

第30章 環境と人間

地球誕生の45億年前から、わずか数百年前まで、地球は自然界の法則のみで進化してきました。しかし、ここにきて、人類は地球環境を大きく変化させる大きな要因となりました。ここでは、人間の活動と環境の関係を見ていきましょう。



鉱物資源

鉱物資源は人類にとって非常に重要です。青銅器時代など、初期の文明にはその用いた金属の名前がつけられています。また、ローマ時代は、イタリアのアペニの山脈から、銅、亜鉛などが産出され、文明反映の基を築きました。また、日本の戦国時代では石見銀山の確保が長期的な戦費の確保に非常に重要であり、信長方の優勢を決定的な者にしました。佐渡の金山は安土桃山時代から江戸初期の繁栄をもたらす要因でもありました。このように、人類は金属の利用により文明、文化を育ててきました。

鉱物資源は、金属鉱石と非金属鉱石とに分けられます。

通常鉱石とだけ言った場合、金属鉱石をさすのが普通です。たとえば、鉄鉱石や金の鉱石などです。現代社会の電気製品には銅が欠かせません。たとえばエアコンなどの製造には大量の銅を消費します。また、プラチナなどは、貴金属としても、精密機械の部品の原材料としても重要です。

鉱山のできる理由は？

通常の鉱石には金、銀などがごく微量にしか含まれていません。たとえば地殻には平均 0.0000002% の金しか含まれていません。商業的に採算が取れる金鉱石としては 0.0008% と通常の 4000 倍もの濃度が必要となります。このように、金属鉱石には通常の数倍から 10 万倍以上の濃度で特定の金属が含まれています。このような濃縮はどのようにして起こったのでしょうか？

特定の鉱物の濃縮には様々なメカニズムがありますが、以下のように水がかかわったメカニズムがあります。

金は、原子番号が大きく、分子が重いことから水中で金を含んだ砂の中では一番先に沈みます。したがって、川の流れが緩やかなところができるとその場所に金が堆積していきます。地球規模の長い年月の間には大量にたまることになり、砂のような細かい鉱物が大量にたまった砂鉱が生まれます。

アルミニウムは、地中には 8 パーセントほど含まれますが、水によって他の分子が浸食されて残されると 24 パーセント以上の高濃度のアルミニウム鉱となり、採算が取れるボーキサイトになります。

このように、金やアルミニウムの濃縮には水が関係しているのです。



アラスカの金鉱

金属濃度が高くなるメカニズム

前節で見たメカニズム以外にも次のようなものがあります。

プレート境界では、海水を含んで柔らかくなった状態の岩石は分子間結合が弱くなり、溶けやすくなります。そのため地殻の石がとけてマグマだまりという解けた岩石のたまりができます。マグマが上昇していくと冷えていきます。このとき分子間力の大きな金属から結晶かしていきます。つまり、物質ごとに融点の高い鉱物から先に結晶となり、下の方には融点が高い鉱物が、上の方には融点の低い鉱物が結晶となります。このため場所ごとに異なる鉱石ができていきます。クロムやプラチナの鉱石はこのようにしてできたと考えられています。

一方、多くの鉱石の生成には次のように高温の水が関係しています。水は、溶けたマグマ中にも多くふくまれていますし、地下水が地殻にしみこみ火山地帯で非常に高温の水ができます。また、中央海嶺における火山帯にももちろん高温の水があります。水分子自身にも金属を溶かす力がありますが、食塩などが水に溶けるとナトリウムイオンや塩素イオンがあり、金属イオンを引きつける力が増加します。そのため、海水などのようにイオンを豊富に含んだ水には、金属が非常に良く溶けます。したがって、地殻にしみこんだ熱い水は、金属の非常によい溶媒なのです。このように様々な鉱石を通り集まった水には高濃度の金属イオンが含まれます。そしてこれらのミネラルを含んだ水が集まった地点で水が蒸発していくと後には鉱石が残るのです。実際に銅の鉱山は現在や過去のプレート境界面に多く見られます。



