

石油技術協会誌 第 91 卷 第 2 号 (令和 8 年 3 月) 78 ~ 84 頁

Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology

Vol. 91, No. 2 (March, 2026) pp. 78~84

地下を探る技術とその未来：私たちはどこに行こうとしているのか

Technology and the future of subsurface exploration: where are we going?

山田泰広

Yasuhiro Yamada

九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門

Dept of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University

英国ロンドン大学ロイヤルホロウェイ校地球科学部

Dept of Earth Sciences, Royal Holloway University of London, UK

フィールドエナジーリサーチ合同会社

Field Energy Research LLC

脚注：令和 7 年 6 月 11 日令和 7 年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱シンポジウム「ダイバーシティー～次世代ジオサイエンティストを惹きつける領域の多様化」にて講演－ This paper was presented at the 2025 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled “Diversity ~ Diversification of G&G disciplines for the next-generation geoscientists” held in Niigata, Japan, June 11, 2025.

英文要旨：

Petroleum exploration and production form the foundation that supports modern society. With a proven track record in stable energy supply, it has made significant contributions to society through

diverse applications and related technologies. It also contributes to natural sciences through the discovery and verification of facts documented in textbooks. The energy transition, which we are currently within, is anticipated to be a societal transformation spanning several decades, during which demand for hydrocarbons is likely to continue. The petroleum exploration and production industry is expected to support this demand. Furthermore, the development and utilisation of next-generation energy resources such as natural hydrogen, alongside the local production and consumption of energy – that is, the development and utilisation of small-scale, diverse energy sources – necessitates a deep understanding of regional contexts. The knowledge and technology accumulated by the petroleum exploration and production industry form the foundational support for this direction.

キーワード：

石油開発の役割、社会的分業、エネルギートランジション

roles of petroleum industry, societal division of labor, energy transition

1. はじめに

私たちは過去数千年間にわたって地下を探ってきた。本論では、古代から私たちが地下を探ってきた理由をふり返るとともに、現代社会においてエネルギー資源を私たちがなぜ必要としているのか、どのように使っているのか概観する。そして、時代がどのように変化しようとしているのか、その先にある社会で何が求められ、石油開発技術がどのように貢献できるのか、考察する機会としたい。なお本章の執筆にあたって長谷川（2012）やローズ（2019）、古舘（2021）などを参照したが、責任は著者にあることを明記する。

私たちが地下を探る目的を大きく分けると、①隔離・保存・貯蔵、②土木・建設、③資源である。これは数千年前から現代に至るまで変わっていない。

まず①隔離・保存・貯蔵について事例を挙げる。身近な場所に置いておくには危険あるいは

不衛生などの理由で生活圏から何らかの物質を隔離する必要性は古代から存在し、隔離先として地下が利用されてきた。生活で不要となった物（ごみ）や遺骸などが代表的な物質である。現代では各種の産業廃棄物、特にリサイクルに向かない不燃物が埋設されているほか、放射性廃棄物などを地下に保管している。つまり私たちの生活圏としての地表から隔離する場所として、運搬が容易かつ身近な場所である地下が選択されている。地下を保存や貯蔵の目的として使用することは古代から行われている。栃木県品川台遺跡では穀類の貯蔵のために地下 1.5m 程度のフラスコ状の空洞（貯蔵穴）を掘削した遺構が確認されている（塚本, 2001）ほか、醸造用のかめを埋めて熟成させる例などが知られている。現代でも地下岩盤に巨大な空洞を建設して天然ガスや石油の地下備蓄を行っている事例がある。例えば独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（以下 JOGMEC と呼ぶ）が管理している倉敷・波方 LPG 地下備蓄基地（JOGMEC, 2013）や日本地下石油備蓄株式会社が管理している 3 カ所（串木野・久慈・菊間）の国家石油備蓄基地である（蒔田, 1995）。このほか、枯渇ガス田を利用したガス貯蔵の例として、石油資源開発株式会社（JAPEX）の紫雲寺ガス田や株式会社 INPEX の関原ガス田などが挙げられる。最近の石油開発業界で精力的に取り組みが進められている二酸化炭素地中貯留（CCS）もこの範ちゅうに入る。従来の利用例では地表に比べて温度・湿度環境が安定している点が地下を使う主な理由であるが、最近の事例は地下が未利用空間であることが重要な利点となっている。

