

## 2. 応用地質学の役割

応用地質学 (Applied Geology) は、地質学 (地球科学) の知識を応用して自然の応答を予測する学問で、資源地質学、水理地質学、防災地質学、土木地質学、環境地質学など、扱う対象によって分類されています。大事なことは、地球科学的手法で地盤を中心とする自然の状態を明らかにし、工学で扱える単元に分け、それぞれの工学的性質を明らかにすることです。

この作業を行う上で欠かせないのは、対象となる地質の成り立ちをつかむことです。このことによって、工学的に同一のものとして扱える地質体の範囲 (工学的単元) を明確にすることができますし、工学的単元の差異を説明しやすくなります。

例えば、第四紀の地質では「洪積層」と「沖積層」とは、その工学性が異なっていて多くの場合「洪積層」は支持地盤となります。「沖積層」では土の性質が強く土粒子の骨格構造と間隙水が荷重を分担しています。これに対して、「洪積層」では間隙率が減少し土粒子の骨格構造が荷重を受け持っていて一軸圧縮強度が増加します。

「洪積層」が形成された時代 (更新世) の末期 (約 12 万年前以降) は温暖期から寒冷期に向かう時代で、海水面が少なくとも 90m は低下しました。つまり、現在地表近くに分布する地盤の中の水が抜けやすい条件にさらされたわけです。これに対して「沖積層」は、寒冷期が終わり低下した海面が上昇する時代に堆積したものですから、水に飽和されている状態です。もちろん、これらの堆積物が形成された後の経過時間の長さの影響もあります。このような堆積時の環境とその後の環境の違いが工学性に現れていると考えられます。

堆積岩のように続成作用を受ける地質は、時間経過の影響を受けます。ですから、調査対象としている地質がいつの時代に形成されたのか、どのような構造運動を受けてきたのかと言ったことも地盤の工学性を検討する上で重要です。

第四紀の更新世と完新世には時間的断絶があるわけではありません。現在、更新世と完新世の境界は、西暦 2,000 年を基準にして、11,700 年前 (11,784 年前) とされています。

最終氷期は、約 2 万年前頃に最寒冷期となり、その後、気候は温暖化し始めます。1.5 万年前頃から急激に暖かくなりますが、1.3 万年前頃から 1.15 万年前頃に急激な気温の低下が起こります。これをヤンガー・ドリアス期と呼びます。例えば、グリーンランドの氷のコアでは 1.29 万年前から 1.15 万年前に酸素同位体比が 3‰程度急激に低下し、その後急激に上昇します。このヤンガー・ドリアス期の終わりが地質時代としての完新世の始まりです。この年代は、グリーンランドの氷床コアの深度 1492.45m (掘削基地 ノース・グリッブ:NGRIP) が標識地となっています。

下に示した論文に境界部の氷のコアの写真が載っています。インターネットで見ることができます。

Walker, M., et al (2009) Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core and selected auxiliary records. JOURNAL OF QUATERNARY SCIENCE 24(1), 3-17.

**\*注 1) 地質年代の表示:** 地質年代を「〇〇年前」と言う場合、「〇〇cal. yr BP」と表記します。cal. はカレンダー (calendar) の略で「暦年」と言います。

**\*注 2) 放射性炭素年代:** 天然に存在する炭素は、安定同位体である  $^{12}\text{C}$  (炭素 12) と  $^{13}\text{C}$  (炭素 13)、放射性同位体である  $^{14}\text{C}$  (炭素 14) があります。 $^{14}\text{C}$  の半減期 (5,568 年: 実際の  $^{14}\text{C}$  の半減期は、現在 5,730 年とされています) を利用して  $^{12}\text{C}$  との比率から炭素を含む資料の年代を測定するのが放射性炭素年代測定法です。しかし、大気中の  $^{14}\text{C}$  の濃度が経年変化するため、これを補正して暦年代 (暦での年代) を求める必要があります。この補正は年代年輪法によって求められた暦年代を基準にして行なわれます。

例えば、紀元前 5,000 年頃の大気中の  $^{14}\text{C}$  濃度は現在よりも 10% 高く一つまり、 $^{14}\text{C}$  の壊変が進んでいない状態一、暦年代補正をしない  $^{14}\text{C}$  年代は約 800 年も若い年代値となると言われています。

\* 松浦秀次・上杉 陽・藁科哲男 編 (1999) 考古学と年代測定学・地球科学. 31p.

