

化石燃料の環境への影響

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-07-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 青木, 伸輔 メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/10291/20277 |

明治大学大学院農学研究科

2018 年度

博士学位請求論文

(要約)

化石燃料の環境への影響

(Influences of Fossil Fuels to Environments)

学位請求者 農学専攻

青木 伸輔

2015年の「国連持続可能な開発サミット」で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された国際目標が、持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）である。「持続可能な開発」は将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発を意味する。SDGsは2001年に策定されたミレニアム開発目標の後継で2016年から2030年までの国際目標であり、持続可能な世界を実現するための17の目標と169のターゲットから構成される。17の目標は相互に関係するとともに、1組織・1国だけでは解決できない課題が多く含まれ、国や組織などを超えて、包摂的にSDGsを達成していくことが求められる。経済成長と人類の生存の基盤となる自然資源の枯渇は今後の人類の発展に対して大きな障害となることから、個別の目標追求だけでなく、持続可能な経済、社会、環境の3つの側面においてバランスが取れた形で達成することが求められる。

多くの環境問題（オゾン層破壊、砂漠化、森林減少、野生生物種減少など）は人類が自然から利用する資源の消費によって引き起こされる。たとえば、環境問題の中でもっとも有名な気候変動は化石燃料の消費と裏返しであり、エネルギー資源の枯渇と表裏一体な問題と言える。化石燃料枯渇の対策としては使用量の節約や利用効率の向上、漏出などによって無駄に失われる量を減らすことも重要である。特に貯蔵施設などからの漏出は環境の汚染にも繋がり、新たな環境問題となる。資源枯渇に対する手立てとしては、将来のためにシェールガスなどの非在来型資源や再生可能エネルギーの開発・利用も必要である。

貯蔵施設からの漏出によって起きる環境問題の1つが土壌汚染である。過去には汚染を「人間の手によって環境に持ち込まれた物質やエネルギーが人々の健康、生活資源や生態系、仕組みや快適性を害する、あるいは環境の正当な利用へ干渉すること」と定義された。汚染物質が化石燃料の1つである石油の場合、発電所や工場だけでなく、生活圏にあるガソリンスタンド等の貯蔵施設からも漏出事故によって土壌汚染が引き起こされる。施設の老朽化に伴ってか、1990年代以降は漏出事故の発生割合は増加している。街中で土壌汚染が起きた場合、我々にとっても身近な問題となる。このため、漏出の早期発見は土壌汚染の範囲拡大を未然に防ぐことにつながる。汚染土壌の浄化に関する研究は数多く報告されてきたが、原位置で汚染物質量を測定する手法に関する研究はまだ少ないのが現状である。可採年数が見積もられている資源にとって、早期発見は重要な課題の1つと言える。不飽和土壌中では降水や地下水位の変動によって水分量が変動することから、単一の物理パラメータで汚染物質の流入を評価することは難しい。そ

ここで、本研究では熱的性質と電氣的性質を同地点で同時に測定可能なサーモ TDR プローブを用いた不飽和土壌中における油分量の推定を試みた。

非在来型ガス資源の1つにガスハイドレートがある。天然に存在するガスハイドレートはしばしば大量の炭化水素ガスを含むことから、次世代のエネルギー資源として期待されている。ガスハイドレートはガス分子と水分子からなる氷状の固体物質であり、低温高压条件でのみ安定して存在できる。自然界では条件を満たす海底や湖底、永久凍土地域の堆積物中に広く分布している。ガスハイドレートはその分解によって引き起こされる地盤強度の不安定化、メタン (CH₄) の放出に伴う環境変化、ガスの湧出現象についても研究が進められている。

ガスハイドレートを産出するための CH₄ は表層海底堆積物での微生物による生成か、堆積物深部での有機物の熱分解から生成される。日本海東縁に発達する表層型ガスハイドレートの賦存域では、しばしば海底から海水中にガスバブルを放出するガスプルームが確認される。ガスプルームを形成するほどガスに富んだ流体が堆積物中を上方へ移動することで堆積物の層構造や海底地盤を乱し、地盤強度が低下することが懸念される。ガスハイドレートを資源として海底下から回収する際には、海底への機器や施設の設置が検討される。現地への機材設置前に地盤特性の把握が必要となるが、現状ではまだ調査例が少ない。また、海域によって堆積速度や底質も異なり、それぞれの海域での調査が必要となる。

海底から噴出する CH₄ の気泡は、ガスハイドレートを生成するのに十分な温度圧力条件のときに海水と反応し、ガスハイドレートの殻を気泡表面に形成する。ガスハイドレート殻は気泡の海水への溶解と、酸化から守ることで、海洋のより浅い水深まで効率的に CH₄ を海底から輸送する役割を担う。しかし、海面下数百メートルでガスハイドレート殻が崩壊することから、海底から噴出する CH₄ の大気濃度への寄与は水深の浅い海域でしか起きないと考えられてきた。しかし、ガスハイドレートの安定領域は基本的に水深（圧力）と水温によって決まるため、海域によって異なる。これまで研究されてきた海域より浅い水深までガスハイドレートの安定領域にある海域では個別の調査を行う必要がある。

本学位論文では、第2章で不飽和土壌中の油分量を測定する方法について、第3章では堆積物中の流体移動による海底表層堆積物強度への影響について、第4章では海底から噴出した CH₄ の大気中濃度への影響について調べた。

