

<b>Title</b>	エネルギー問題の源流：鯨と黒船
<b>Author(s)</b>	標, 宣男
<b>Citation</b>	キリスト教と諸学：論集, Volume28, 2013.3：7-35
<b>URL</b>	<a href="http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=4468">http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=4468</a>
<b>Rights</b>	



聖学院学術情報発信システム：SERVE

SEigakuin Repository for academic archiVE

# エネルギー問題の源流

—— 鯨と黒船 ——

標 宣 男

## 一 序 —— 鯨と黒船

昨年、二〇一一年三月十一日に起こった東日本大震災と原発事故は、放射線の害への不安と節電騒ぎを引き起こし、その影響は今年になっても続いています。現代の科学技術社会において、「エネルギーの使用」に伴い様々な問題が生じていますが、この原発事故もまたその一つです。そこで、この講演では、それらの問題の源流を技術史上に尋ね、かつ現在における我々の課題を考えようと思います。

地震といえば、私は江戸時代の錦絵「鯨絵」を思い起こします。日本には古くから地震は地下に住む大鯨によって起こされるものだという俗信があり、さらに、江戸時代江戸の人々の中には、それを押さえつけて地震を起こさないようにしているのが千葉県にある鹿島神社の大明神だという考えが流布していたのです。今年（二〇一二年）の八月、鎌倉の神奈川県立近代美術館で、「鯨絵とボードレール」なる展覧会があったので、「鯨絵」を目的に暑い

鹿島大神宮の御託宣に曰、  
 我此土のあらん限、山川草木  
 のひとくさ、蒼海のミギハの  
 いさごのかづかづ震ふるふ  
 といへども、少もその形を  
 害ふことあたはずと日す。  
 此御せんたくをとなへて朝暮  
 ねんじたまえば、あくじ、さい  
 なん・けんなん・火なん・地しん  
 なんをよけることも疑うべか  
 らず、又左にしるす所の御礼ハ  
 東西南北の柱にはりつけおけバ  
 家崩れ堅、破るることなしとかや



図1 鯨絵「地震御守」(埼玉県立歴史と民俗の博物館所蔵)

中出かけてきました。図1はその鯨絵の一つですが、詞書にもあるように、この絵は、その鹿島大明神が地震鯨を押さえつけているところ です。

しかし、その江戸で地震が起こったのです。一八五五年(安政二年)十月二日、午後十時ごろ安政江戸地震といわれる大地震が江戸の町を襲いました。震源は内陸直下型で、東京湾北部から江東区付近ともいわれ、震源の深さは三五〜七〇キロメートル、マグニチュードは推定七、震度六強、火災も発生し、倒壊消失家屋一万四〇〇戸以上、死者数七〇〇〇〜一〇〇〇〇人に上ったといわれます。江戸の人々は、地震が起こったのが十月、すなわち「神無月」であったため、鹿島大明神も出雲に行つてしまい留守をしたからであると考へたようです。

地震直後にこの「鯨絵」という瓦版(錦絵版画)が民衆の間で爆発的に広く流布しました。これは、現代で言うところの新聞の号外に相当するものです。奇怪な鯨をモチーフに大変ユニークな絵や言葉で地震という大事件を多様に描いているもので、地震発生の当日から売られ、五日後には三八〇種余り、十日後には四〇〇種類にも達しました。

ところで、鯨伝説が古くからあり地震もまた頻繁にあったはずなのに、何故この幕末のこの時だけ「鯨絵」が大流行したのでしょうか。当時江戸は、推定人口一五〇万人に膨れ上がり、社会的・経済的に行き詰まりを見せ、さらに幕末異国船が日本近海に出没し、特に、安政の大地震の二年前、嘉永六年（一八五三年）六月六日、ペリー提督の率いる四隻の軍艦（黒船）が浦賀沖へ来航しました。次の年安政一年一月に今度は七隻で江戸湾に再来航したことなどにより攘夷論が盛んになり、少し後には安政の大獄が起るなど、政情は非常に不安定で混乱した時代でした。そのような状況下の江戸を大地震が襲ったのですが、この不安定さが民衆の心の根底にあり、それが大量の瓦版噴出の背景にあったといえます。

この黒船の来航と、幕府の混乱に対し、早速狂歌が出ました。作者は不詳です。

「太平の眠りを覚ます上喜撰（じょうきせん） たった四はいで夜も寝られず」

上喜撰とは「高級なお茶」のことですが、このお茶をたった四杯飲んだだけで眠れなくなったと、四はい（船の数え方、隻）の黒船（蒸気船）の来航によって大騒ぎしている幕府を皮肉ったものです。この事件は、その後日本が一八六八年の明治維新へといたるきつかけとなった大事件でありました。

しかし、私に取り上げたいのは、この政治的な意味合いではありません。関心があるのは、ペリーが乗ってきた黒船、鋼鉄製の蒸気船です。写真と絵が残っています。ペリーの旗艦サスケハナ号の写真はアメリカ海軍のホームページで見ることができます。ここでは図2に、「瓦版「蒸気船之図」をお見せしましょう。これは、船の横についている車輪を蒸気機関の力で回転して走る、外輪船というタイプのもので、アメリカのフルトンが実用化に成功し



図2 瓦版「蒸気船之図」(1854)  
(川崎市市民ミュージアム所蔵)

るこの蒸気機関の果たした役割の大きさを考えたいと思うのですが、それを際立たせるために、少し寄り道して、蒸気機関が実用化される前のヨーロッパ中世における人々の生活を、エネルギー事情、とくに物を生産する場合に必要とされる力、すなわち動力という点から見てみることにします。

た(一八〇七年)ものです。  
ペリーはこの軍艦により文明の力を見せつけ、幕府に開港を迫ったのですが、石炭を燃料とした蒸気機関の力はその象徴的なものでした。この時、ペリーは幕府に蒸気機関車のミニチュアをも献上しています。また、その後起こった日本の文明開化の象徴もまた蒸気船であり、岡蒸気と呼ばれた蒸気機関車でした。

さて、私がこの蒸気機関に注目しているのは、この鋼鉄製の軍艦を駆動している蒸気機関こそ、近代のエネルギー多消費社会の開始を象徴し、また現在のエネルギー問題の源流であると考えているからです。この蒸気機関は我々が用いるエネルギーの質をそれまでと比べ決定的に変えてしまいました。以下では、