\* 注 3) BP あるいは B.P. : Before Present の略. 核実験の影響の少ない西暦 1950 年を基準とします. ただし, 完新世の境界年代 11,700 cal yr b2k は, 西暦 2000 年から暦年スケールで遡及した年数です.

\* 注 4) 氷床コア掘削地点の略号

GISP2 : Greenland Ice Sheet Project 2

GRIP : GRenland Ice-core Project

EPICA : European Project for Ice Coring in the Antarctic

\* 注 5) 最新の地質年代表の注意点 : これについては, 日本地質学会や日本第四紀学会の次のサイトが参考になります.

<<http://www.geosociety.jp/faq/content0322.html>> (日本地質学会のサイト)

<<http://wwwsoc.nii.ac.jp/qr/news/teigi09.html#090918>> (日本第四紀学会のサイト)

## 地震学と応用地質学

地震学自体は地球上で起こっている破壊現象の一つである地震の発生機構を研究する分野です. また, 地球深部の構造の解明は, この地震学の一連の成果です.

最近の事例では, 地震波トモグラフィーによる地殻上部マントル断面の解明があります. また, 全地球規模でのトモグラフィー映像によりマントルブルームが発見されました. マントル中を上昇してくるホットブルームと沈み込んだ海洋プレートがマントルの中に落下していくコールドブルームとがあることが分かってきました. ホットブルームの上昇が大陸分裂の引き金になっていると考えられています.

このあたりの話は, 丸山茂徳 (1993) に分かりやすく書かれています.

\* 丸山茂徳 (1993) 地球を丸ごと考える 2 46 億年 地球は何をしてきたか?. 岩波書店.

地質調査法の一つである弾性波探査は, 地震学から発展してきたものです. 弾性波探査の利点は, 断面的に (二次元で) 地下の構造が把握できることです. 線状構造物であるトンネルや面的に基礎岩盤の状態を把握する必要のあるダムなどでは非常の有効な技術です.

## 地球化学と応用地質学

地球化学は地球物質の化学的側面を明らかにする学問で, 温泉開発などには欠かせない分野です. 応用地質学的には地化学探査という分野があり, 鉱床探査などに利用されています. また, 岩石の風化は力学的な変化もありますが, イオンの移動によって成分が変化する化学的作用も大きな役割を果たしているため, 現象の説明には岩石化学的な知識が必要です.

風化による化学的な成分の変化については, 千木良 (1995) の堆積軟岩 (灰爪層) の検討や千木良 (2002) による花崗岩の風化に伴う成分移動についての話があります.

\* 千木良雅弘 (1995) 風化と崩壊. 近未来社.

\* 千木良雅弘 (2002) 群発する崩壊. 近未来社.

## 水理学・水文学と応用地質学

水理地質学あるいは水文地質学は, 主に地下水の挙動を研究する学問です. 例えば, 構造物を建設する時に基礎掘削を行います, その時, どの程度湧水があるかを予想し処理方法を検討します.

建設工事の時に掘削によって地下水がどのように変化するかは非常に重要で、工事の死命を制する場合があります。橋梁などの構造物基礎の掘削時やトンネル掘削時の湧水量予測などはその手法が確立されています。予期しない湧水が発生した場合、工事が難航するだけでなく周辺に影響を及ぼすことがあり社会問題となります。ですから、事前調査での湧水・湧水予測が重要になります。



【図 2.1 トンネル工事での先進ボーリングから噴出する地下水】

このトンネルは断層粘土が遮水層となっていてトンネル掘削中に突発湧水が発生し、切羽が崩壊して坑外まで泥水があふれました。トンネル内で土石流が発生したのです。その後の掘削では、この写真のようにトンネル前方の地下水を低下させながら進みました。

