HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	人類と地下との関わり ： これまで、そして、これから
Author(s)	藤井, 義明
Description	日本のエネルギーは大丈夫か？私たちのエネルギーを考える その2 ： 原子力エネルギーそして、高レベル放射性廃棄物処分問題について、平成26年7月13日、かでる2・7、札幌市
Citation	日本のエネルギーは大丈夫か？私たちのエネルギーを考える　その 2 ： 原子力エネルギーそして、高レベル放射性廃棄物処分問題について, 2014
Issue Date	2014-07-13
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56580
Type	lecture
File Information	FTS 2014.7.13.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

藤井義明(2014)、人類と地下との関わり～これまで、そして、これから～、日本のエネルギーは大丈夫か？私たちのエネルギーを考える その 2～原子力エネルギーそして、高レベル放射性廃棄物処分問題について～（主催：NPO 法人フロンティアテクノセンター、2014, 7/13、かでる 2・7）、オーサーバージョン

人類と地下との関わり～これまで、そして、これから～

北大　藤井義明

1. はじめに

人類によるこれまでの地下や岩盤、地下資源の利用と、これからについて、少し脱線しながらご紹介します。

2. これまで

2.1 隠れる

人類は石器時代から洞窟を住まいとして利用し、猛獣などから身を守ってきました。このような、地下の隔離性を生かしたのが、防空壕や核シェルター、また、キリスト教徒への迫害から逃れるためなどで 30,000 人が住める広さがあったデリンクユ（トルコ）に代表されるような地下都市です（アラン・ワイズマン、2008）。地下の温度はほぼ一定になり、地下街では、暑さ寒さ・大雪などの悪天候に左右されずショッピングを楽しむことができますが、これも「隠れる」の一種と考えられます。札幌だけではなく、アンカラ（トルコ）、モスクワ、モントリオールなどが有名です（アラン・ワイズマン、2008）。

2.2 貯める

地下では地震時に揺れが少ないのですが、これは、まず、地下の岩盤は土よりもしっかりとしていて液状化などもないためです。次に、同じ岩盤でも地表より地下の方が揺れません。これは、地表は下からしか支えられていないけれども、地下は上下から支えられていると考えれば直感的に理解できます。ごく大雑把にいって、地下は地表の 2 倍揺れづらいのです。さらに、地表に立っている高い建物の場合は共振現象が生じて、特定の周波数の揺れで大きく揺れることがあります。また、地震の波には P 波・S 波・レイリー波・ラブ波の 4 種類あります。P 波は最初に届く波で、カタカタカタっと揺れる波です。新幹線やエレベーターにはこれを感じると停止する装置が取り付けられています。P 波が届いてしばらくすると S 波が届きます。こちらの方が揺れは数倍大きくなります。この後すぐに地表ではレイリー波とラブ波（表面波）が届きます。こちらは揺れがさらに大きくなり、ぐらんぐらん揺れるのはこの波です。しかし、この表面波は、名前の通り、地下深部には届きません。

温度がほぼ一定で揺れにくいので、地下はものを貯めるのに適しています。ワインの貯蔵庫に使われたり、日本酒を熟成させるのに使われたりします。遺伝子組み換えの最大手モンサント社はスヴァールバル世界種子貯蔵庫をスピッツベルゲン島（ノルウェー）に建設して地下 120 m の永久凍土中に 50 万種の種

子を保存しています（朝倉、2011）。永久凍土中ですから冷却装置が故障しても凍結状態が保たれ、地下120 m ですから核爆弾が落ちても大丈夫で、要するに、人類が絶滅しても種子は残ります。

岩盤をくりぬいて地上には作ることのできない巨大なタンクを作り、原油や LPG（液化石油ガス）の備蓄に使ったりします。岩盤には亀裂がありますが、上部から水を注入し内容物の漏れを防いでいます。

2.3 ワープ！

隠れる・貯める以外の地下の利用法として、トンネルがあります。トンネルが作られたのは紀元前2000年ころバビロンでユーフラテス川を横断するためのものが最初とされていて、古代ローマや古代ギリシアでも多数のトンネルが作られ、今でも使われているものもあるようです。わが国では、山岳信仰のため山に穴をあけることができず峠が発達し、諸外国のような古いトンネルはないようですが、手掘りの古いトンネルとしては禅海和尚がノミと槌だけで30年かけて掘ったといわれる青の洞門（大分県、1763年開通）が知られています。なお、この洞門では通行料が徴収され、日本最古の有料道路であったともいわれています。