次に②土木・建設の事例である。橋梁や寺院など重量のある人工構造物が中世以降に建設されるようになると、それを支える土台としての地盤の強度や構造を把握する必要性が出現した。近世までは、地形やそれまでの土地利用経験に基づいて、適地を選択して建設できたことから、地下を調査する需要は多くはなかったと考えられる。しかし、現代では重量構造物の建設場所が利用可能地の制限から（適地か否かに関係なく）決まることが多く、建設を可能とするために各種の地盤調査法や対策工法が開発されている。例えば、軟弱地盤として知られていた場所に建設された関西空港では、不等沈下によって大規模重量構造物であるターミナルビルが変形・破損することが予想された。それを避けるために、地盤の不均質性をボーリング掘削

とコア試験で精密に調査・計測することで荷重による沈下量を事前に予測しただけではなく、ターミナルビルの荷重を支えるすべての柱で変位モニタリングを実施し、個別にジャッキアップする対策を継続している（古土井・小林, 2009）。

最後に③資源の事例である。私たちが大地から役に立つものを見つけて使ってきた歴史は長い。石器時代の重要物資である黒曜石は産出地から遠方まで運搬されて広い範囲で使われたことが把握されており（小田, 2009）、良質なものが産出する場所では大規模に採掘されていたことが推定される。もちろん当初は地表露出した場所（露頭）から採取を始めたはずであるが、地表露出した材料を使い尽くした後は露頭を掘って入手したことが容易に想像できる。地表露頭の観察から地下を推定し、どこをどちらに向かって掘れば目的の物質を入手できるか、最初の資源探査法を考えたのは石器時代人だっただろう。この地表から地下へ、つまり地表で得られる知見を基に地下を探る、というアプローチは、中世の金属鉱床（例えば佐渡金山）の開発や現代の資源開発でも基本的に同じである。紀元前 11500 年ころの遺跡で飲料水を手に入れる目的で井戸が掘削された痕跡も発見されている（Haynes et al., 1999）。その後、私たちの活動の中で必要とされるエネルギーが産業革命期に劇的に増加したことに伴って、エネルギー源の主役は木材・木炭から石炭に移行した。さらに内燃機関を動力源とする機器類の使用が拡大することに伴って、その座は 20 世紀半ばに石炭から石油に移行した。木炭から石炭へ、さらに石油へ、というエネルギーの高密度化・効率化への需要を支えたのも、地表露出（湧出）した物質の利用から地下を探ることで、さらに多くの有用物質を手しようとした地下資源探査法の志向性に沿ったものである。

次章では、このような過程を経て成立した現代社会の基本的な仕組みとそこで使われているエネルギーについて改めて考えてみたい。

2. 現代社会とエネルギー

現代社会の基本的な仕組みは「社会的分業」である。社会的分業とは、私たちが生きてゆくために必要なことをすべて自分で行う必要はないということである。生物としての人間は弱い

存在であるため、季節変化や外敵から逃れる場所としての住居、寒暖から身体を守る衣類、エネルギー源としての食物や清潔な飲用水などを常に必要とする。例えば、無人島に一人での状況を想像してほしい。上記した「もの」を手に入れるために毎日必死で努力しなければ生きてゆくことはできない。これが真の意味での「孤独」である。現代社会を生活している私たちは決して孤独ではなく、これらを自力で毎日作り出す必要はない。住居を借りることができ、衣類や飲食物を店で入手できる。これは、自分以外の誰かが必要なものを作って、提供していることによって成り立っている。つまり現代社会では、社会が成り立つために必要な役割（機能）を細かく分割し、社会を構成する一人一人がそれぞれできることを行うことによって、「協力する」かつ「分担する」ことで社会を支えるという構図が成り立っている。このことは、世の中にあるさまざまな職業・職種は上下関係ではなく、分担の関係にあることを示している。ここで述べている社会的分業は、デュルケーム（2017）の「社会分業論」に基づいている。