どのように変えたのか、技術史上およびエネルギー史上におけ

## 二 ヨーロッパ中世の生活とエネルギー

### (1) 食糧生産の動力——中世の民衆（農民）の労働

これからご覧に入れます絵は、『ベリー公のいとも豪華なる時祷書』という豪華本に描かれているものです。「時祷書」とはキリスト教徒が用いる聖務日課書で、祈祷文、讃美歌、暦などからなります。この「時祷書」はフランスのベリー公ジャン一世（一三四〇—一四一六年）がランブル兄弟に作らせたものです。羊皮紙に描かれた大変豪華なもので、現在シャンティエ城のコンデ美術館の図書館に所蔵されており、原則非公開で通常は精巧な複製品が展示されている、フランスの至宝とも言うべき美術品です。

ここで全部をお見せすることはできませんが、この中に、一月から十二月まで貴族や農民の生活を描いた絵があります。一、四、五、八、十二月は城に住む豪華な貴族の生活が表されています。そして他の月からは農民の暮らしが読み取れます。三、六、十月の農作業のほか、二月と十一月の絵には豚が飼われている様子が描かれております。豚は重要な食べ物でした。六月は牧草の刈り取り（そういえば二月の絵にはサイロらしき物もあります）、七月の羊毛の刈り取りと小麦の収穫、そして九月の葡萄の収穫、これらは村が自給自足の世界であったことを示しています。しかし、重要なのは、三月、十月そして二月の絵です。ここでは、この講演に関係したこれら三カ月の絵のみをお見せすることにします（図3）。

三月は春畑あるいは夏畑の準備、十月は冬畑の準備でしょう。八世紀ごろより中世の農業は、耕地を三分割し、第一の畑は土力回復のために休作地、第二は冬畑で冬穀（小麦、ライ麦）、第三は夏畑で夏穀または春穀（大麦、



3月 種まきの準備



10月 種まき



2月 庶民の冬の情景

図3 『ベリー公のいとも豪華な時祷書』より

カラス麦》を栽培し、三つの畑を、休作地↓冬畑↓夏畑と三年を周期に循環させる、三圃農業という方法を取ってきました。このため、中世ヨーロッパの食糧事情は好転したのですが、この影響は人間ばかりではなく家畜にまで及びました。とくに大食漢の馬が庶民の家畜としてその労働を助けるようになったのは、馬のくびきの発明とこの食糧増産のおかげといわれます。このためヨーロッパでは十二世紀以降、畜力（農業の動力）に関し牛（時祷書三月）に代わって馬が優位となったといわれ、十月の絵にはこの馬が農耕用に使われています。農業における馬の優位は十九世紀まで続きました。なお、十二世紀までは、馬は主として、経済的な余裕のある貴族などの乗り物でした。

さてお見せしなかった絵には、お城の他、森が描かれているのですが、元来ヨーロッパは森の大陸でした。気候の変動もあり、その上農地の開墾、あるいは放牧地用にとヨーロッパの森は切り開かれ徐々に少なくなつたのですが、なお、ヨーロッパの民は森の民だったので。また、冬の寒さの厳しいヨーロッパの人々にとって森から採れる木材（薪や炭）は煮焚き、暖房、あるいは鉄の精錬のための大切な熱源（熱エネルギー）でした。二月の絵に

は家の中で暖を取る農民とともに、森から薪を取る人とロバによりそれを運ぶ人もが描かれています。

## (2) ヨーロッパ中世の代表的な動力機関（水車、風車）

### ・水車の普及

人や家畜の筋力以外の食糧生産の動力として、中世では水車や風車が古代と比較して積極的に使われました。風車は、北から南へ普及拡大し、製粉、揚水用などに用いられたのですが、ここでは詳細は割愛し以下では水車のみを取り上げることにします。

ヨーロッパにおいて、はじめに水車を積極的に使ったのはキリスト教の修道院でした。とくに、ベネディクト会に属する修道会では、「祈りかつ働け」というモットーのもと、宗教的時間（祈りの時間）の確保と生産性の向上のために、労働の機械化を行い水車の活用を奨励しました。この会の一派であるシトー会に属するフランスのクレルヴォーの大修道院（十二世紀前半に創立）について次のような記述があり、水車を様々な用途に積極的に使っていた様子がわかります。

「川は水門の壁に差し支えない程度に修道院に流れ込んでくる。その川はまず、製粉工場へとほとばしり出る。そこでは川を大いに利用して、車輪の重さで穀粒を粉にし、次いでふすまと粉を分離する為に目の細かいふるいで振る。それから川は、次の建物へと流れ煮沸器を満たす。ここでは、修道士の飲料用のビールを調整する為に川の水を熱する。これは葡萄が豊作でもぶどう酒商の労働が報われない場合の為である。ところが川は未だ仕事を終わらない。川は製粉工場に続いて、今度は縮充工場の中に入っていく。川は製粉工場では修道士た



ちの食料を作り、今度は彼らの衣類造りに奉仕する。川はこれだけでへこたれないで、求められる仕事はどんなものでも拒否しない。こうして川は重いハンマーや木槌を、もっと正確には、毛織物に圧力を加えて整備する為の縮充機の本製の脚を、交互に上げ下げする。川は非常な速さで渦巻き、これらの車輪の全てを急速に回転させる時は、川は泡立ち、まるで川そのものが粉と砕けるように見える。

さて今度は川は皮なめし工場に入る。ここでは修道士の履き物に必要な材料を作る為に大きな考慮と苦心が払われる。さらに川は多くの小さな支流に分かれ、あわただし流れで様々な部門を通過しながら、料理、回転、破碎、給水、洗濯など、人々の欲するどんな目的にも適うように常に援助して拒否することは決してない。最後の川は心からの感謝を受け、し残した仕事が無いようにする為に、廃物を持ち去り、後をすっかり綺麗にしてしまう。」(平田、一五〇—一五二頁)

こうした設備はこの修道院に限りませんでした。イングランドでは、征服王ウィリアム一世の『ドームズデイ・ブック』(徴税のための検地帳、一〇八六年完成)によりますと、トレント川とセヴァーン川との南三〇〇地域に五六二四個の水車が記載されており、少なめに見積もって一台二・五馬力とすると、出力は合計一万四千馬力となり十万人の人間に相当した、といわれています。またフランスの水車の普及についての記録もあり、水車工場の増加は次のようであったといわれています。