世界最長の道路トンネルはノルウェーの Lærdal トンネル（全長 24.5 km）です。世界最長の鉄道トンネルは青函トンネル（全長 53.9 km）ですが、スイスのゴッタルドベーストンネル（全長 57.1 km、2018 年開通予定）に抜かれる予定です。建設中の北海道新幹線では全長の 8 割がトンネルとなります。

山岳トンネル（トンネルのうち山岳部に建設されるもの）の欠点として、建設費用がかかること、ときに有害物を含むずりが生じて処分に難渋すること、通行中の景観が失われること、などがありますが、経路が直線的、かつ、上り下りが少なくなるために移動時間や移動に要するエネルギーが短縮でき、特に大型車の通行がスムーズになります。また、除雪や雪崩・落石・岩盤崩壊等の対策が不要になる、悪天候時でも視界が確保される、などの利点があります。

都市部でもアンダーパスや地下鉄等、多数のトンネルが建設・利用されています。大雨・洪水・火災等への対策は必要ですが、都市部では、地下空間を利用することによって、地表に建設するスペースがない、あるいは、景観上・交通上・都市計画上・費用上、地表に建設できない施設を建設できるようになります。

2.4 取り出す

石器時代というくらいですから当然ですが、人類は石器時代から狩猟や調理等に石器を利用していました。その後、青銅器時代、鉄器時代を経て現在へと至りますが、現在でもほとんどの鉱物は地下から掘り出され、完全リサイクルすれば鉱物は掘らなくてもよいという段階には程遠い状況です。

人類は古来からマキをエネルギー源や建材としており、古代ローマやイースター島等の古代文明は、外部から滅ぼされた以外は全て木材の枯渇により滅びています（ジャレド・ダイヤモンド、2005）。木材の利用というのは要するに光合成、つまり、太陽エネルギーを利用するということですから、太陽エネルギーだ

けを利用すると人類は滅びることが歴史的に実証されているわけです。それはともかく、その後人類は石炭の採掘を始め、木材、つまり、太陽エネルギーの制限から解き放たれ、人口を増やせるようになりました。我が国の森林も江戸時代から 100 年ほど前まで荒廃し、禿山（禿赭地、とくしゃち、瘠悪林地、せきあくりんち）だらけで、大雨が降ると明治 22 年の十津川大水害（新十津川村への移住を招いた災害です）に代表されるような災害が頻発しましたが、化石燃料を使うことによって、植林が行われ、禿山はなくなり、今に至ります。その後遺症で、さっぱり使われない杉が花粉を大量に飛び散らせて花粉症を招いているのはまた別の話です。さらに石炭を蒸気機関で使用することによって、人類は持ち運べる動力源を得たので奴隷が不要になり解放されました。現在では石炭といえば発電を思い浮かべると思いますが、鉄を 1 トン作るのに 800 kg もの原料炭という高価な石炭が使われています。その他、意外なところでは香料や肥料を作るのにも使われます。

エネルギー源としてはこの他に使いやすさの点から液体燃料が欲しいわけですが、古来から欧米では捕鯨を行い、クジラから油を絞って使っていました（残りは海へ廃棄していました）。ペリー提督が日本を無理やり開国させたのも、アメリカが捕鯨の中継基地を欲しがったからです。とにかく、石油の発見によって鯨油は不要になりました。アメリカだけはシベリアでロシアと戦争するために酷寒地でも使えるマッコウクジラの高性能な油が必要でしたが、それもデュポン社が化学合成できるようになり、今ではノルウェーを除く欧米諸国が捕鯨に強硬に反対し、一部の種類のクジラが増えすぎてイワシなどの水産資源を圧迫しています。昔から必要量だけ捕鯨し、感謝・供養して余すところなく使ってきた日本人にとっては皮肉な話です。また、石油が発見されたおかげでイスラム教とキリスト教が激しく戦い合う世界もできてしまいました。日本がアメリカと開戦したのは連合国に石油の輸入を閉ざされたためです。

