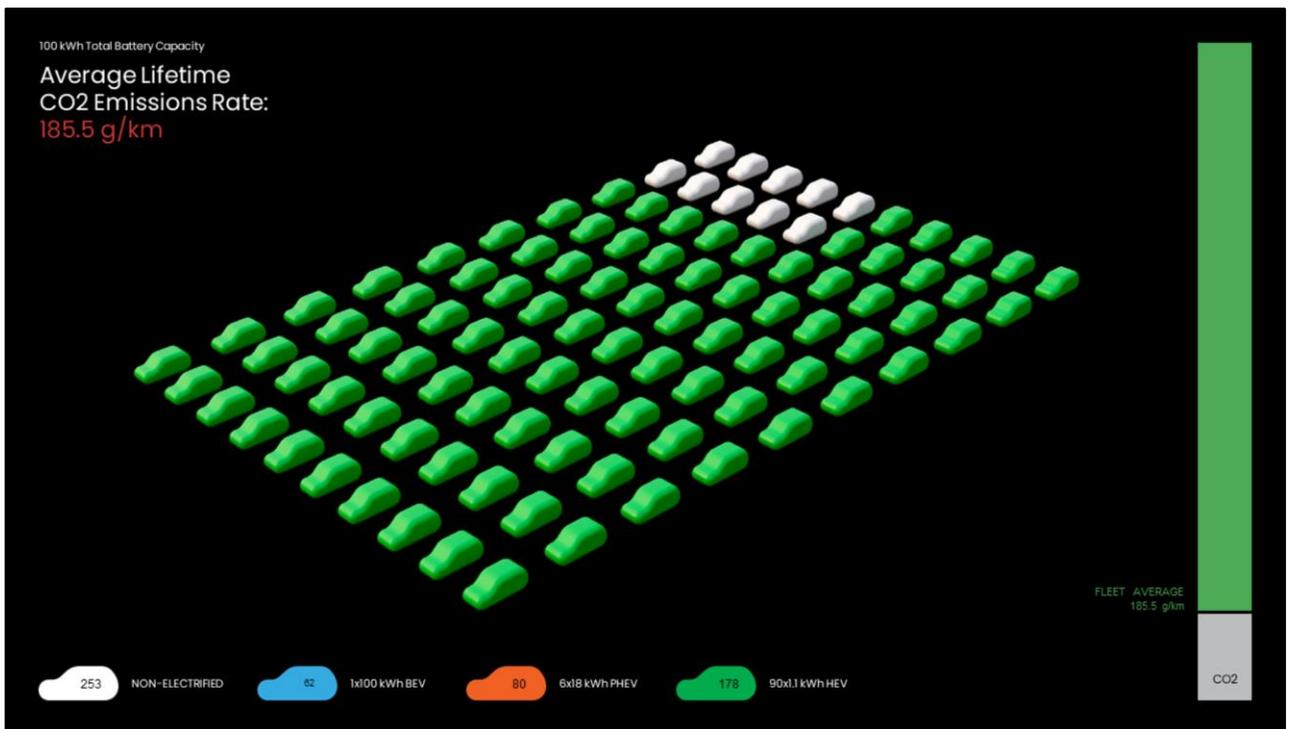
一人の人にすべての水を与え、その人が手を洗えるようにするのと同じです。

このBEVに乗るお客様は、自分のクルマの生涯平均CO2排出量が62g/kmで済むため、CO2削減に貢献できます。

しかし、100台の車の総CO2排出量は、既存のガソリン車1台が置き換わるだけなので、少ししか減りません。



同じバッテリーを、6台のPHEVに分配することもできます。
 1台あたりの生涯平均排出量は80g/kmとBEVには劣りますが、1台ではなく6台のガソリン車を置き換えられるため、全体のCO2排出量はより少なくなります。
 また、PHEVはBEVより安いいため、お客様が実際に購入する可能性も高くなります。



さらに、同じバッテリーを、より手頃な価格の90台のHEVに分配することもできます。

1台のCO2排出削減量はさらに少なくなりますが、全体のCO2削減量はさらに大きくなります。

この結果は、各車種の正確な排出量には影響されません。なぜなら、総削減量は、置き換えられたガソリン車の台数に影響されるからです。もちろん、「HEVだけを作れば良い」ということではありません。