ルーアン地方…十世紀 二個、二世紀 五個、十三世紀 一〇個、十四世紀、一三〇〇個  
オーヴ …十一世紀 一四個、十二世紀 六〇個、十三世紀 二〇〇個

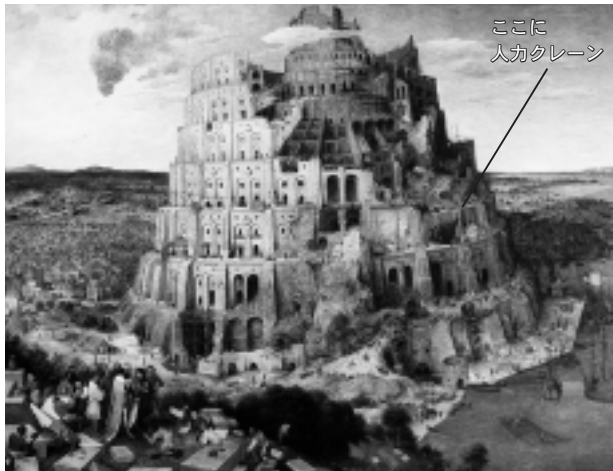


図4 バベルの塔（ブリューゲル、16世紀）

・中世における産業の機械化と水車（風車）の限界

中世の人々は、古代からの製粉、揚水の機械の他、製紙、製革、縮充、押圧、鋳物粉碎、刃物類の研磨、鋸、槌打ち、ふいご、等を目的とした機械類や、織機、農耕機械、運搬装置および工作機械などの単能機を発明し、あるいは改良を加えてきました。また、十世紀初め縮充水車にカム

装置（回転運動を直線運動に変える装置）が応用されたことなどもあり、これらの単能機を水車や風車などの動力装置へ結合したのです。このことは、単能機による生産性が古代とは比べ物にならないくらい大きくなったことを意味しています。様々な機械の考案と、水車などの動力への結合を指して、技術史上「中世の産業革命」と言います。

しかし、水車や風車は、場所や自然的な条件で左右されます。すなわち水車は流れが緩やかなヨーロッパでは上流に水をためるダムを造る必要がありましたし、風車は風が強いところでなければなりません。

そこで、これらの使えないところでは、家畜や人の筋力を用いました。中世の機械と人間、それが現れている有名な絵があります。それは私の大好きな、フランドルの画家ブリューゲルの「バベルの塔」の一枚です（図4）。

この絵には実に様々なものが書き込まれています。とくに塔を建設するのに中世に使われていたであろう機械類も描かれており、その一つに物を持ち上げるのに使うクレーンがあります。このクレーンは輪の中に人が入り、まるでハツカネズミのように輪を回転させその力で物を引き上げている人力クレーンなのです。

さて長々何を話してきたかといいますと、中世の社会において人々が、物を生産する動力は何かということです。確かに、中世の産業革命と言われるほど様々な機械の発達もあり、それを水力や風力を動力として動かすことも広まりました。しかし、先に述べましたように、それら使用は場所的・季節的な制約があります。さらに、修道院から世俗世間に広まった水車は、それを作る力を持った領主等のもので、それを使って製粉などするためには使用料を払わねばならず、必ずしも農民のものとはなりませんでした。

ここで中世の人口の九〇％が農村におり、労働人口の八〇％が食物生産の労働力に使われていたことを考えますと、中世世界全体の経済は農業に依存し、結局のところ、中世における最大の関心事は食糧の生産にあつたこととなります。そして、その生産に携わる動力が中世の主たる動力であり、それは人および家畜の筋力ということになるのです。

### (3) 中世：「有機経済」と「機械」

前記のように、中世の生産にかかわる主たる動力が家畜および人の筋力であるとしみますと、この動力を生み出す力の源（エネルギー）は、食物すなわち農業生産物ですが、それは土地（土地の広さ）に依存しているのです。また、たとえ、水力あるいは風力をエネルギー源に加えるにしても、それらも、やはり農業と同じく、土地と自然環境に依存したものということになりましょう。

私がある経済史家から紹介され、愛読している経済史の書物、E・A・リグリー著の『エネルギーと産業革命』には、このような経済を「有機経済」と言うところがありました（一六頁）。有機経済においては、農業以外の産業である、繊維・皮革・建設も成長を続けようとし、羊・皮・木材の増産が不可欠であったし、そのためには土地をどんどんこの目的に投入しなくてはならなかったのです。さらに、前にも述べましたように、中世において暖を取るにせよ煮炊きをするにせよ、あるいは鉄の精錬の過程にせよ、その熱源は木材であり、それが採れる場所は森でした。それゆえ、それはますます土地を奪いあうことになります。衣食住や燃料という基本的ニーズを満たすためにも、土地にはますます圧力をかけざるを得なかったのです。土地の面積には限界があり、かつそこに投入できるエネルギーに限界があり、そこから採ることのできる生産物の増加割合が徐々に小さくなるならば、結局有機経済には「限界」があることになり、もはやそれ以上の発展は望めません。経済史家はこれを、「限界生産力逓減の法則」というそうです。

ただし、中世は様々な機械の発明と、それらを水車・風車などの動力機関へ結合したことにより、近代の大量生産を準備するという役割を果たしたことになります。そして、この「限界」の突破には新しい異なる動力源が必要となるのですが、それがこの講演のテーマであります。蒸気機関です。

### 三 蒸気機関（動力装置）と産業革命

#### —— フロー（有機エネルギー）からストック（鉱物エネルギー）へ

皆さんの中にも夏休み中にロンドンオリピックをテレビで見ようと夜遅くまで起きていた方も多かろうと思います。その開会式でイギリスから始まった「産業革命」を現しているシーンがあったのを覚えておられるでしょう。

これはイギリスが、産業革命を自国の重要な歴史の一つとして考えているその証しであると思うのです。そのシンには、多分石炭を焚き工場の蒸気機関を動かすための、巨大な煙突が登場し、その周りを取り囲んだ人々は工場で働く労働者の扮装をしたミュージシャンでしょう。産業革命は、一七六〇年代のイギリスに始まり、一八三〇年代以降ヨーロッパに波及し、そしてその影響が幕末の日本に到達したのです。産業革命において、産業のエネルギー的基礎が一変し、小さな手工業的な作業場にならって機械設備による大工場が成立し、多数の労働者が発生し、これとともに社会構造が根本的に変化していったのです。その要となったのが蒸気機関の実用化というわけです。なお、蒸気に物を動かす力のあることは、古代ローマ時代より知られておりました。

