

# 地下環境学への誘い

自然に学ぶ知恵と技

これまで、「地下環境学への誘い」と題した本連載において、とくに放射性廃棄物を地下に処分する「地層処分」を実施するにあたって、地下についてのどのようなことを知るべきなのか、どのようなことが分かってきたのかなどについて解説を行ってきました。また地層処分とは、地下環境の力を借りつつ、人工素材のバリア機能と併せて、放射性廃棄物の放射能が減衰するまでの期間、できるだけ長期に隔離することを目的とするものであることも述べてきました。とくに本連載では、なぜ地下なのか、また人工バリアの素材を選んだ理由など、その根拠となる理由や背景に重きを置いて解説をしてきました。

## 自然のバリア機能

―長期シーリングへの挑戦―

今回は、連載の最後として、地下環境を活用する技術や最新の科学的知見について紹介し、まとめたいと思います。

〈地下環境の利用…LPG地下備蓄サイト〉

地層処分は、地下数百メートルもの地下環境に、トンネルのような地下坑道を数キロ〜数十キロも掘削し、その空間での長期に渡った様々な活動を必要とするものです。また、地下に行けば必ず地下水が湧出することはすでに連載（第四回）で述べました。そのような長大な地下空間を設けることができるのか、またその技術が実際にあるのか、心配になる読者もおられるでし

よう。実は、地層処分に匹敵するような地下空洞が、すでに日本で建設され、実際に活用されている事例があります。それらの技術の一端を紹介しようと思います。

日本の地下環境を活用した地下施設には、地下発電所や地下ダムなども挙げられますが、近年、大規模な地下環境を利用した施設として、地下に資源や燃料を貯蔵することを目的として建設されたものがあります。その中でも、最大規模が、LPGの備蓄のための地下空間・坑道です。LPGとは、液化石油ガス（Liquefied Petroleum Gas）の頭文字をとってつけられているもので、プロパンやブタンといった成分のガスがそれらにあたります。

最終回

◎名古屋大学博物館教授（環境地質学）  
同大学院環境学研究科教授兼任

吉田 英一氏

1986年名古屋大学大学院理学研究科博士課程（前期課程）地球科学専攻修了。核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構）主任研究員を経て、2000年名古屋大学博物館助教授、2010年～2014年同博物館館長。2013年より総合資源エネルギー調査会地層処分技術ワーキンググループ委員を務める。

このガス成分は、圧縮すると常温で簡単に液体にすることができます。その性質を利用して、私たちの周りでもガスコンロのカートリッジ燃料として広く用いられています。

しかし、石油のほとんどを海外に依存している日本においては、このLPGガスも石油と同様に輸入に依存せざるを得ず、万が一、輸入が滞った場合に備え、備蓄することが必要になります。その備蓄は、石油コンビナートなどの港や海岸地帯に併設される何十基もの大きなタンクで貯蔵されることが一般的ですが、このような貯蔵では、津波や高潮などの自然災害によるダメージが及ばないようにしなければなりません。実際、東日本大震災では、岩手県久慈にある石油コンビナートが津波によってほぼ壊滅的なダメージを受けました。したがって、地下備蓄は、このような地表での災害から守ると同時に、地上のように土地の制限をほとんど受けることのない地下に、長期に貯蔵しようというのが一番の目的となります。

### 液体になることで体積は約二五〇分の一になる

では、どのようにして「ガス」状態のものを、地下環境に貯蔵するのか。

LPGガスは、水に溶けにくく、常温で圧力にして約八〜九気圧で液体となり、また液体になることで体積は約二五〇分の一になります。つまり、LPGガスを圧縮することで、液体にし、地下環境に備蓄するという考え方です。では、地下環境でどのようにして液体にするのか。ここで、地下には地下水があることが重要になります。約八〜九気圧は、水深に換算すると、八〇〜九〇メートルの深さの水圧に相当します。したがって、もしバルーンのような風船に石油ガスを入れて、海の中に沈めていくと、一〇〇メートルも行けば液化することを表しています。同様に、地下環境のこと

を考えてみましょう。これまでの連載で、地下環境は地下水で満たされていることを述べました。つまり、岩石中の割れ目や隙間は、基本、地下水で満たされています。したがって、地下一〇〇メートルの坑道（トンネル）から湧出する地下水は、地下水面が地表