この社会的分業の過程を生産・流通・消費の段階に区分した上で、特にエネルギーに注目して具体的に見てみよう。

2. 1 生産段階

私たちの生活や産業活動に必要な「もの」を作り出すためにさまざまな生産活動が行われている。いわゆる製造業だけではなく、広い意味での生産活動を担う農林水産業・鉱業・工業・建設業などでは、多種多様な生産活動が行われている。これを一般化すると、さまざまな原材料と機器類、そして機器類を動かすためのエネルギーが生産活動に必要な要素である、とまとめることができる。もちろん私たちがふだん使っている電化製品などのように、原材料（各種鉱石など）から一次加工（鉄や銅製品など）、二次加工（部品製造）などを経た上で最終製品化することも一般に行われている。このほか、生産現場では照明に関するエネルギー需要も存在する。特に人が働く場では私たちが知覚できるように可視光領域の照明が必要である。たとえ全自動化されて無人となった工場でも、作業モニタリングのためのセンサが感知できるように何らかの照明が用いられている。

このように広範な生産活動の中で必要とされるエネルギー需要として最大のものは熱である。原材料の加工や改質、または品質保持などのための過熱（乾燥やよう解を含む）や冷却（冷蔵・冷凍を含む）、あるいは事業所で必要となる空調などはすべて熱需要である。熱需要を満たすために必要なエネルギー源は化石燃料（燃焼熱）と電力で、2024年時点での世界の熱需要エネルギー源の割合は、国際エネルギー機関（IEA）によると50%以上が化石燃料、30%弱が電気である（IEA, 2025a）。廃棄物などの焼却熱を利用した地域熱供給や、燃料燃焼による発電時の排熱（コージェネレーション）も熱利用の一環として普及が進みつつある。一方、2023年時点での国内発電方式ごとの構成割合は、化石燃料68.6%、再エネ22.9%（うち太陽光9.8%、水力7.6%）、原子力8.5%である（資源エネルギー庁, 2025）。

2. 2 流通段階

生産活動によって作り出された「生産物」は、消費あるいはさらなる加工の場所へと運搬される。生産物の運搬・流通に関わる運輸業・倉庫業・通信業などでは、機器類とそれを動かすエネルギーが必要である。この段階で必要とされるエネルギーの主役は、石油に代表される化石燃料である。ものを動かす必要がない通信業務では電気が使われるが、生産物の運搬には輸送機器が必要である。統計（全日本トラック協会, 2025）によると、輸送の主力は、トンベースでは車両（92%）、トンキロベースでは船舶（38%）と車両（57%）である。現時点では、船舶や車両のほとんどは内燃機関で駆動しており、エネルギー源は重油・ガソリン・軽油・LPGなどである。航空機輸送の場合もほぼエンジン駆動であり、ジェット燃料やガソリンが主として使われている。最近、徐々に内燃機関ではない車両（電気自動車など）が普及しつつあるが、非内燃機関の船舶は内湾航行船（例えば電動タンカーあさひ）などに限定されるほか、航空機の電動化は試験段階である。

2. 3 消費段階

生産・流通段階を通過して消費の場に届けられた生産物は、消費者や企業活動などによって

最終的に消費される。ただし、消費段階で生産物が完全に消滅することではなく、同時に不要物や廃棄物が生み出される。つまり消費とは生産活動でもある。これらの廃棄物類についても何らかの処理や処分を行う必要があることから、消費の場所から処理の場所へとこれらの物資が輸送される必要がある。これは上記した流通段階での事例と同じである。また、処理や処分の際にも何らかの機器類や、それを動かすためのエネルギーが必要であり、これも上記した生産段階での事例と同じである。

2. 4 まとめ

ここまでふり返ってきたように、私たちは現代社会の基本システムである社会的分業を成立させるために、生産・流通・消費の各段階で膨大な量の化石燃料を使っていることが理解できる。これは、安く大量に使えるエネルギーが存在している（利用可能である）ことが背景にある。つまり、現代社会が現在の姿に発展することができた理由は、エネルギー源を大規模化・高効率化させることに成功したことにある。次章で述べるように、私たちはかつて木材・木炭を利用していたが、それを石炭（大規模化）へ、さらに石油（高効率化）へ変更することによって、安く大量に使える高密度エネルギーを入手し、それによって現在の高度に発達した（社会的分業で支えられた）社会を作り出すことができた。つまり現在の社会システムは、石油が存在することを前提条件として成立している、と見ることができる。

3. エネルギートランジション

3. 1 過去のエネルギートランジション：背景と結果

エネルギートランジションとは「既存のエネルギーシステムから異なるエネルギーシステムへの移行を指す」(JOGMEC, 2021)。現在、私たちはエネルギートランジション期のただ中にいるが、過去にも主要なエネルギー源を変更する事例を何回か経験している。