世界には、HEV一本化では使い切れない電池用鋳物があります。一方で、BEV一本化に必要な十分な資源もありません。

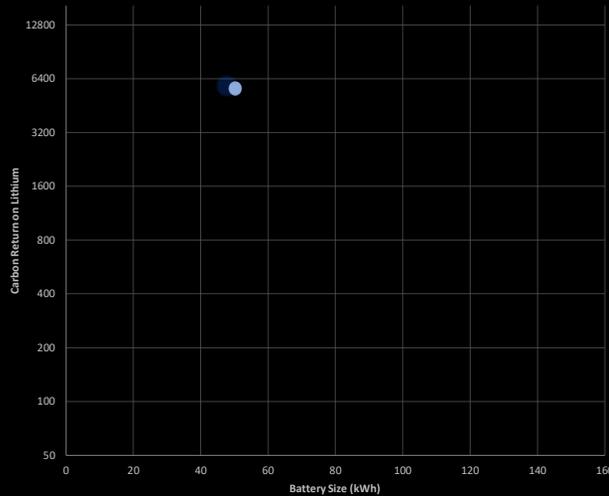
リチウムのカーボン・リターン(CROL)

$$= \frac{\text{排出を阻止したCO2排出量 (g)}}{\text{投資したリチウム (g)}}$$

Electrical Carbon Intensity

Wyoming

(887 g CO₂eq / kWh)



Source:

carghg.org

Open-Source Software

Open-Source, Actual Driving Data

Peer-Reviewed Papers

Model:

Same Vehicle
(Latest Model Year Small SUV)

Different Power Trains

次に、経済学的な視点から見てみましょう。

このグラフは、リチウムのカーボン・リターン (CROL) を示しています。これは、排出を阻止したCO2排出量を、投資したリチウムのグラム数で割った値です。

このグラフから何が分かるのでしょうか。

クルマを電動化するために最初に使う少量のバッテリーが、最も効果的であるということです。

バッテリーを増やせば増やすほど、その効果は減少します。

これは、1台当たりの平均的な走行距離が長くないためです。他でより有効に使えるはずの未使用のバッテリー容量を持ち歩くことはムダであり、過剰在庫のムダと同じです。

(クリック)

グラフ上の点は、BEV、PHEV、HEVにグループ化されており、HEVが最もリチウムに対するカーボン・リターンが高くなっています。

(クリック)

このグラフは、アメリカの電力おける、平均的な炭素排出量を示しています（クリック）。

これを、1kWhあたりの炭素排出量がアメリカより約1/10であるスイスで見ると（クリック）、BEVの結果が良くなります。ただ、BEVほどではありませんが、PHEVも良くなっています。つまり、クリーン電力があり、充電インフラへのアクセスが容易であれば、BEVの効果が大きくなりますが、他の電動化車両は、リチウム1グラムあたりの炭素排出量をより多く削減することができます。

（クリック）

電力をほぼ化石燃料に頼っているワイオミング州で見ると、最もバッテリーの大きいBEVは、ガソリン車よりもリチウムに対するカーボン・リターンがマイナスであり、グラフに載ることさえできないのです。

私はBEVだけを作れば良いと主張していません。多くのBEVを作るのに十分な資源が地球上にありますが、BEVだけにするのに十分な資源は存在していません。

救命ボートの乗客よりも漕ぎ手に多くの水を与えるように、私たちはBEVを最も効果のある場所、つまりクリーンな充電に簡単にアクセスできるお客様に割り当てるべきなのです。

全体として最も良い結果を出すには、他のお客様は、従来のガソリン車をBEVではなく、PHEVやHEVに交換すべきなのです。



これを直感的に理解するための第三の方法を紹介します。これは、日本のある工場のレイアウトを検討したものです。

HEV用電池の第1工場と第2工場、そしてBEV用電池の第3工場があります。

HEV用の2つの工場は、それぞれ年間21万台分の電池を生産しています。

一方、BEV用電池の工場は、HEV用の工場の何倍もの広さと10倍の電力を消費しているにもかかわらず、年間8万台分の電池しか生産していません。

このようなBEVは、特定地域のお客様にとっては価値がありますが、他の地域に住むお客様客にとっては、資源の無駄遣いになってしまうのです。

Easter morning 1900: 5th Ave, New York City. Spot the automobile.



Source: US National Archives.

