

陸水圏の硫酸汚染問題に関する国際連携研究

国際環境工学部 環境生命工学科 教授 原口 昭

1. 陸水圏の硫酸汚染問題

パイライト(黄鉄鉱)の酸化に伴って生成する硫酸は、酸性硫酸塩土壌や陸水環境の強酸性化など、世界各地において土壌・陸水環境問題を引き起こしている。パイライトは、海洋と陸域の境界のマングローブや塩性沼沢地などの還元的な土壌中で、主に陸域から供給される鉄(酸化鉄)と海水中のイオウ(硫酸イオン)から生成する硫化鉄(FeS_2)が結晶となった金色の輝きを持つ鉱物である。海洋性の泥炭地の多くはパイライトを含む鉱物層の上に泥炭層が発達しているが、泥炭層が厚く堆積している状態ではパイライトは安定である。泥炭層が消失すると大気から供給される酸素によりパイライトが微生物反応で酸化され、硫酸を生成して環境の強酸性化を引き起こす。このような硫酸汚染の問題は、泥炭地に限らず、泥炭から形成される褐炭や石炭の利用に伴って発生する広域的な地域環境問題であるが、世界各地で発生している問題であるため、地球環境問題の一つとしてとらえることができる。

2. 热帯泥炭地域の硫酸汚染問題

東南アジアの熱帯地域、とくにインドネシアやマレーシアに分布する泥炭地の多くは、パイライトを含む堆積物の上に泥炭層が発達して形成されたものである。天然の泥炭地には湿地林が形成され、泥炭層の厚さは5-15mに達する。パイライトは還元的な環境下では安定であるため、泥炭層が厚く堆積している泥炭湿地林では硫酸の生成は起こらない。しかし、天然の湿地林を排水し、農地へと利用転換すると、泥炭の乾燥化が進み、泥炭の酸化分解が進むとともに、泥炭火災が発生しやすくなり、泥炭層が急速に薄くなる(写真-1)。泥炭層が薄くなると、大気から泥炭層下の鉱物質層に酸素が拡散し、パイライトの酸化が促される。パイライトの酸化で生成した硫酸は、農地の土壌を強酸性化して酸性硫酸塩土壌を生成するとともに、土壌から陸水圏に硫酸が輸送されて陸水環境の強酸性化を引き起こす。パイライトは、海洋に近い泥炭地に多く分布しているため、このような地域では河川、とくに農地周辺の水路や運河の水が強酸性化する。この地域の住民は酸性化した河川水を生活に利用するため、健康への影響が懸念され

また、農地土壤が酸性



写真-1
インドネシア中央カリマンタンの泥炭地開発



写真-2
マレーシア北セランゴーの廃棄物埋立地

硫酸塩土壌になると、作物の生産が困難になり、農民は収入を失い、生活が困難になる。経済的に困窮した人々は、たとえば森林の奥地に入って違法伐採を行うようになるが、違法伐採による森林破壊やこれらの人々の火の不始末による森林火災の発生が問題となっている。あるいは河川で違法な金採掘を行う人々も多い。河川での金採掘には水銀を使うため、水銀の環境中への拡散が問題となっている。現に、インドネシア中央カリマンタンの河川流域には水俣病が発生しており、汚染の広がりが懸念される。

マレーシアの泥炭湿地地域でもパイライトの酸化に伴う陸水環境の酸性化が確認されているが、このような場所にある廃棄物の埋立地では、硫酸の混入による重金属類の溶出とその陸水環境への拡散が懸念されている。しかし、陸水環境の解析はなされておらず、早急に環境モニタリング体制を確立する必要がある(写真-2)。

3. フィンランドの泥炭採掘に伴う硫酸汚染問題

フィンランドには広く泥炭地が分布し、燃料用の泥炭の採掘が1900年代初期より随所で行われている。泥炭採掘に伴う硫酸汚染問題はこれまでフィンランドではほとんど報告がなかったが、2010年頃からフィンランド東部、ヨエンヌー近郊のユカヨキ川流域で広域的な硫酸汚染問題が発生し、2013年よりその実態調査が進められている(写真-3)。泥炭採掘では、泥炭層のすべてを採掘するわけではないので、泥炭層の下層にパイライトを含む鉱物層があっても、硫酸の生成には至らないことが多いが、もともとの泥炭層が薄い場合や、また泥炭層の下を流れる基底流がある場合など、採掘後の時間の経過に伴って硫酸が生成する危険性が高い。硫酸汚染のほか、採掘跡地の植生修復も含めて、生態系のリハビリテーションの手法について研究を進める必要がある。



写真-3 フィンランド東部の泥炭採掘地

4. 褐炭採掘地の硫酸汚染問題

ドイツでは、東部のラウジッツ丘陵を中心に、褐炭の露天掘りが行われている。幅、深さがともに100-150m、延長は地形に応じて可変であるが15-20kmにも及ぶ溝を掘り、溝を横断するブリッジを渡して、このブリッジを延長方向に往復させながら未掘削面を掘削する。褐炭部分は採掘して利用するが、褐炭層間の鉱物質層は、ブリッジに設置したベルトコンベアード溝の反対側に運び、ほぼもとの深さに位置するように溝の埋め戻しを行う(写真-4)。ブリッジの往復で、未掘削面の褐炭が採掘され、層間の鉱物層が既掘削面の埋め戻しに使われるため、ブリッジは溝の延長方向に対し