ニューメキシコの銅山

また、海底には中央海嶺での同様の現象のおかげで、鉱物資源が多く眠っています。しかし、海底から引き上げるコストなどを考えると採算が合わないところが多いのです。

ベースメタルとレアメタル

鉄、銅、アルミニウムなどの流通量の比較的多いメタルを**ベースメタル**と言い、金、銀などの貴金属以外の、流通量の少ない金属を**レアメタル**と言います。主に産業用に使われており、元々地殻に含まれる含有量が少ないことから鉱山も限られており、レアメタルの確保は大きな問題となっています。また、ベースメタルであっても中国などの産業の拡大と共に、ベースメタルの価格が高騰する場面が多く見られるようになってきました。長期的に見ても安定的な金属の確保は産業界にとって大きな問題となっていくでしょう。

非金属鉱石は以外に重要

非金属鉱石としては、砂や砂利、岩塩などがあります。一見金鉱石などの産出の方が対価が大きいのにも感じますがそうでもありません。一般に、砂利などの産出による対価の総額は、金などの算出による対価総額を上回ります。砂利や砂、主に清流や過去あった氷河などによって削られてできたものです。私たちの身の回りにはコンクリートでできた建物や道路が多いですね。コンクリートは、砂利や砂をセメントと混合して作られます。セメントは石灰石と粘土を熱して混ぜ合わせるにより作られます。イオン結合しているコンクリートは圧縮される力には強いのですが、ゆがみなどに対しては弱いのです。このため、このゆがみを補強するために鉄骨を入れます。このような鉄



コンクリートを流し込む前の鉄筋

筋コンクリートは、ビルなどに使われ現代社会の建造物の中核をなしていると言えるでしょう。

リン酸

リンは、ATP など生体に必須の成分であり、このため植物の生育にも欠かせないものです。リン酸はすべての鉱物に含まれており、山の岩石に含まれるリン酸が水と共に流れ落ち、海の底に堆積し、地殻の移動でまた山に戻るという大変長期間のサイクルをなします。これをリン酸サイクルと言います。しかし、農業用としてはリン酸が欠乏するため肥料としてリン酸は必須です。このリン酸塩は鉱物の一つで、世界の農業を支える重要な鉱物の一つです。

鉱物資源の問題点

鉱物資源は、世界に散らばっていますが、その散らばり方は極めて不平等です。たとえば、金の $1/3$ は南アフリカで産出されていますし、モリブデンの $2/3$ はアメリカ合衆国で産出されます。アルミニウムは、オーストラリアとギニアで半数以上が産出されます。アフリカのザンビアやコンゴでコバルトの総産出量の半分以上となります。そして日本にはこれらのほとんどの資源がないのです。日本、USA、ドイツなど先進国がこれらの消費者であり、中国などは資源の生産者でした。しかし、中国、インドの産業化が進み、このバランスが崩れ、鉱物資源は確保は国際的な問題とも言えるでしょう。

リン鉱石は、アメリカのフロリダ州や中国で産出されていますが、アメリカでは資源保護を理由に輸出を禁止しています。また、中東諸国が農業を投資対象とし始めたため、リン酸塩の価格は高騰しがちになってきました。また数百年単位では長期的に見て、リンは限られた資源と言え、リン酸確保が深刻な問題となる日がくるかもしれません。

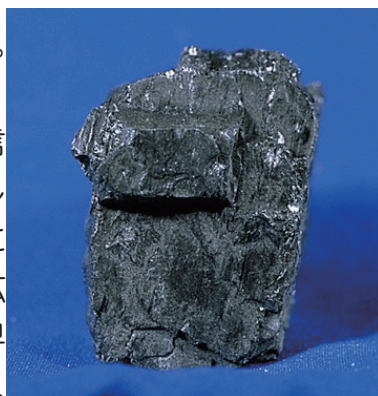
エネルギー資源

石炭、石油、天然ガスは、過去の植物や動物の堆積によって形成されたので、**化石燃料**と呼ばれます。化石燃料は、再生可能でもなく、燃やしてしまうと二酸化炭素と水になりますので、燃料としてはリサイクルできないものです。したがって、いずれはこの地球から姿を消す日がくるエネルギー資源です。ここではその性質を見ていきましょう。

石炭

石炭は、炭素を主成分とする石であり、掘るのが簡単で、石油や天然ガスと違い、加工せずに燃やすことができます。このため人類は古くから石炭を利用してきました。

3億6千万年前から2億9千万年くらいまでの石炭紀と言われる時代や白亜紀にかけて、世界中で石炭が形成されました。通常の状態では、植物などが死ぬとそれはバクテリアによって分解されて何も残りません。しかし、暖かい沼地が広がり水中に酸素が欠乏した状態では、植物の生育と死滅が早いサイクルでおこるので、植物の死骸は新しい死骸の下に入り、