Easter morning 1913: 5th Ave, New York City. Spot the horse.



Source: George Grantham Bain Collection.

最後に、アマラの法則についてお話ししたいと思います。過去の委員会でも触れられたと聞いています。

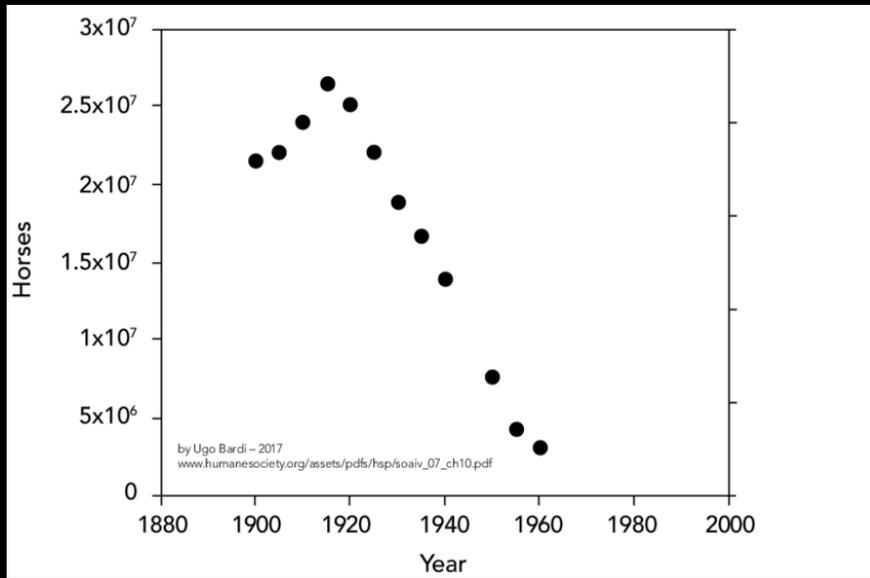
ロイ・アマラは、アメリカの有名な科学者で、人は技術革新のスピードを短期的には過大評価し、長期的には過小評価する傾向があると断言しました。

しかし、アマラの法則は常に正しいのでしょうか？

これは反例としてよく使われる写真です。13年隔てたニューヨークの同じ通りの写真です。

この写真を見ると、馬から車への移行期間が短いので、アマラの法則に逆らうように見えます。

しかし、これは本当でしょうか？



実は、この写真は我々を欺こうとしています。
 ニューヨークの一つの通りだけでなく、アメリカ全体で見ると、馬が車に取って代わられるのに、13年ではなく、50年かかったことが分かります。
 そして、世界的には50年よりもさらに長い年月を要したのです。
 アマラの法則は、馬が自動車に代わるという点においても、正しかったのです。
 電池材料の不足とクリーンな電力を使う充電インフラの世界的な格差により、BEVの普及もアマラの法則に従うことになるでしょう。



G7、そして世界が日本から学ぶべきことは、こうした制約があってもカーボンニュートラルの達成は可能であるということです。重要なのは、ムダを最小限に抑え、最も効果のあるところに資源を使うことです。

最近、多くのリーダーが同じような考えを発信していますが、とても心強く感じています。

ビジネスリーダーやメディアでさえも、私たちが直面している課題を理解し、私たちの現実的なアプローチに賛同し始めているのです。

今こそ、アクセルを踏み続ける時です。

私たちの視点を共有し、政府、ビジネスリーダー、そしてメディアに対して、何が最も効果的であるかを訴求し続ける必要があります。



敵は炭素であり、特定のパートレインではありません。
お客様に多様な電動車の選択肢を提供することで、地理的・経済的環境に関係なく、すべての人がCO2削減に貢献できるようになります。
また、バッテリーに必要な鉱物不足、そしてクリーン電力を使う充電インフラが徐々にしか普及しないという状況においても、CO2削減が最も可能になるのです。



神奈川沖浪裏, 葛飾 北斎

巨大な波のように、気候変動は世界を覆い尽くす恐れがあります。日本は、他のどの国よりも、資源の制約の中で生き残る方法だけでなく、成功する方法を知っています。この写真に写っている漕ぎ手の勇気、技術、そして何より忍耐に、皆さんもぜひ触発されてください。そして、日本が最も得意とすることを世界に理解してもらうために、一緒に頑張っていきたいと思います。