最初は木材・木炭から石炭への転換だった。18世紀までの欧州では、エネルギー（木材・木炭）や食料、原材料類や機器類製造などに必要な資源のほとんどを土地（地面）に依存して

いた。すなわち、使用できる土地の面積によって、人口（養えることのできる人の数）と産業（エネルギーと原材料の供給量）が制約されていた。森林伐採による環境悪化と木材供給量の減少による木炭価格の高騰がいち早く生じた英国では、木炭に代わるエネルギー源として手近かつ地下に豊富に存在した石炭への転換が進んだ。

石油の利用は 19 世紀後半から始まっていたが、石炭から石油への転換は第二次世界大戦を契機に本格化した。固体燃料である石炭よりも液体燃料である石油は、取り扱いが容易であるだけでなくエネルギー密度も高い。このことから、軍艦の高速化や航続距離の向上、さらに軍用機として利用が拡大していた航空機の燃料として普及が加速した。すなわち、このエネルギー転換は、軍事面での利便性と性能向上が当初の主要な目的であった。

戦争終了後に軍用技術の民生化に伴って石油需要が拡大したことから、供給量の増加を目的に海洋での石油探査が求められるようになった。戦後に余剰となっていた船舶を改造して初期の海洋掘削作業が行われたが、海洋地質に関する知識も海洋開発に関する技術も不足していたことから、海洋調査の重要性が急激に高まった。このような背景もあって米国が主導する海洋科学掘削が開始された。1968 年に開始した深海掘削計画（DSDP）では、大西洋を東西に横断する一連の掘削で取得された岩石コア試料の各種計測により、中央海嶺がプレートの生成場所であること、すなわちプレートテクトニクスが実証されるという成果を得た（DSDP Leg3 The Shipboard Scientific Party, 1970）。もちろん、世界各地で実施された海洋科学掘削や関連調査の一環として実施された各種の物理探査で得た知見を基に、堆積盆地の形成と石油鉱床の成立に関する理論的背景が整備され、石油開発産業に大きく貢献している。また、中米ユカタン半島で PEMEX 社によって掘削された石油掘削井（Chicxulub-1 井, 1952 年; Sacapuc-1 井, 1954 年; Yucatan-6 井, 1966 年）が想定外の基盤岩に到達した（Urrutia-Fucugauchi et al., 2025）ことを受けて、その沖合海域で実施された海洋科学掘削（IODP 364）で白亜紀末期の恐竜絶滅を引き起こした天体衝突の直接的な証拠を確認したこと（Gulick et al., 2019）など、教科書に書かれている科学的知見が石油開発を端緒に得られたことは数多い。その後も米国メキシコ湾での軟弱な海底斜面で物性情報の取得を目指した科学掘削（IODP 308）が実施さ

れ、近隣地域での石油プラットフォームの建設に貢献した例など、海洋科学掘削と石油開発産業の協働は継続している。

3. 2 現在のエネルギートランジション：多様なエネルギー源

現在進行中のエネルギートランジションは「化石燃料を主としたエネルギーシステム」から「持続可能で地球環境に配慮した新たなエネルギーシステム」への転換である。ただし、上記したように現在の社会システムは「安価・大量・使いやすい」エネルギーである石油が存在することを前提として成立している。後述するように、石油を代替すると期待される各種のエネルギーを商業利用するためには、コスト面や使い勝手の向上などにさらなる技術開発を必要とするものも少なくない。過去に経験したエネルギー変換が産業界や軍事面からの需要で生じたことに比べ、今回は環境問題への危機意識からの要請であることから、その必要性・緊急性に関する認識は必ずしも共有されていない。このことは、①何らかのインセンティブなしに石油からのエネルギー転換が容易には進まないこと、②このエネルギートランジションには相当の時間がかかること、を示唆している。

化石燃料に代わる安価・大量・使いやすいエネルギーが現時点で存在しないことから、それに代わるエネルギーは単一ではありえない。すなわち、利用可能なさまざまなエネルギーを組み合わせる必要がある。ただし現状では発電に使うことができる方法が数多く開発されている一方、燃料として使うことができる代替エネルギー源は限られている。