写真1



●地下備蓄サイトの地下空洞

## 写真2



●ニュージーランドの約5000万年前の地層から産出した球状コンクリーション

付近である場合は、ほぼ水深一〇〇メートルに匹敵する水圧を持つことになりません。これは、地下一〇〇メートルよりも深い地下環境であれば、水に溶

けにくい気体を液体状態にして貯蔵できることを示しています。

日本の地下備蓄サイトは、その規模も世界一に相当するもので、すでに瀬

戸内海の海底下花崗岩の岩盤中の、深さ約一五〇〜一八〇メートルのところに二基建設されています。海底下の岩盤のため、岩盤中の隙間は海水か地下水で満たされています。

また深さも、ガスが液体になる深度よりも十分に深い岩盤中に設けられています。液体化したガスを貯蔵する地下空洞は、最寄りの地上の港から数キロもの斜坑トンネルで、深さ約二〇〇メートルの岩盤部分まで掘り進められました。さらに貯蔵部分の空洞部分は、一つが幅二六メートル、高さ三〇メートル、長さ四三〇〜四八五メートルもの巨大なもので（写真1）、日本

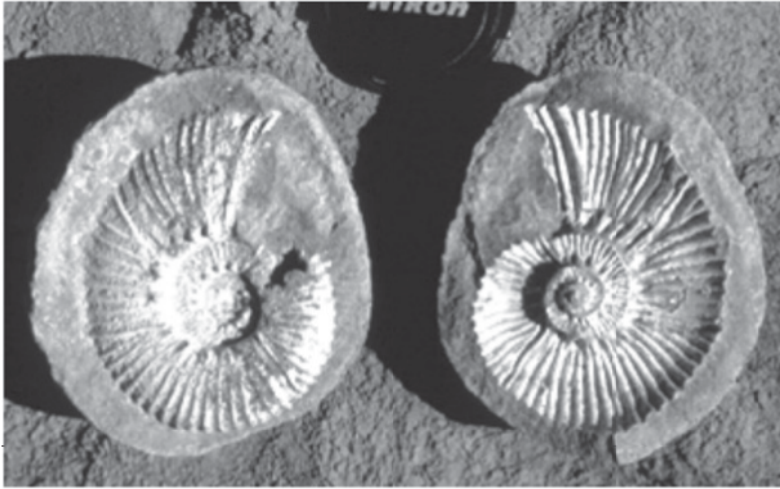
全体で使用する約一か月分に相当する容積のLPGを貯蔵することが可能です。現在、すでに九割ほどの容積が満たされた状態になっています。

日本は山国であり、従来からトンネルを掘削したりして国土の利用を進めてきました。そのような歴史的背景もあり、このような巨大な地下空間の建設技術とその安全性を維持する技術のレベルは、世界的にも高いものがあります。また近年では、東京〜名古屋間を結ぶリニア新幹線も、その約九割は地下トンネルであり、北アルプスの深い場所では地下一〇〇メートルほどの場所を掘削する予定です。これらの建設技術も、基本、同様の技術が用いられることになります。

〈天然のシーリングプロセス…球状コンクリーションに学ぶ〉

地下環境では、必ず地下水が湧出します。したがって、地下環境を安全に利用するためには、その地下水の湧出を止めるシーリング技術が不可欠となります。LPG地下備蓄においても、

写真3



●球状コンクリーションの中から産出した約1億2000万年前の保存良好なアンモナイト  
(大きさは約20センチ)

セメントなどを用いた入念なシーリング技術において、備蓄サイト周辺の地下水の状態をコントロールしていません。地層処分では、すでに述べてきましたが、ベントナイト(緩衝材)などの人工素材を用いて、地下水の動きを抑制する技術の開発が進められていま

す。もし、その働きをさらに確かなものにするのであれば、将来の世代が地層処分を選択した場合の安全性が、さらに高められるかもしれません。

その一つの可能性として、私たち名古屋大学の研究グループでは、地層の中で形成される炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )を主成分とする球状の岩塊(コンクリーション)について研究を進めています。(写真2、3)。この岩塊は、丸く非常に緻密で、内部に保存良好な化石を内在することから、古くから古生物学の分野では研究が進められていましたが、どのようにしてできるのかについては分かかっていませんでした。しかし、近年の研究成果から、内部の生命体(有機質部分)の炭素と海中のカルシウムイオンとの反応で、数か月〜数年で形成されることが分かったのです。その炭酸カルシウムでの非常に緻密にシーリングされ

た状態によって、内在する化石(骨格部分)が、何十万年も何百万年も隔離され、保存されるという訳です。つまり、コンクリーションは、究極の「cocoon」(繭…連載第四回参照)と言えるでしょう。もし、この手法を地層処分場に応用できれば、現在想定されている以上に、長期に渡ってより確実に放射性廃棄物を隔離できるかもしれません。

地層処分に関する現在の技術は、これまで数十年もの歳月をかけて、世界中で進められてきた経験と知見、そして技術を集結したものであることは間違いありません。

しかし、一方で、数万年もの長期において自然(地下環境)に委ねる以上、さらに自然の仕組みを理解し、自然のプロセスとの調和において実施されることが不可欠と言えるでしょう。その上でも、これからも「自然に謙虚に学び」続け、地下環境の仕組みについての情報を発信していきたいと考えたいです。(終わり)