酸素の欠乏した状態になります。そのため、バクテリアによる分解は停止し、褐色のピートと呼ばれる繊維質のものとなります。生物は主に炭素、水素、酸素でできていることを見ましたね。そのためピートの主成分も炭素、水素、酸素そしてであり、そして地中のため多くの水を含みます。堆積が進み圧力がかかり、地中で熱せられると、水素、酸素などは気体となり分離します。そして、主に炭素だけが残された固まりとなっていったのです。現在でもこうした形成が進んでいる地域がありますが、こうした石炭形成には非常に長い時間がかかり、消費量を上回ることはないでしょう。

石炭の燃焼には問題もあります。生体は硫黄も含むため、石炭には硫黄分が含まれます。そのためそのまま燃やすと大気汚染を引き起こします。現在では硫黄分を取り除く脱硫の技術が進んでいますが、コストがかかるため、発展途上国ではあまり導入されていません。

石炭は比較的世界中に分布し、新たな鉱山の発見も続いているので、正確な推定は困難ですが、あと数百年は枯渇しないという推定もあります。ただし、石炭の消費量は、発展途上国を中心に年々増加してきており、長期的には注意が必要です。

石油

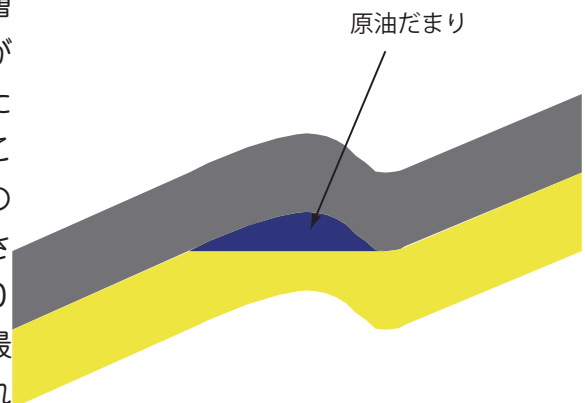
石油は、様々な炭化水素の集まりであり、プロパン、ガソリンなど重要な燃料であるばかりでなく、プラスチックや合成繊維などの原料です。このため、石油は私たちの生活に欠かせないものです。

石油の形成は次のようにして起こります。朽ちた植物が川の流れにのって、大きな池や運ばれていき、比較的急速に有機物が堆積していきます。また、海では動植物が海底に堆積していきます。数百万



年以上かかってその堆積した層は数キロメートル以上となり、その圧力と熱で 50℃から 100℃くらいになると、バクテリアの助けもあって炭化水素へと分解されます。このようにしてできた石油は、圧力から逃れるため上昇していき、そのままでは地表にしみ出てきてしまい、そこでバクテリアに分解されて、水と二酸化炭素になってしまいます。しかし、偶然にもその層のう上に沼の土砂が堆積し、さらにまた石灰石などで圧縮されたとし

ましよう。すると、土砂からできた岩石は石油を通さず、ふたをした形になります。しかしこれだけでもいけません。たとえ地層でふたをされても通常の断層は、地殻の移動により斜めになっているので、石油が上昇していつてしまいます。しかし、この地層が図のように何らかのきっかけで折れ曲がったり、断層



ができるなどしたりして、原油をためる構造ができることがあります。するとそこに原油がたまってきたまとなり現在まで存在するのです。このような岩を油頁岩と呼びます。最もその後の新たな地殻変化で、こうした原油だまりが壊されることもあります。現在発見されている 60

パーセントの原油だまりは新生代など比較的最近に作られたものであり、このことは逆にそれ以前の原油だまりは壊れてしまったと解釈できます。このように、原油だまりが安定して作られにくいことが、原油産出国が偏っている原因となっているのです。

また、カナダのアルバータ州では、液体の形の原油ではなく、粘度の高い原油を含む砂が産出されます。これを**オイルサンド**と言います。オイルサンドは、比較的地上に近い砂状のところにトラップされた後、バクテリアにより分子量の小さい成分が分解され、分子量の多いどろどろした原油のみが残されたものです。原油よりも石油の分離のコストがかかりますが、原油が高価なときには採算があう状態になります。