代表的な再生可能エネルギーとして挙げられる太陽光と風力は、現時点ではほぼ発電用途に限定され、電力以外のエネルギー源としてほとんど使われていない。そのようにして発生させた電力でさえ、自然エネルギーの特徴である変動のために基幹電力網へのシステム不安定を引き起こすとして、流通量に一定の上限を設ける、あるいは遠隔地などで単独で使用されることが多い。これらの自然エネルギー利用は価格競争力が低いとされた時代が長かったが、太陽電池パネルの大量製造や風車の巨大化によって発電コストが大幅に低下したことから、化石燃料の火力発電と比較して十分に競争力があるようになった（経済産業省, 2025）。なお、かつて太

陽光の熱利用が積極的に推進された時期（1970年代）があったが、日本政府からの補助金が終了するとともに一般家庭での利用は激減した。その後、現代型の小型高効率太陽熱利用機器が開発され、普及拡大が期待されている。

水力は、水を媒体とした位置エネルギーを発電に利用するもので、湿潤環境かつ起伏のある地形の場所に適したエネルギー源であることから、日本での水力利用の歴史は長い。安定した降水量が期待できる地域では持続可能なエネルギー源として利用されている。また、余剰電力を用いて低地から高地に揚水し、需要に応じて降水することで発電する揚水発電所も普及している。この揚水発電所は、電力の需要と供給を調整する蓄電池としての機能を持っている。かつては日本各地で大規模ダムが建設されたが、景観を大きく改変することや、高い建設コスト、既存集落の移転などの問題から、新規建設は困難になっている。そこで、最近では従来比ではるかに小型の水力発電システムが開発されている。この小水力発電では、わずかな高低差で発生する水流を利用して小型タービンを駆動させるもので、農業用水路などに設置されるタイプのほか、高層建築物の上水道（高層階に設置した水タンクから各戸に供給される水流）を利用する製品なども開発されている。

地熱もエネルギー源として一般的であり、主な利用法は発電と熱利用（直接利用）である。発電目的では地下貯留層から生産した高温蒸気でタービンを回しており、海外での地熱利用は主として発電である。坑井から副次的に生産される熱水を用いて二次的な発電（バイナリ発電）を行うなど、より効率的な熱エネルギー利用による発電法が開発されている。熱の直接利用は日本で普及しており、代表的な例は温泉である。温泉は地域に多大な利益をもたらすことから、地熱エネルギーが存在する場合には日本では温泉利用が優先されている。熱エネルギーの特徴として運搬の困難性が挙げられ、熱利用は熱源の近隣地に限定されている。最近では温泉源泉の高温を利用して小規模な発電を可能とする発電法が開発されるなど、複層的な熱利用も進んでいる。これらと異なる地下の熱利用の例として地中熱が挙げられる。地下10m程度以深の温度環境がほぼ季節変化しないことを利用して、熱媒体の循環による空調に使う用法（ground-source heat pump）が北ヨーロッパなどの寒冷地で広く普及している（安川、

2023)。

原子力は、ウラン燃料を燃焼させることで発生する巨大な熱エネルギーを利用するものである。現状での熱エネルギーの使用方法は、石炭時代に私たちが手に入れた「蒸気機関」方式による大規模タービン発電である。熱エネルギーの主要な需要地である都市や工業用地から離れた場所に原子力発電所が建設されていることもあって、発電以外に原子力の巨大熱エネルギーは有効活用されていない。近年、この熱エネルギーを使用した水素製造が研究段階（日本原子力研究開発機構, 2024）にあり、徐々に熱利用が模索されている。

バイオマスとは、主として植物体をエネルギー源として活用するもので、先に述べた木材・木炭もバイオマスである。つまり私たちのエネルギー源の歴史はバイオマスから始まっており、今なお世界各地で伝統的に生産される製品の多くで土地固有のバイオマスが使われている。例として、紀州のウバメガシを使った備長炭、高知のカツオ料理で使用される稲わら、スコッチウイスキー製造に使用されるピート（泥炭）などが挙げられる。現代における産業用エネルギー源として使用されるバイオマスには、木材の端材や植物油を抽出した残存物など生産活動に伴って生じた廃棄物のほか、穀物なども含まれる。東南アジア産の油ヤシの実（パーム油を抽出した残り）を使用した発電事業が日本政府の支援で行われているほか、ブラジルやオーストラリアなどではアルコール燃料の製造原料としてトウモロコシ（コーン）を使っている。航空機ジェット燃料の代替物として使用が広がりつつある SAF は、食用油の廃油を原料として製造されることからバイオマス燃料の一種である。ジェット燃料への SAF 混合比は現状では 10%かそれ以下であるが、比率を向上させる技術開発も進められている。