蒸気機関の利用は、前述の中世的生活のあり方を一変させ、現代の科学技術時代へとつながるそのきっかけとなるものです。私はここで、中世から蒸気機関の実用化までの状況を、長々と述べようとは思いません。ただ、先ほども言及しました『エネルギーと産業革命』の力を借りて、まずイギリスの十六世紀から蒸気機関の時代までのイギリス経済の変化を簡単に述べてみようと思います。

(1) 産業革命への準備

先ほど、私はヨーロッパ中世の農業は土地の生産性に制約されていると申しました。有機経済はすべて、地球に日射の形で届いた太陽エネルギーの一部を捕らえなくては生きていけないのです。まず太陽光線が届くと光合成によって植物に変わり、そしてその後、食物連鎖を通じて種々の有機物になっていく、この過程のどこかでエネルギーを捕らえるのです。有機経済で大切なことは、この太陽からのエネルギーのフロー（流れ）をいかに効率的に捕らえるかということです。

この有機経済の中にあっても、（薄く広く広がっている）フローエネルギーをより効果的に捕らえることができるかどうかで経済に差が生じます。イギリスは大陸諸国に比しこの点が相対的に優れていたことも産業革命という世界史の変動を起こした一つの理由になっていることです。経済史家はそれを牧草地の広さとそれに伴う家畜の多さ、肥料として多量の家畜の糞の使用（土地へのエネルギーの投入になる）が生産物・食糧の増加を引き起こし、それが農耕用の家畜、とくに馬（一匹の馬は五・一七・六人に相当）を飼う余裕となり、それがまた食糧の増産へとつながり、ひいては人口の増加の原因となり、都市労働者の供給へとつながったといえます。これを、高度有機経済の時代と言います。

さらに、イギリスには特別な条件が存在したといわれます。それは、石炭が地表に露出して容易く掘れるところがあったことです。とくにそれが航行可能な河川に近い場合には、大きな経済的機会が存在しました。十七、十八世紀を通じてイギリスでは世界に例を見ない規模で石炭を掘ることができました。（一七〇〇年でもブリテンの石炭生産は二五〇万トンから三〇〇万トンでしたが、これはイギリスを除く全世界の石炭産出量の五倍くらいであったと推定されています。さらに、一八〇〇年には、ヨーロッパ大陸全体でもせいぜい三〇〇万トン程度だった時、イギリスの石

炭生産年間一五〇〇万トンに達していました。）石炭を燃せば、同じ重量の木の二倍くらいの熱が得られます。家庭における調理・暖房だけではなく、ガラス製造、ビールの醸造、染物、製塩、レンガ造り、ジンの蒸留、パン焼き、洗濯など、ほとんど何を作るにも熱が必要であつたのです。これらに使用された石炭の量は、数千万アールという広さの森に匹敵するだろうといわれています。石炭消費の伸びがなかったならば、薪炭林などに使うために、耕地にも牧畜にも使えないという土地がずっと多くなり、土地に対する圧力がぐっと高まつたであろうといわれています。

イギリス経済が、近世において土地圧力で衰弱してしまわずに拡大できたのは、部分的にせよ（地表の）有機エネルギーフローから（地下の）石炭という無機（鉱物）のエネルギーストックへと移行していったためだといわれます。しかし、石炭の使用は、中世においても大気汚染公害をすでにイギリスでは起こしていました。（十三世紀英王妃エリーナはノッティンガムの大気汚染を告発している。）

## （２）産業革命——実用的蒸気機関の発明

・石炭を掘るためのエネルギー源としての石炭

石炭を、単なる熱源として利用するだけならば、イギリスの産業の变革は革命の名に値しなかったかもしれせん。イギリスが産業の「革命」に相応しい変化を遂げたのは、石炭から機械を動かす力、すなわち動力を得る技術を手にしたからです。それが蒸気機関です。しかし、実はこの技術は、石炭そのものを掘る現場の必要性から生まれたものです。当初、石炭は地表に近いところにありましたが、次第に掘りつくし、地中深く坑道を掘り進めなければならなくなりました。当然水が出ます。そこでその水をくみ上げる必要が生じたわけです。当初、馬を使つて

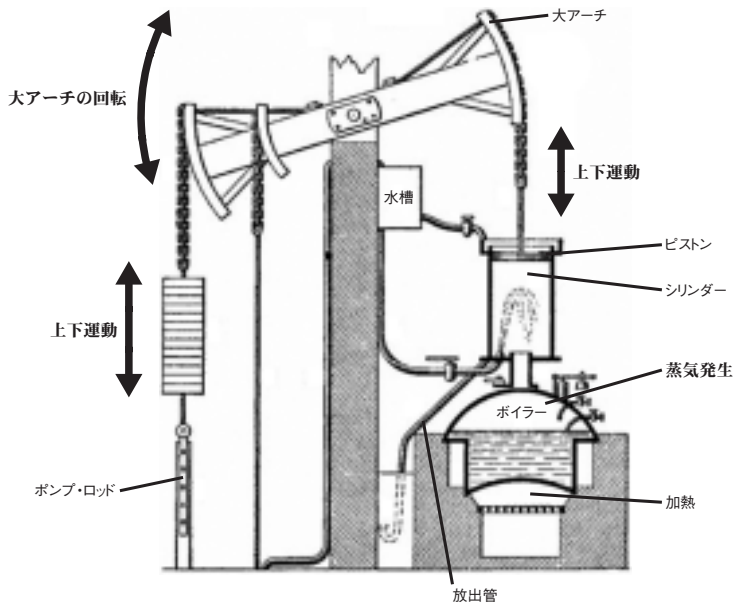


図5 ニューコメンの蒸気機関（大気圧機関：1712年）  
（Meyers Konversationslexikon 1890より、一部改変）

いたのですが、徐々に蒸気機関に変わっていき  
ました。

#### ・実用的な蒸気機関の発明

蒸気力が物を動かすことができるということが原理的には古くから知られているにせよ、それを実用的な動力として用いようという努力をした人が十七世紀イギリスにはいたのです。