現在、地球上のあちこちに、ケロゲンと呼ばれる有機物をためた油頁岩が多く見られます。この油頁岩を地下に埋めて、水を加えて熱くすると石油に変わります。アメリカ国内だけでも、もしアメリカ内のケロゲンすべてを石油に変えたとしたら、現在の消費量で 300 年以上も使い続けることができます。現在のテクノロジーでは莫大なコストがかかり実現困難ですが、数百年後に石油が枯渇してきたら、やがてこの資源を生かす日がくるでしょう。

天然ガス

原油が地中で100度以上に熱せられる環境にあると、炭化水素は熱で分解され、メタンとなり天然ガスが発生します。このため多くの原油採掘場所では天然ガスも産出されます。また、元々あった原油がすべて蒸発して、この天然ガスという気体だけが残された場所も多く存在します。そのため、石油に比べて天然ガスは世界中で産出されます。たとえば、日本でも天然ガスは産出されます。天然ガスは、石油や石炭のように硫黄を含まないので比較的クリーンな燃料と言えます。

水力発電

火力発電や原子力発電は、熱機関によるタービンで発電機を回します。このため、電力としてではなく、熱として大気中にもエネルギーが放出されます。それに対して水力発電は、水の重力的エネルギーを電氣的エネルギーに変えるので原理的にあまり大気中に熱を放出せず非常に高い効率的な発電が行えます。世界全体でも15パーセント以上の電力は水力発電によるものです。しかし、多くの国で水力発電は増加していません。それは、川をせき止めることで、生態系の破壊が起こるからです。たとえば、鮭などの回遊魚の遡上は、周辺の動物たちの冬を越すえさともなり、全体の生態系を支えていることがあります。過去にはこうした生態系の破壊で思いがけない結果をもたらすことがありました。



風力発電

風を利用してプロペラを回して発電する風力発電は、二酸化炭素の排出がないクリーンなエネルギーであり、世界中で普及しています。これは、風力発電は構造が簡単で、新規に火力発電所を作るよりも安価に設置できるからです。ドイツなどでは電力全体の数パーセントを風力は発電でまかなっています。しかし、風の強さは一定ではないので安定した電力供給が困難です。そのため、すべての電力を風力に頼ることはできません。

地熱発電

マグマだまりから吹き出す水蒸気でタービンを回して発電するのが地熱発電です。また、温泉の水をくみ出してその熱を利用して発電することもできます。地熱発電は燃料として新たに消費しないので、再生可能エネルギーの一つです。ただし、熱い温泉のある場所ということで設置できる場所が限られるのが難点です。

太陽エネルギー

太陽光発電は、現在普及が急ピッチで進められています。降り注ぐ太陽からの光を電気にする太陽電池を設置するだけでよいので、家屋やビルの屋上や側面につけることで容易に発電することができます。現在の問題としては太陽電池の効率がまだ改良の余地があることと、その価格です。また、その耐久性に不確実なところがあるので、初期投資のコストを各家庭で回収できるかどうか不確実です。

バイオエネルギー

生物に蓄えられたエネルギー（バイオマス）を利用可能なエネルギーに変換するのがバイオエネルギーです。現在では、サトウキビが主に用いられています。サトウキビはバイオマス全体の30パーセントをサッカロース（蔗糖）として蓄えています。このサッカロースからエタノールを作り出し、ガソリンなどの代替エネルギーとするのです。



このようなバイオエネルギーの利用は、化石燃料からの脱却という意味で非常に意味のあることでしょう。しかし、一方では、生産するのは農家であるので食糧問題にもなります。トウモロコシなどからバイオエネルギー用のサトウキビへの転換は、家畜などで必要なトウモロコシの価格高騰の原因ともなり、それに派生して社会活動の多く影響が波及していく恐れがあります。