環境対応エネルギー源として水素が注目されている。水素は発電にも燃料にも使うことができる点で優れている。ただし現状では水素とは工業的に製造するものであり、その過程でエネルギーを必要とすることから現状では化石燃料と比べてコスト競争力が低い。水素を運搬する際にもコストが発生することから、これを低減させることを目的として液化やアンモニア化が図られているが、これらは化石代替燃料として使用できる可能性を持つという点で重要である。

化石燃料の燃焼時に発生する二酸化炭素を捕まえて、それを原料として再び炭化水素を製造するメタネーションなどの技術開発も進められている。製造された人工燃料は化石燃料の代替物となりうる点で注目されるが、コスト競争力の向上に向けてさらなる技術開発が必要である。

3. 3 「再生可能」エネルギーの背景

前項で概説した、太陽光・風力・水力・バイオマスなどは再生可能エネルギーと呼ばれる。地熱は再生可能エネルギーとみなすことができる場所とできない場所がある。化石資源は再生可能エネルギーではない。この違いは、再生産（回復）に必要な時間にある。すなわち、私たちが待つことができる時間スケールに比べて、回復に要する時間が短ければ（実用に耐えるという意味で）再生可能と私たちは呼んでいる。上記した再生可能エネルギー源は、私たちが目の前にあるものを使ってしまっても次の瞬間（あるいは比較的短い時間を待つだけで）新たなものが手に入る。したがって使用しても枯渇しない（使うことにちゅうちょする必要がない）と考えることができる。地熱エネルギーでは、熱やその媒体としての水の供給（単位時間当たりの供給量）が遅い場所がある。地熱開発などで私たちが地下の熱エネルギーを利用した際に、利用によって減少・低下した熱や水が周囲からの供給によって再生される（回復する）までの時間を待つことができない（事業として成立しない）場合、その場所の地熱エネルギーは再生可能エネルギーではないことになる。すなわち、エネルギー源が再生可能かそうでないかを決めているのは、人間の（産業活動が規定する）時間スケールである。

現代社会においてエネルギー源が再生可能かどうか論点になる背景として、エネルギー資源の需要と消費の速度が変化してきたことがある。産業革命前の古典的な木炭エネルギー社会においては、木材生産（植物成長）に留意せざるを得ないことから、資源の持続的利用（回復可能な資源の利用）を意識することは当然であった。しかし近代欧州社会にみられるように、開拓地への入植や植民地の取得によってそれまでよりも広い土地の利用が可能になると、植物成長を上回る速度でエネルギー源を取得・消費することが可能になった。その後、高密度エネル

ギー源である化石資源（石炭さらには石油）を利用することが可能になると、もはや土地の制約から離れ、消費した資源が回復する時間を考慮する必要がなくなり、エネルギー源を大量に消費する時代へ切り替わった。現代社会においては、ますます時間重視の効率化が意識されるようになり、もはや自然が回復する時間を待てない社会になっている。この状況において、私たちはさらなる技術革新・イノベーションと社会変化で対応しようとしている。一方、生物種としての人間は数百年程度では全く進化していないことから、自然界の時間スケールと比較して格段に早い時間スケールで私たちを取り巻く環境が変化し続けている現代社会に人間が適応を迫られていることには明らかな無理がある。このような加速を続ける現代社会システムの潮流から離れるような動きにも見える再生可能エネルギーに基づく社会への変革を志向する背景として、生物種ホモサピエンスとしての生理的な忌避（生物学的な限界の察知）があるのかもしれない。