第2章ではサーモ TDR 法で測定した比誘電率と体積熱容量から不飽和土壌中での油分量を推定する4つの方法を検討した。供試土はガラスビーズ、豊浦砂、関東ロームである。水だけを混合した試料と軽油だけを混合した試料の測定から、比較的簡易に各較正式と理論式を得ることで不飽和土壌中の油分量を推定することを目指した。土壌中に油がある場合も体積熱容量は De Vries モデルの計算値と実測値がよく一致した。1つの誘電混合モデル (De Loor モデル) と3つの適合関数 (Topp モデル, Langmuir モデル, Logarithm モデル) から比誘電率と体積含水率の関係を得たが、体積熱容量のような理論値と実測値の一致はみられなかった。これは土壌中で増加する軽油の比誘電率がわずかに空気より大きく、バルク比誘電率が汚染土壌で大きくなるためである。わずかなバルク比誘電率の増加が土壌中の水分量の増加と見えるために、体積含水率の理論値と実測値の一致が難しくなった。

体積含油率の推定精度はガラスビーズで最もよく、ついで豊浦砂、関東ロームという順になった。供試土によって精度のよい体積含油率の推定方法は異なったが、適合関数でよい結果を示す傾向があった。比誘電率から体積含水率を求める適合関数の推定精度が体積含油率の推定精度に与える影響を評価するために両者の RMSE (Root Mean Square Error) を比較した。それぞれの供試土において適合関数の RMSE が小さいと、体積含油率の RMSE も小さくなる関係を得た。この結果はより精度の高いバルク比誘電率と体積含水率の較正式を提案できれば、体積含油率の推定精度の向上を期待できることを意味している。サーモ TDR 法による不飽和土壌中での油分量の推定は、増減を捉えることができたことから、今後の精度改良によって多様な土壌での適用が可能なセンサーとなる可能性を示した。

第3章では堆積物深部由来のガス流体によって堆積物強度が影響を受けるのかを調べた。日本海東縁部の2つの海域 (上越沖 (US・JK 海域), 秋田・山形沖の最上トラフ (MT 海域)) で海底下数 m の柱状堆積物を採取し、物理・力学試験および堆積物間隙水の地化学分析を行った。US・JK 海域と MT 海域では力学試験の結果に加え、ガスプルームの有無で示されるガスフラックスの強度、堆積速度、堆積物間隙水の溶存 CH_4 濃度において差がみられ、次のことが考えられた。①ガスプルームが観察された US・JK 海域では採取したすべての堆積物コアで MT 海域より堆積物強度が小さい結果となった。ガスプルームを形成するほどの堆積物中の流体の移動現象は、堆積物中の微細構

造を破壊し、強度の低下を引き起こすことが示唆された。②MT 海域内で堆積速度の遅い南部の堆積物コアが、堆積速度が速い北部の堆積物コアのせん断強度よりもわずかに大きい結果となった。堆積速度が速いと堆積物中の間隙水の移動に時間がかかるため、圧密に時間を要するためだと考えられた。③間隙水溶存ガス濃度と堆積物強度の比較から、US・JK 海域ではガスプルームによる原位置での強度低下が示唆された。溶存ガスがコア回収時の間隙水圧減少から、気泡化・膨張し、堆積物の構造を乱すことで強度の低下を招くことがこれまで指摘されてきたが、原位置で強度の低下が引き起こされていると考えられた。

第 4 章では洋上での大気・溶存 CH₄ の連続測定とガスプルームの観測から、海底から噴出する CH₄ の大気濃度への影響について調査した。大気・溶存 CH₄ の経時変化をみると、常に溶存濃度が大気より高く、CH₄ 同位体比 ($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$) は小さい傾向を示した。高い大気 CH₄ 濃度を観測した際には大気の $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ が小さくなったことから、高濃度 CH₄ は海洋由来であることが示唆された。すべてのガスプルームサイトで大気 CH₄ の高濃度が観測されたわけではないが、網走沖と最上トラフではガスプルームの近辺で高濃度が観測された。CH₄ フラックスはほとんどの観測時で小さかったが、大気濃度が高いときに正負にかかわらず、大きくなる傾向が認められた。これは海洋から大気に放出されて CH₄ が大気中に増えたときには、大気から海洋に CH₄ が溶けていく量も増加することを示していると考えられた。本研究で観測した高い大気 CH₄ 濃度は既往の研究で報告されてきた水深よりも深い海域で観測され、高濃度観測地点の近くを再度通過しても必ず高濃度が観測されるわけではなかった。水温プロファイルから見積もられるガスハイドレートの安定領域の上限 (TGHS : Top of Gas Hydrate Stability) は、ガスプルームが観測される他の海域に比べ、日本周辺海域では比較的海面近くに位置した。これは日本近海の海底から噴出する CH₄ はガスハイドレート殻をまとった状態で、より海洋の浅い場所まで運ばれやすい条件にあることを意味する。以上のことから、海底からの CH₄ 噴出が大気濃度に寄与するかという問題は、水深だけでなく、ガスハイドレートの安定上限の水深によっても限定され、気象や海象の環境が時間によって変化することから時間によっても限定されることがわかった。

資源の利用と環境への影響は表裏一体であり、化石燃料の環境中の移動は人の手にしろ、自然にしろ、その環境を不適当な状態にする可能性をはらむ。不適当な状態を把握

することは環境への影響と資源の無駄な消費を低減することにつながるだろう。経済、社会、環境の3つのバランスが取れた持続可能な開発を目指すためには現在よりも環境負荷を低減し、自然状態を回復する手立ても打つ必要がある。本研究の成果は石油類による土壌汚染の際には早期の発見と効率のよい浄化へ向けた重要な知見であると考えられる。非在来型の資源開発に際しては、地盤強度の事前調査の重要性を示し、現地環境によっては海底から噴出する CH_4 が大気に放出されることを示した。