て垂直な方向に少しづつ移動しつつ往復し、採掘地の褐炭をくまなく採掘する。褐炭層の間にある鉱物層は間氷期に形成された湖底堆積物であり、この上に形成された泥炭層がふたたび氷河に覆われ、続く間氷期に形成された次の湖底堆積物層下に埋没した泥炭層が現在褐炭層として存在している。ラウジッツ丘陵では、間氷期の湖底堆積物層にパイライトが含まれるため、褐炭採掘後に埋め戻された土地の土壌はパイライトの酸化で生成した硫酸で強酸性化している。酸性硫酸塩土壌の植生回復は困難であり、生態系修復が褐炭採掘跡地の問題となっている。

ドイツにおける褐炭採掘は、1950年代頃までは、手掘りで採掘を行っており、褐炭層間の鉱物層部分をボタ山のように積み上げていたため、この頃に採掘がおこなわれた地域には、人工的な凹凸地形が形成されている。凹地にはしだいに水がたまり、湖沼が形成されるが、ここには凹地からパイライトが輸送されるため、湖沼は強酸性化する(写真-5)。このような強酸性湖は現在でも多数存在し、そのリハビリテーションが課題となっている。



写真-4
ドイツ東部ラウジッツ地方の褐炭露天掘り



写真-5
ドイツ東部ラウジッツ地方の褐炭露天掘り跡の
強酸性湖

5. 石炭採掘に伴う硫酸汚染問題

硫酸汚染問題は石炭採掘地でも見られる。北部九州地域の炭鉱跡地では、際立った硫酸汚染問題は顕在化していないが、河川水質を詳細に調べると、流域に旧炭鉱が多い遠賀川では、他の河川と比較して河川水中の硫酸イオンが相対的に高い値を示す。このことから、炭鉱の河川水質への影響が顕著であることがわかる。炭鉱の閉山後に坑内に水が蓄積し、これが満水になって坑口などから流出する抗排水は、地表を経由して河川に流入するが、地下水を経由しての輸送もあり、硫酸の輸送過程の実態を把握することは難しい(写真-6)。遠賀川における硫酸濃度の分布から、硫酸は面的汚染源として河川水に流入している傾向が見られ、その経路の特定と水質改善技術の開発が必要である。鞍手町泉水の抗排水は酸性化した排水であり、鉄をはじめ亜鉛やマンガンなどの重金属が含まれるが、水路の底質に形成されているユーグレナのバイオフィルムは重金属除去の機能を持ち、水質改善への利用が期待されるため、ユーグレナを利用した抗排水の水質改善技術の研究が進められている。



写真-6 福岡県鞍手町泉水の抗排水

6. 硫酸汚染問題に関する国際連携研究の必要性

熱帯泥炭地域の硫酸汚染問題に関しては、1997年より(本学では2001年より)インドネシア共和国パランカラヤ大学、ボゴール農業大学、インドネシア科学院、またマレーシア共和国プトラ大学、マレーシア教育大学(スルタン・イドリス教育大学)、マレーシア森林研究所と連携研究を行ってきた。また、フィンランド共和国東フィンランド大学とは、2005年以降北方泥炭地に関する共同研究を行ってきたが、2014年からは泥炭採掘地の硫酸汚染問題に関する連携研究を行っている。2005年にフィンランドを訪問した際に、泥炭地の研究者らと硫酸汚染の危険性について議論し、東フィンランド大学の講義でも硫酸汚染について紹介したが、その時にはフィンランドでの硫酸汚染発生の危険性はないとの認識であった。その後にフィンランドでも硫酸汚染が現実の問題として発生し、硫酸汚染の予知の必要性について相互の認識が深まった。褐炭採掘地の問題に関しては、2000年より(本学では2001年より)ドイツ連邦共和国ブランデンブルク工科大学と、主に強酸性湖沼の植生復元に関する連携研究を行ってきた。このように、国際的な問題となっている硫酸汚染問題に関しては、各地域での研究成果を統合し、総括的に問題に対処する必要があり、その点で国際連携は不可欠である。2015年度は、これらの国際連携をさらに強化するため、インドネシア東カリマンタン州ムラワルマン大学気候変動研究所を訪れ、現地視察と共に連携研究の推進のための討論を行った。この地域には硫酸汚染問題は見られないものの、泥炭地の開発に伴う硫酸汚染の発生が懸念されるとともに、大規模な石炭(褐炭)の採掘地が流域にあり、ここからの硫酸流出が懸念される。連携研究では、これまでの研究成果を相互に総括し、硫酸汚染の予知と未然防止を主なテーマとして研究を進める予定であるが、この連携研究は、北部九州地域の旧炭鉱地域で今後顕在化することが予想される硫酸汚染問題を未然に防止する意味でも重要な連携研究であると考える。



写真-7
インドネシア東カリマンタンの泥炭湿地林と
火災の様子

Profile

原口 昭

Akira Haraguchi

【連絡先】 akhgc@kitakyu-u.ac.jp

役職／教授

学位／博士(理学)

学位授与機関／京都大学

■研究分野・専門 生態学、植物学、環境化学

■主要研究テーマ 泥炭地の生態系解析

泥炭形成植物の生態特性の解明

■P R・その他 地球環境調節系としても重要な泥炭地の機能を正しく評価し、泥炭地生態系を修復、保全、活用する方法について検討しています。また、泥炭を形成する植物の機能や生態特性を明らかにすることで、泥炭形成の促進と、新たな泥炭地の形成につながる研究を進めています。