3. 4 エネルギートランジションに伴う人間への影響

エネルギートランジションによって、化石燃料の大量使用を前提としたこれまでの社会から私たちは変化しようとしている。社会が変化することによって、構成員である私たちも当然のことながら個人生活へ影響があることが予想される。具体的には、私たちの意識や行動様式を変化させることができるかどうか、である。現状は国際的かつ大規模な社会的分業で成立しており、長距離・大量輸送・大量消費（大量廃棄）である。それを、地域特性を生かした、地域（地元）・少量多品種・分散型の生産・消費様式の方角へ変革できるだろうか。具体的には、風力・太陽光・地熱などの地域資源エネルギーの利用を拡大し、エネルギーを含む地場産品の地元での消費（地産地消）を目指すことになる。「エネルギーの地産地消」は、政府方針の「国土強靱化」の項目として挙げられているが、地域エネルギーとは自然エネルギーであり、前述したような特徴があることから開発・利用するには地域ごとの工夫が必要である。地域エネルギー利用を実現するためには、「地域に何があるのか、観察する・理解する・使う」段階を一歩ずつ進むことが求められる。その第一歩として、その場所らしさを特徴づけている特性

とそれがもたらす豊かさ、すなわち「地の恵み」を再評価することが必要になる。

4. これからの社会に

私たちは母なる惑星「地球」の上に生きており、私たちが必要なものとエネルギーのすべてをこの惑星（およびその母である太陽）から得ている。いま、地球全球を活動対象にした現代社会体系から、視点の重心を地域においた社会に移行するにあたり、私たちが生活している地域とはどのような場所なのか理解する必要に迫られている。地域を構成する要素は多種多様であるが、地域エネルギーの視点からは自然地理や地球科学からのアプローチになるだろう。すなわち、地形・地質・水・空気・温度などが主な要素であろうか。これらを軸に考えることで、その場所はどのようにできたのか、かつて何が起きたのか、いま何がそこにあるのか、これから何が起きるのか、などがより理解できるようになる。これらが、地域資源「知の恵み」を発掘し、再評価し、そして利用することへつながるだろう。この過程において、地域が多様性をもつことを理解し、住民自らが考える・動くことを促すことで、地域エネルギーを使うことに関する忌避感情は薄れ、社会受容性が向上することが期待される。このような動きを進める主体は、地方自治体・その場所にある大学・地域に立地する企業の協働が望ましい。もちろん、政府による資金支援も重要であるが、補助金は立ち上げ段階に限定するなど、できる限り自立して継続できるような枠組みづくりが大切である。この時に、地下を知る・地下を使うことを目的に蓄積し磨いてきた石油開発の知識と技術が基盤として重要視されることは間違いのない。つまり石油開発は、これからの社会に貢献する重要知である。

前述したように現在はエネルギーtransition期にあり、政府が目標として挙げた2030年の温室効果ガス半減に向けた対策が急ピッチで進行中である。環境負荷のより少ないエネルギーの開発に関する研究開発は進行しているが、2030年までに化石燃料を代替するとは考えにくい。すなわち現状では温室効果ガスを排出源などで回収して利用あるいは地下貯留する方法（CCS/CCUS）に頼るしかない。ガスの地中貯留には、適地を調査・選定し、掘削坑井を通じて地下にガスを圧入し、その挙動をモニタリングする必要がある。これらはすべて石油開

発のために開発・改良されてきた技術が使われる。

前章で述べた種々のエネルギー源のうち、石油開発に関連が深いものは地熱と水素である。地熱エネルギーの探査と開発には石油開発の知見と技術が応用されている。個別技術を詳述することは避けるが、熱源・貯留層・被覆層などで構成される「地熱システム」は「石油システム」を範に構築された概念である。一方、水素は環境負荷の少ないエネルギー源として研究開発が進んでいるが、水を改質して製造する際にエネルギーの投下が必須であることから高コストである（IEA, 2025b）。水素の製造コストを劇的に低下させる可能性が注目される天然水素が2025年2月に策定された国の第7次エネルギー基本計画に記載され、経済産業省資源エネルギー庁から新エネルギー研究開発機構（NEDO）を通じた天然水素に関する研究開発支援が開始された。天然水素の探査と開発は模索段階であるが、「天然水素システム」の構築や生産手法の開発などに石油開発の知見と技術が応用されている。

5. まとめ

石油開発は現代社会（文明体系）を支える基盤である。エネルギー安定供給の実績を持ち、これまで多種多様な応用と関連技術によって社会に大きく貢献してきた。教科書に書かれている事実の発見と検証などによるサイエンスにも貢献している。エネルギートランジションは数十年単位の長期にわたる社会変革となることが予想され、この間は炭化水素需要が継続するだろう。それを支えるのも石油開発産業である。また、天然水素などの次世代エネルギーの開発や利用、エネルギーの地産地消、すなわち少量多品種エネルギー源の開発・利用の際に、地域を深く理解する必要がある。これを支える基盤となるのは石油開発産業で蓄積された知識と技術である。

謝辞：石油開発技術、特に物理探査技術の社会への応用と拡大に関して国立研究開発法人海洋研究開発機構の白石和也主任研究員からご教示いただいた。記して深く感謝する。

引用文献

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) , 2013: 水封式地下岩盤方式の LP ガス国家備蓄基地が開所. https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_01_000006.html (accessed 2025/11/05).