天然ガスは発電に使われますが、水蒸気と反応させ水素と二酸化炭素が作られます（このときに発生する二酸化炭素は大気に放出されます）。この水素を大気中の窒素と反応させて（ハーバー・ボッシュ法）アンモニア系の肥料が作られます。これにより生産できる食料が増え、生存可能な人口が再び飛躍的に増加しました。実のところ、我々の体の窒素のうち半分が工場で天然ガスからできたものです。

さらに人類は原子力発電を開発しました。大部分の原子力発電所では軽水炉という形式でウラン鉱石にたった 0.7%しか含まれないウラン 235 の核分裂を行っていますが、このような方式だと、いわゆる可採年数はあと 123 年しかありません。モンゴルなどで新しい鉱床の発見がありますが、仮に、温暖化を大幅に緩和できるくらいの原子力発電所の増設があれば、可採年数が 100 年を切る可能性があります。ところが、実は、海水にウランが溶け込んでおり、これを利用すれば今の方式でも 16,000 年、高速増殖炉を利用するとすべてのエネルギーを賄って 20 億年分使うことができます（藤井・石本、2010）。地球はあと 20 億年くらいすると現在のような人類の生存が不可能な環境になりますので（水がなくなり、また、灼熱にな

ります、藤井・石本、2011）、完全密閉型の小型高速増殖炉を開発して、たとえば、北区に 1 つ、南区に 1 つ等と設置し、数 10 年に一回、燃料がなくなったら、安全な土地に運んで燃料の充填と廃棄物の処理を行うようなことができ、人口が 90 億人程度で安定化すれば、人類がエネルギー枯渇で絶滅するような羽目からは完全に解き放たれるのですが、日本政府がもんじゅによる高速増殖炉の研究を実質的に中止しようとしているのは残念なことです。

なお、その 20 億年の間に人類の生存に影響を及ぼすような大災害としては、アメリカのイエローストーンに代表されるような 100 万年に 1 回程度の破局噴火、1 億年に 1 回の恐竜を絶滅させたくらいの小惑星の衝突、数億年単位の大陸の集合・離散とそれに伴う気候の大変動（Wilson cycle）などがあります。破局噴火はマグマ発電や小規模な人口噴火でエネルギーを抜いてしまえば対処可能と考えられます。小惑星には、小さな推進装置を取り付けて軌道をそらして回避する研究がされています。大陸の集合・離散はどうしようもありません。日本列島があるのはそれらのおかげともいえますが、とにかく日本は 5000 万年後には朝鮮半島もろとも中国の下に沈むと予想されています。私たちの子孫は引っ越しが必要ですね。

3. これから

3.1 捨てる

私は賛成しませんが、二酸化炭素を減らして地球温暖化を緩和しようということで CCS（Carbon dioxide Capture and Storage、二酸化炭素回収貯蔵）が研究されています。これは、様々な方法で化石燃料を使う発電所などから二酸化炭素を回収し、ボーリング孔から地下に注入しようとするものです。注入する場所としては、枯渇したガス田・単なる地下水の層（帯水層）・炭層などが考えられています。注入した二酸化炭素は周囲の岩石を溶かし、一緒に沈殿して岩石として、あるいは、石炭に吸着して地下に固定されることが期待されています。炭層から採取したメタンガスで発電し、出てきた二酸化炭素を炭層に注入する、二酸化炭素をあまり出さない発電方法も提案されています。幌延地圏環境研究所では微生物を利用して、地下に注入した二酸化炭素を地下でメタンに変える研究が行われています。しかし、地下に流体を注入すると誘発地震が生じることが知られており、地表の温度を下げるくらい大量の二酸化炭素を貯蔵すると、深刻な誘発地震が生じる恐れが否定できない（高橋・藤井、2014）ので、慎重な検討が必要と思われます。

現在わが国では原子力発電所は稼働していませんが、すでに大量の核廃棄物が存在しています。あと数十年くらいして長いカーボンナノチューブができるようになると軌道エレベーターを作ることができるようになります。軌道エレベーターとは静止軌道衛星位置に打ち上げられた宇宙ステーションから上下に伸ばされたケーブルのうち、下に伸ばしたケーブルを地上に固定し、そのケーブルを伝ってクライマーが行