そして、それをまず実用化した（一七一二）のはトーマス・ニューコメン（一六六四―一七二九）でした（図5）。

ニューコメンの蒸気機関では、ボイラーで発生させた蒸気をシリンダーに溜め、その圧力によりピストンを押し上げ、大アーチを回転させ、反対側の大アーチについているポンプ・ロッドを炭坑の底に下げ、排水を積むと、今度はシリンダー下部の大気放出管から蒸気を外界に放出させます。それによって、シリンダー中の空気も蒸気とともに逃げ出し、さらに、シリンダー



ーを冷却することにより蒸気を凝縮させシリンダー内を大気圧以下に下げ、外気の圧力（大気圧）との差によりピストンは下方に吸い込まれることにより、ポンプロッドを引き上げるものでした。ニューコメンの機関の蒸気は常に大気圧（付近）にあつたところから、大気圧機関と呼ばれています。この機関は、蒸気凝縮時に、シリンダーの温度も下げてしまい、そのため再度昇圧するのに時間がかかるという欠点を持っていました。この点の改良をなし、また、蒸気の力はピストンを押し上げるときのみ使われていましたが、それを押し下げるときにも用いるように改良したのが、ジェームス・ワット（一七三六—一八一九年）です。ここでは、これ以上技術的なことに立ち入りません。ただワットのこの改良の後も、様々な進歩があり蒸気機関は普及していくのですが、例えば、上下のピストン運動を回転運動に変換する装置の取り付けや、高温高圧の蒸気の利用などです。

いずれにせよ鉱物資源が動力エネルギーとして実用化されたことは、フローからストックへという我々のエネルギー環境が大きく変わるその第一歩、それも大きな一歩であつたと思います。

### （３）蒸気機関の普及拡大

#### ・コークスの発明

産業革命は、鉄の使用の増大をも伴いました。ところで、伝統的には鉄の精錬には木炭が使われてきたのです。それは、鉄を木炭とともに加熱することにより、その中にある酸素を $\text{CO}_2$ にして、取り除くためでした。なぜ石炭を使わなかったかといえますと、石炭の中に硫黄分が含まれているためでした。しかし十八世紀半ば、石炭から硫黄成分などの不純物を取り除いたコークスが発明されるようになると、コークスを用いた鉄の精錬が行われるようになります。そのため石炭の需要はますます多くなり、蒸気機関の必要性もまた増していったのです。

・蒸気機関の普及と発達

蒸気機関の普及は、様々な機械力を様々な生産工程に大きく利用することができるようになりました。先の、リグリーの『エネルギーと産業革命』より、その影響の大きさを見てみましょう。

「フランスの経済学者で人口学者のエミール・ルヴァスールが、一八八〇年代にこの変化を活写している。フランスで四〇年間にわたって蒸気利用が激増したのをさして、ルヴァスールはいう——もし蒸気一馬力を入力二人分だとするならば、一八四〇年のフランスの産業・商業は一〇〇万人強の労働者をこの新しい形態で得たことになる……これは想像できうるかぎり、もつとも真面目でおとなしい、そして疲れを知らない、真の奴隷である……一八八五—八七年にはその数は九八〇〇万にまでふくれあがり、フランス人一人に奴隷二・五人という勘定であった。……奴隷主としてはフランス人よりイギリス人のほうがはるかに規模が大きかった。」（一一五—一一六頁）

産業界は巨大なエネルギーを得たことがこれでおわかりになると思います。これまでに蒸気機関の具体的な使用例としてお話ししたのは、揚水機でしたが、その後の発達とともに、様々な所に使われました。例えば、道路を走る蒸気自動車です。そして、蒸気船およびそれと並んで代表的な蒸気機関の応用である蒸気機関車です。

前者の蒸気自動車のほうは、姿を消してしまいました。それは、ガソリンを燃料とするもつと小型な内燃機関の発達のおかげでしょう。しかし、蒸気機関車は、現在でも生き残っております。図6のロバート・ステイブンスンのロケット号は、世界最初の旅客鉄道であります、「リバプールアンドマンチエスター鉄道」に採用されたもので、

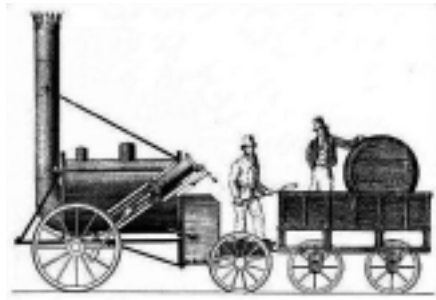


図6 スティーブンソンのロケット号

出典：Mechanics magazine, 1829.

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Stephenson%27s\\_Rocket\\_drawing.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Stephenson%27s_Rocket_drawing.jpg))

一八二九年のコンテストで優勝し採用されました。

この鉄道の速度と力は当時としては、驚くべきものであったようです。コンテスト時の速度は、一二・七五トンの貨車を引いて最高時速約四〇キロメートル程度といわれますが、当時の運搬手段であった馬車の速度は自転車なみといわれているところからみますと、これだけの荷物を積んだ乗り物の速度としたら、人々を十分驚かせるものがあつたのではないでしょうか。それから十五年後、英国の画家ウイリアム・ターナーが描いた、何か石炭のようなものを積んだ貨車を引いた蒸気機関車が、雨の中を轟進する「雨・蒸気・スピード」という有名な絵があります。彼は雨の中、スケッチしたというエピソードがありますが、臨場感溢れる爽快な絵です。

そのターナーの蒸気機関車の絵に非常な影響を受けたのが、フランス印象派のモネであるといわれます。こういうますと、印象派絵画の好きな人は、ああ、あれかと思ひ当たるであろうと思いますが、「サン・ラザール駅」という絵です。彼は何枚も同じテーマで描いているのですが、そのうちの一枚が図7です。

私はこの絵を見ますと、この蒸気か煙かわかりませんが、多分高温の気体を吐き出し、その機関車自体も熱く熱しているであろうことを思ひ、多量の熱を周囲に放出する蒸気機関車というものは何と多くのエネルギーを無駄にする乗り物であろう、思うのです。



図7 サン・ラザール駅・汽車の到着  
(クロード・モネ、1877)