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) , 2021: エネルギートランジションってどういう意味?. https://www.jogmec.go.jp/publish/plus_vol21.html (accessed 2025/11/05).

エミール・デュルケーム, 2017: 社会分業論, ちくま学芸文庫, 田原音和(訳), 筑摩書房.

DSDP Leg3 The Shipboard Scientific Party, 1970: Summary and Conclusions, Proceedings of the DSDP Volume III, doi:10.2973/dsdp.proc.3.113.1970.

古舘 恒介, 2021: エネルギーをめぐる旅——文明の歴史と私たちの未来, 英治出版.

古土井光昭・小林正樹, 2009: 関西空港建設に関わる地盤工学的問題と対応-沈下の予測と実際 -. 土木学会論文集 C, **65**(4), 998-1017.

Gulick, S.P., Bralower, T.J., Ormö, J., Hall, B., Grice, K., Schaefer, B., and Expedition 364 Scientists, 2019: The first day of the Cenozoic, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **116**(39), 19342-19351.

長谷川 貴彦, 2012: 産業革命 (世界史リブレット 116), 山川出版社.

Haynes, C.V.Jr., Stanford, D.J., Jodry, M., Dickenson, J., Montgomery, J.L., Shelley, P.H., … and Agogino, G.A., 1999: A Clovis well at the type site 11,500 B.C.: The oldest prehistoric well in America. *Geoarcheology*, **14**(5), 455-470, doi: 10.1002/(SICI)1520-6548(199906)14:5<455::AID-GEA6>3.0.CO;2-L.

International Energy Agency (IEA), 2025a: World Energy Outlook 2025, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> (accessed 2025/11/05).

International Energy Agency (IEA), 2025b: Global Hydrogen Review 2025, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2025> (accessed 2025/11/05).

経済産業省, 2025: 発電コスト検証に関するとりまとめ.

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20250206_01.pdf (accessed 2025/11/05).

蒔田敏昭, 1995: 日本初の大規模地下石油備蓄基地建設—久慈・菊間・串木野基地—. 石油の開発と備蓄, **95**(2), 43-52, 石油公団.

日本原子力研究開発機構, 2025: 高温ガス炉による水素製造技術確証のための HTTR (高温工学試験研究炉) 原子炉設置変更許可申請 (おしらせ) .

<https://www.jaea.go.jp/02/press2024/p25032701/> (accessed 2025/11/05).

小田静夫, 2009: 黒曜石研究の動向. <https://ac.jpn.org/kuroshio/kenkyudoko.htm> (accessed 2025/11/05).

リチャード・ローズ, 2019: エネルギー400年史: 薪から石炭、石油、原子力、再生可能エネルギーまで, 秋山 勝 (訳), 草思社.

資源エネルギー庁, 2025: 令和5年度(2023年度)におけるエネルギー需給実績(確報), https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/honbun2023fykaku.pdf (accessed 2025/11/05).

塚本師也, 2001: 関東地方東北部における縄文時代の大型貯蔵穴出現期の様相(上). とちぎ生涯学習文化財団埋蔵文化財センター研究紀要, 9, 15-30.

Urrutia-Fucugauchi, J., Pérez-Cruz, L., Wittmann, A., Arz, J.A., Arenillas, I., Xiao, L., ... and Salguero-Hernandez, E., 2025: Chicxulub central zone structure and stratigraphy—PEMEX exploration drilling program. *Front. Earth Sci.*, **13**, doi: 10.3389/feart.2025.1550746.

安川香澄, 2023: 世界の地中熱ヒートポンプ利用動向と利用先進国における普及の経緯. 日本地熱学会誌, **45**(3), 195-201.

全日本トラック協会, 2025: 日本のトラック輸送産業 現状と課題 2025, https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/yusosangyo2025.pdf (accessed 2025/11/05).