原子力発電

原子力発電については、第14章で見ましたがここでは、社会的な問題を中心に見ていきましょう。

原子力発電は、ウラン核分裂によるエネルギーで沸騰した水蒸気によりタービンを回して発電します。取り出す電力に換算してコストは火力発電よりも安価であるため、世界的に急速に普及しました。しかし、核廃棄物処理の問題は解決していません。核廃棄物はかつて人類が経験したことのない1万年以上もの間、地上に影響なく保管しておかなければいけないのです。アメリカなどでは、保管に不備があり放射能漏れを起こした例もあります。いったいどこを最終的処分場とするかは、地震などの地殻変動が多い日本においては深刻な問題です。

また、原子炉の稼働寿命を終えた後の処理問題が残っています。現在、原子力発電分野で専攻していた、フランスなどでは寿命を終えた原子炉が多数生まれています。これらを解体するのに莫大なコストがかかることがわかってきました。そのため、こうした費用を加えて算定した場合、原子力発電は本当に安価であるのかが疑問視されてきました。特に、日本においては解体技術の確立のためには莫大な費用が必要となるでしょう。今後深刻になってくるこうした問題はありますが、化石燃料の代替エネルギーとしては当面原子力発電に頼らざるをえないでしょう。

生化学的循環への人間の影響

長い間、生化学的循環は比較的バランスが取れていました。しかし、現在では人間の活動が地球規模で自然環境に影響を及ぼすことになってきました。

炭素循環は、1850 年頃からの産業革命により、石炭などの化石燃料の燃焼が急速に進み、空気中の二酸化炭素の量が上昇しています。多くの研究では、この二酸化炭素の増加により地球温暖化が進んでいる可能性が非常に高いことが指摘されています。地球温暖化により氷河が溶け、海水面の上昇が起こるばかりでなく、異常気象の率が急速に高まり、世界中で多大な経済的被害が起こることが懸念されています。

人間の活動は、窒素循環にも大きな変化を与えています。20 世紀になって窒素肥料が開発されると、人工的窒素固定された窒素の量は、自然界で自然に行われる量とほぼ等しく、窒素循環を倍増させました。肥料に含まれる窒素分の多くは、実際に植物の生育に使われることなく、川に流れ込み、湖や海に流れていきます。そこで藻が大量発生し、藻が死滅するとそれを分解するバクテリアが酸素を大量に消費し、酸素欠乏状態を引き起こします。このために多くの魚が死に絶えることになります。全世界で150以上の海岸線で酸素欠乏状態を作っているのが確認されています。また、窒素分は地下水にまで流れ込む場合があります。窒素分は特に幼児や子供に有害で、健康被害を引き起こします。

窒素循環を変えるもう一つの原因が、自動車によって引き起こされます。空気中の窒素分子は安定で通常は反応しませんが、エンジンなどの高温、高圧の元では酸化され、窒素酸化物が生成されます。窒素酸化物は、光化学スモッグを作り、健康被害を作るほか、水と反応し酸となり、酸性雨となって地上に降り注がれます。

人類は、リン酸循環にも影響を及ぼしています。やはり肥料によるリン酸が川に流れ込むため、湖や海の富栄養化を引き起こします。

また、石炭の燃焼によって大気中に多量の硫黄分が放出され、酸性雨の原因となっています。石炭から硫黄を取り除く、脱硫装置は発展途上国では普及が進んでいません。

このように、人類は今や地球規模で自然界の秩序そのものを変えていっており、その問題解決は大きな問題となっています。

環境と人間

生態系は非常に複雑な系です。そのため、過去の現象の説明やこれからの予測が、再現可能な実験や観測に基づいているかどうかは不明です。また、生態系は私たちも生物の一員であり、環境や食料に大きく左右される存在です。このため、環境の問題とはサイエンスと人文科学の中間的な側面があります。また生物保護は宗教や道徳とも結びついています。人口の増加は地球環境に大きな影響をもたらしてきました。このため、人間の存在と生態系の存在とは不可分なことなのです。この意味で環境の科学とは、再現可能な純粋なサイエンスと、人間社会の現象との複合した学問だとも言えるでしょう。また環境と人間の抱える問題は、人間と自然界との共存の問題ではありますが、対立する要素も多く、多くの問題のに関して確実な正解はないのかもしれません。

しかし、自然界と人類の叡智を振り返ってみると、これからもサイエンスは発展し続けることがわかります。そして、人間の心の問題も含めて、いつか人間にかかわる領域も再現可能なサイエンスと呼ぶことができる日がくるかもしれませんね。



上海にある孔子の像