(4) 現代エネルギー問題の源流——エネルギー大量消費の源と安全問題の発生

・エネルギーの大量消費の源流

ようやく今日の本題に近づきました。先に紹介しましたリグリーの『エネルギーと産業革命』の中に次のような表現があります。

「働き者の機械の奴隷は、大食漢であつた。石炭を食べたのだ。どの程度ご主人様を骨の折れる仕事から解放してあげられるかは、石炭がどれだけとれるかにかかつていた。」(一七頁)

蒸気機関が大食漢であるとは、何を意味しているのでしょうか。それは、動力としてエネルギーを得るためには、多くの石炭を無駄に燃焼しなければならないということです。言い替えますと、食糧である石炭を食べて得られるエネルギーの内のどのくらいの割合を、動力として用いられるか、この割合を、(熱) 効率といいますが、この効率が小さいということです。サン・ラザール駅に着いた汽車の車体を熱く熱しているのも、もうもうと吐き出された高温の蒸気に含まれている熱もすべて石炭の燃焼により得られ

たもので、ただ棄てられていくエネルギーなのです。それではどのくらいのエネルギーが動力として汽車を動かすのに使われたのでしょうか。

先に述べたニューコメンやワットの蒸気機関の場合でいいますと、実はニューコメン機関の効率は〇・五〜一％なのです。それより改良されたワットの場合で、二〜四％といわれています。すなわち、いづれにせよ、九六〜五九六％のエネルギーが無駄に棄てられていたのです。しかし、ワットの改良の意味もまた、大きいのがおわかりでしょう。ニューコメンの初期の蒸気機関からワットの後期のそれに変えることにより、同じ動力を得るのに必要な石炭の量が、八分の一以下になるのです。熱効率の向上は経済的には大きな意味を持っていたのです。

石炭が多く産出するところでは効率は比較的問題にならないかもしれません。しかし、そうでないところでは大きな問題となります。蒸気機関の効率の研究がイギリスよりフランスで盛んになり、近代科学のうち熱力学と呼ばれる分野の第一歩がフランスであったのはこのことが関係しているのです。

その結果得られたのが、蒸気機関の熱効率（ $\eta$ ）についての次の式です。

$$\eta < [1 - (T_L/T_H)] = \eta_{\max} \quad (T_L, T_H \text{は絶対温度})$$

$T_H$ は発生した最大温度、 $T_L$ は放出される時の蒸気の温度です。この式の意味するところは、熱は高温から低温へ流れ、その途中で一部が動力に変えられるのですが、発生した熱量をすべて動力に使うことは理論的に不可能ということです。しかし、 $(T_L/T_H)$ の値が小さければ問題ありませんが、実際はどの程度でしょうか。例えば一〇〇℃の蒸気を作りこれによって得られる動力エネルギーの量を計算しましょう。この場合の放出蒸気温度を環境

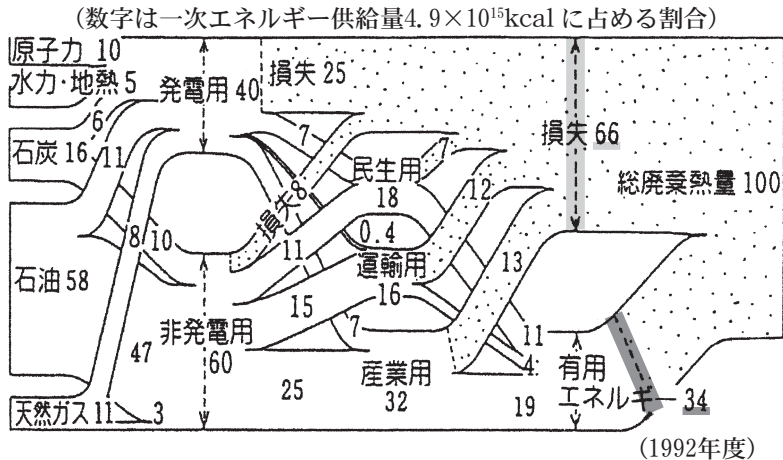


図8 日本の「エネルギーフロー」

(数字はエネルギー資源が当初持っていた量に対する割合%)

の温度として  $20^{\circ}\text{C}$  としましょう。これら  $T_H$  および  $T_L$  を絶対温度で表すとそれぞれ三十三度、と二十九度となり、 $\eta_{\text{max}} \approx 11\%$  となります。すなわち、八〇%のエネルギーは動力として使われず無駄に破棄されているのです。熱から動力を得るほとんどの機械の効率が、五〇%を超えないのはこの科学的な真実によるのです。蒸気機関車は現代でも、一〇%程度でしょう。図8は日本の「エネルギーフロー」を表しているのですが、総廃棄熱量の何と六六%が単なる損失として環境に棄てられているのです。この図の水力を除いたエネルギー源（一次エネルギー）のすべてがストックされたエネルギー源であり、その動力としての利用に際し熱の形をまずとるものです。先進工業国の状況はほぼ同じでしょう。

熱機関は大食漢なのです。私達は必要な動力得るためには、その動力より多いエネルギー消費を余儀なくさせられているのです。エネルギー大量消費は、熱機関の持つ宿命なのです。それを明らかにした科学である、熱力学は産業革命の落とし子といえないでしょうか。そして、現在我々は、資源枯渇の心配などせず石炭を用いていた産業革命時代からずいぶん遠

くへ来てしまいました。

#### ・安全問題の発生

さて、蒸気機関の改良が進んだことにより、ニューコメンやワットの時代と異なり、高温高圧の蒸気を用いることが可能になったのですが、しかしそれと同時に、蒸気機関の爆発事故が頻発するようになりました。

例えば イギリス 一八六二年～一八七九年 一〇〇〇〇件爆発事故

アメリカ 一八八〇年～一九二九年 一四二八一件爆発事故

しかし、何故高温高圧を求めるのでしょうか。それは、前の式で、発生蒸気温度、 $T_H$ を高くすると、効率 $\eta$ が大きくなり経済性がよくなるからです。先に示しましたように、 $100^{\circ}\text{C}$ の蒸気を作り蒸気の放出温度が $20^{\circ}\text{C}$ とした場合の効率は $0.21$ であったのに対し、 $300^{\circ}\text{C}$ の蒸気の場合では $0.51$ と $2.5$ 倍になるのです。しかし、蒸気機関を作っている材質が高温（必然的に高圧）に耐えなければ安全性が失われ、事故が起こるのです。事故が起こると、起こらなくなるように材質の強度をます。そうすると、その強度ぎりぎりの温度を用いようとし、再度事故を起こす。これを繰り返し最終には発生エネルギーの大きさ故の重大事故を起こす、というわけです。こういう意味で、先の式は、科学技術の世界における、安全性と経済性の相克という現代的問題をも表しているといえます。