き来するものです。これができると、地球の重力を振り切る必要がなくなるので、太陽系の中はロケット不要で小さな推進力を持った宇宙船で行き来できるようになるのですが、同時に、核廃棄物も太陽に投げ捨てることができるようになります。もちろん、安全性の確保など検討課題は多いのですが、私はこれが究極的な解決方法だと思います。

しかしながら、それまでは、地下深部に廃棄物を貯蔵する地層処分が最も現実的な方法と言わざるを得ません。福島第一発電所の事故の影響により高速増殖炉の研究が実質的にストップし、核燃料サイクルが回らなくなると、廃棄物の種類が変わってしまいます（プルトニウムの直接処分など）。また、日本学術会議は、将来回収できるように埋設するべきであると提言しており、新しい埋設方法を検討する必要も出てきました。まだまだ研究の必要があります。

3.2 取り出す

新しい化石燃料としてシェールガス・メタンハイドレートが期待されています。このうち、シェールガスは既にアメリカで採掘され、アメリカでは大型トラックが次々と天然ガスエンジンになっていますし、輸出用の設備が準備され、近いうちにアメリカはエネルギーの純輸出国になるといわれています。そうなると、ヨーロッパにおけるロシアの天然ガスによる影響力がさらに低下する、アメリカ軍によるホルムズ海峡の防衛が必要なくなるなど、経済的だけではなく、政治的にも大きな影響を及ぼします。しかしながら、シェールガスの開発では、採掘時に使用する薬剤やメタンガス自体の地下水への混入・誘発地震（高橋・藤井、2014）等、様々な問題点が指摘されており、これらについて十分に対策を取ることが必要です。

メタンハイドレートは中心にメタン分子を取り込んだ氷で海底や永久凍土中に大量に存在しています。日本の周辺海域にも 100 年分ほど存在していると言われています。商業生産にはまだしばらくかかりそうですが、国産のエネルギー資源ですからいっそう努力して研究を続けるべきです。

破局噴火を防ぐために、マグマからエネルギーを取り出すマグマ発電も研究したいものです。人工地震で少しづつエネルギーを解放できれば巨大地震とそれに伴う津波も予防できます。

4. おわりに

皆様ご存知のことも多かったと思いますが、改めて紹介させていただきましたように、人類は古くから地下や岩盤、地下資源を利用してきました。

特に、地下から採取した石炭は人類活動における太陽エネルギーの制限を解き放ち、森林を復活させ、石炭を利用した蒸気機関は奴隷を解放し、石油は欧米諸国によるクジラの虐殺を止めさせ、天然ガスは増加する人類の食欲を満たすことを可能としました。また、将来、マグマからエネルギーが取り出せれば、環境に負荷をかけないエネルギーを利用しつつ、人類を絶滅に追い込む可能性のある破局噴火を予防

することもできるようになるわけです。

利用の仕方は変わっていきますが、人類はこれからも地下や岩盤、地下資源を利用して快適な生活を営んでいくことでしょう。海洋や宇宙同様、地下にもまだまだわからないことがいっぱいあります。地震予知のようにほとんど諦めの境地に入ったテーマもありますが、よく研究して賢く利用していきたいものです。

引用文献

朝倉慶（2011）、2012 年、日本経済は大崩壊する！幻冬社

アラン・ワイズマン（2008）、人類が消えた世界、早川書房

ジャレド・ダイアモンド（2005）、文明崩壊、草思社

高橋慧・藤井義明（2014）、CCS やシェールガス採掘は深刻な地震活動を誘発する可能性がある、資源・素材学会春季大会、25-1

藤井義明・石本さやか（2011）、地球の進化と人類の位置づけ（補筆版）、資源・素材 2011（堺）企画発表・一般発表(B), (C)講演資料集、pp. 159-160

藤井義明・石本さやか（2010）、海水ウランが 120 万年分ある、資源・素材 2010（福岡）企画発表一般発表(A)講演資料、pp. 325-328、9/15、福岡