#### (5) 産業革命（あるいは鉱物エネルギー利用）がもたらしたもの

実は、科学技術の畑で過ごししてきた私としては、前式とその意味を話せたことで、今回の講演の目的をほぼ達成しました。しかし、まとめにいたる前に、我々のエネルギー消費に関連し、私たちが自覚しておいたほうが良

いと思うことをお話ししたいと思います。

産業革命の社会的影響については、資本主義経済の問題点など様々研究されており、専門外の私が言うことはありません。ただ、古い技術から新しい技術への過渡期には、前者に属した者の悲劇も生じたともいいます。アルフォンソ・ドーデーの「風車小屋だより」の中で語られている、粉引きのコルニユ爺さんの話も牧歌的ですが、風車から蒸気機関へと変わっていく時代を表しているのでしょうか。

さてこれまで何度も、リグリーの『エネルギーと産業革命』の内容を借りて話をしてきました。ここでもそうしようと思います。この本に産業革命のそして鉱物エネルギー経済の結果について、次のような記述があります。

「いまや世界は史上はじめて、大きく伸びた生産力を活用してその果实を適切に分配すれば貧困という災いもなくせるのではないかといつても、それがユートピア的な提案というわけではなく、現実の問題となつたのであった。」(一四〇頁)

このことを前提に、産業革命の成功とは、何によつて計られるかといいますと、リグリーは実質所得の上昇だということです。事実、十九世紀初めからイギリスの実質所得の増加を彼は示しています(図9)。重要なのは、これが鉱物エネルギーの使用によりもたらされたということです。日本の場合はどうでしょうか。図10は日本における一人当たりの実質所得の推移を示したものです。

先にリグリーは産業革命の成功を「実質所得の上昇だ」と言っていると申しました。そうしますと、図10から、現在こそ日本における「産業革命」が成功した時代だといえるのかもしれませんが、ついでにいいますと、現在の日



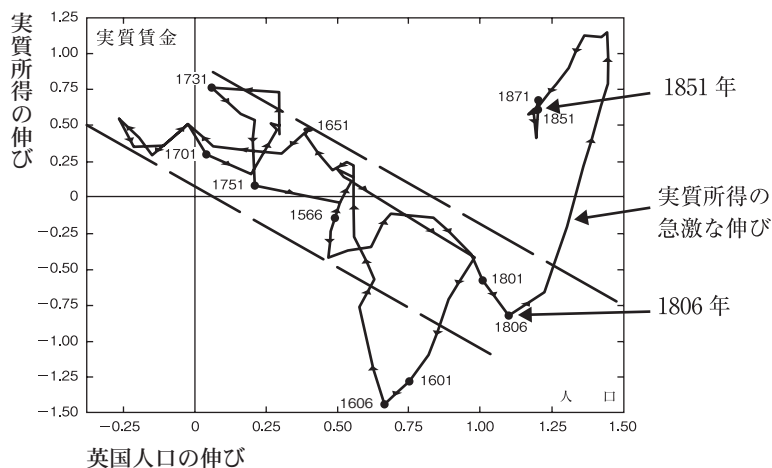


図9 19世紀英国における実質所得の増加  
(E.A.リグリー『エネルギーと産業革命』図2-2を改変)

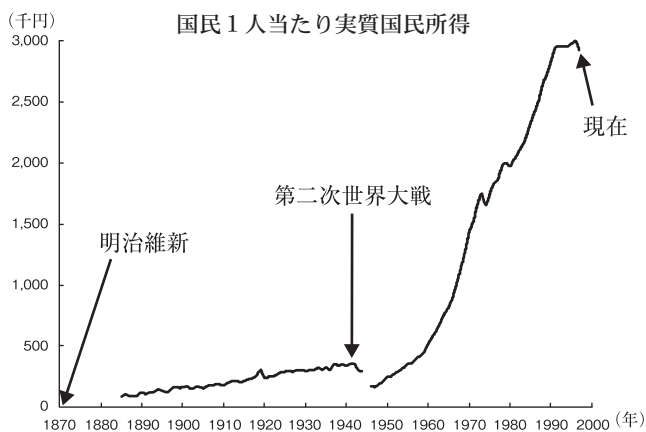


図10 日本における実質所得の推移  
(日本リサーチ総合研究所「20世紀における日本人の生活様式の変化」  
日本リサーチ総合研究所ホームページより)

本は江戸時代の三倍の人口を抱え二倍の長寿を享受し、江戸時代とは比べ物にならない生活水準をも達成しました。これは、江戸時代の土地依存した有機経済（自然エネルギーの経済）から離れ、鉱物エネルギーの経済へと移ってきた、その成果なのです。

しかし、日本はエネルギー資源を一〇〇％近くを輸入し、工業製品の原料である鉄鉱石、銅、アルミニウム、ニッケルといった鉱物資源も、その大半を海外に依存しています。食糧もカロリーベースでいえば、六〇％を輸入に頼っています。日本の経済が鉱物資源エネルギー経済であったとしても、それは自国の資源ではなく他国のそれに依存しているのです。

#### 四 終わりに——まとめと再び〈鯨と黒船〉へ

これまでお話ししてきたことから、蒸気機関（熱機関）はどのような意味で現代のエネルギー問題の源流であるかわかっていただけだと思いますが、再度次のようにまとめてみます。

- ・ エネルギー多量消費の原因の一つは、熱機関の科学的性質の中にある（熱効率の科学的限界の存在）
- ・ 熱機関の使用は、経済性と安全性の相克を必然的に胚胎している
- ・ 鉱物資源エネルギーの使用（フローからストックへあるいは、有機から鉱物へ）は次のような問題を発生させる。

—— 鉱物燃焼による公害問題を発生

—— 物資源の有限性の問題への直面

これらの問題が、あの黒船によって日本にもたらされた科学技術文明が必然的に持っている負の部分なのです。しかし、これを対価として現在の我々は、江戸時代とは比べものにならない豊かさや生活の快適を手に入れたのです。そこに、東日本大震災と原発事故が襲いました。私は最後にこの意味を考えてみたいと思っています。

## 再び〈鯨と黒船〉

最初に鯨絵（図1）をお見せしましたが、あの絵は、鹿島大明神が鯨を押えつけると同時に厄災である地震を起こしたことを、叱っているところです。そして、そもそも鯨絵とはそういうもののように思えます。しかし、話はそれほど単純ではないようです。例えば、「大鯨江戸の賑い」という題の鯨絵があります（図11）。この絵では鯨に見立てた大鯨が、潮を吹いているのですが、その潮は小判などのお宝なのです。すなわち鯨（地震）が福の神になっており、それを人々が手招きしているのです。それはその絵の詞書に表されています。



図11 「大鯨江戸の賑い」  
（神奈川県立近代美術館所蔵）

「鯨八七里を潤ハし、鯨は四里四方を動かし、諸職の腕を振回させ、自在に儲けさせるうへ、銭車のめくりもよくして、富貴草の花をちらし、生芝の芽出しを茂らせ、貧福を交えて正斧を下すとかや 大国の土動かして市中へ宝の山をつむそめでたき」

地震直後の図1のような絵が、時間がたつとこの絵のように

変わったのです。

この不思議を解く鍵は、当時の江戸の住人の生活にあるといえます。江戸には「其の日暮しの者」といわれる貧しい者が武士を除く人口の半分以上おり、さらに風邪で二、三日も仕事を休めばすぐに生活に困窮する者も多くいたのです。この鯨絵の変化は、江戸庶民の貧しさを表しているといえましょう。ですから、地震があっても命さえ助ければ、何にも失う物が無い人々も非常にたくさんおり、そのような人々にとって震災はたとえ短い間でも幕府や裕福な商人からの「お救い米」などの救済によって一息つける、つかの間の「ユートピア」であり、また復興のために、大工などの職人をはじめ様々な仕事にありつける機会ともなったのです。言わば、地震を富の偏在を是正する時と考え、さらに世直しの予兆と期待したのだといえます。鯨絵の持つあからさまな地震讃美の背景には、江戸庶民の貧困があつたのです。

ところで、実はこの鯨絵は鯨ではなく江戸湾に侵入した黒船（外夷）だという説があります。この鯨（鯨）が噴き上げる潮は、蒸気船の煙突の煙だといえます。その黒船を庶民が手招きしている。地震の二年前の黒船の来航と前年の日米和親条約の締結などの出来事に、庶民は時代の変化への予感（世直しへの期待）持ったといえます。ある歴史家は、「嘉永・安政」の江戸庶民にとって「外夷は禍か福かと問えば福だ」とさえ言います。としますと、彼らにとって、この鯨は、地震と同様黒船（外夷）も、ともに江戸の庶民の貧しさを表すと同時に、行き詰まった時代の変化を予感させるもの、あるいは変化の兆と思われていたことを、示していると思うのです。爆発的に出回った鯨絵を徳川幕府が一カ月ほどで出版禁止にし、その後版木を没収してしまったのは、このような庶民の不穏な空気のためだったといえます。

今回の「東日本大震災と原発事故」は、現代の「大鯨と黒船」であり、それらが一緒にやって来たといえないで

しょうか。たしかに、江戸時代の庶民と違い、これらは我々に対しまったくの厄災としてやってきました。しかし、今回の鯨も黒船も（エネルギー事情に表れた）日本の本来的貧しさや、原子力発電所を誘致せざるを得なかった過疎地域の持つている社会的問題など、現代日本社会の行き詰まりをも露呈した点では「嘉永・安政」の場合と同じであるように思われます。とくに、原発事故後のエネルギー政策の混乱と不安定さは、ほとんどすべてエネルギー資源を輸入に頼らざるを得ず、また「自然エネルギー」は日本経済を支えるほどには頼りにはならないという、我々の経済基盤の本来的な不安定さを、あらためて浮き彫りにし、将来への不安の影を我々の心に落としています。さて、さらに現在と「嘉永・安政」とに同じ点があるとするならば、行き詰まった社会に起こった大震災後の不安定さの中で、今回の〈鯨と黒船〉も（我々が決して望まないが、結果として）何かが変わるあるいは変えざるを得ないという予感を我々にもたらし、大震災と原発事故をその予兆のように思わしめたことではないでしょうか。昨年（二〇一一年）、民主党の枝野経済産業大臣が来校しお話ししてくださった時、大震災と原発事故後の日本に対し、「もはや以前には戻れない」、と言われたことを思い出します。我々は、変わらざるを得ないということでしょう。そして、この「戻れないこと」を肯定するならば、これまでとは違った経済大国を目指すのか、あるいはまったく別の生き方を選択するのか決めなければならないと思います。すなわち、今回の〈鯨と黒船〉を社会変化のきっかけとすることができるのか、ここに我々の課題があります。

しかし、現在の我々がどのような生き方を目指すにせよ、科学技術に依存した生活から逃れられないとするならば、『エネルギーと産業革命』の中で、E・A・リグリーが、もう二十年前に述べた次の言葉は、耳を傾けるに値すると思うのです。この言葉をもって、この講演を終わろうと思います。

「人間の愚かさが破滅を意味しかねない。怖くなるほどの成長の弾みを身につけたが、安定なんてそのかけらもないということにもなりうる。こうしたものが産業革命の遺産なのである。」（一九頁）

### 参考文献

- 北原系子『地震の社会史』講談社（二〇〇〇年）  
宮田登、高田衛ほか『鯨絵——震災と日本文化』里文出版（一九九五年）  
平田寛『失われた動力文化』岩波書店（一九七六年）  
J・ギャンペル、坂本賢三訳『中世の産業革命』岩波書店（一九七八年）  
E・A・リグリー、近藤正臣訳『エネルギーと産業革命』同文館出版（一九九一年）  
H・W・ディキンソン、磯田浩訳『蒸気動力の歴史』平凡社（一九九四年）  
斉藤晃『蒸気機関車の攻防』NTT出版（一九九六年）

（二〇一二年十月十七日、「聖学院大学創立記念講演会」講演より）