トンネル完成後は、周辺のいくつかの湧水が枯れて、その補償のためにトンネル湧水を配水しました。このような場合、恒常的にどの程度の地下水が確保できるかを予測する必要があります、水文学の真価が問われます。

## 防災地質学と応用地質学

防災地質学は、地すべり、岩盤崩落、土石流のような斜面崩壊を扱う学問です。これらの現象は、長期的に見ると地形の発達の一つの過程ですが、人の生活には大きな影響を与えます。

また、これらは、いずれも破壊現象であるという点で、現場としては面白いものです。



【図 2.2 岩盤崩落の例 左：崩壊前 右：崩壊後】(清水順二氏作)

地質は新第三紀中新世のハイアロクラスタイトです。崩壊岩塊の大部分は、覆道に連続して設けられていた擁壁の山側に落下しましたが、いくつかの岩塊は道路まで達しました。崩壊直前に通行しようとしたダンプカーの運転手が、土煙が上がったのを目撃しています。

崩壊頂部は比高約 27m で、崩壊岩塊は高さ 20m、幅 5~10m、厚さ 5~8m でした。

## 資源地質学と応用地質学

資源地質学は、石油、石炭、金属鉱物（鉄や銅など）、粘土鉱物、石灰岩などの資源探査を目的に発展してきた学問です。現在、国内の天然資源は石灰岩などを除いてほとんど採掘されていないので、海外での探査に力を入れています。

インジウムの生産量では世界的規模であった札幌市の豊羽鉱山が、2006 年 3 月末に閉山しました。国内の金属鉱床としては、鹿児島県の菱刈鉱山（金を生産）が残っているだけとなりました。

北海道を含め国内には休廃止鉱山がたくさんあります。

図 2.3 に示した写真は、壮瞥町の旧幌別鉱山の坑内水の処理施設です。坑内から出てくる水は pH1.8 程度の強酸性になっています。この水は強酸性であると同時に砒素をかなり含んでいます。この場合は、黄鉄鉱 (FeS<sub>2</sub>) という鉄の硫化鉱物中で硫黄の位置に砒素 (As) が入り込んでいます。この黄鉄鉱が分解さ

れて硫酸酸性の水が形成され砒素が溶け出すのです。

これは典型的な過去の負の遺産です。しかし、将来を見据えて環境を守るために北海道内の鉱山でも坑内排水（坑水）の処理や坑水の排出量を減らすための新技術の開発が進められています。



【図 2.3 旧幌別硫黄鉱山の脱水ケーキ堆積場】

鉱山からの排水を中和して出てきた脱水ケーキ（泥の固まり）を最終的に処分する堆積場を拡張中。褐色になっているのは水酸化鉄の色です。



【図 2.4 旧別硫黄鉱山の排水処理】

左：坑内から出てきばかりの排水

pH 1.8 程度で、澄んだやや青みがかかった色をしています。舐めると舌に刺激があります。流量は毎分約 3 立方メートル。水路の端のところで流量測定を行っています。

中：中和処理しているところ

排水を中性化するための炭酸カルシウム溶液が一番左の管から出ています。ここで一次中和を行い、さらに消石灰で二次中和を行います。褐色の液は、中和したものを再度戻しているものです。

右：最終的に形成された脱水ケーキ

この中に約 5%の砒素が含まれています。この脱水ケーキは堆積場に埋めて処分します（図 2.3）。堆積場を確保することが大きな問題となってきています。

## 地形学と応用地質学

地形学は建設工事にとって非常に重要です。特に、防災地質学では地すべりや崩壊の地形が、安定度判定や対策工の基本方針を検討する場合、重要な要素となります。

また、沢の発達具合から地盤の透水性を判断できます。つまり、雨水が浸透しにくい泥質の地山であれば沢の発達が密になりますが、砂質の地山では沢の発達は粗になり、谷もあまり深くなりません。

## 地形工学

地形工学という分野が確立されつつあります。

つまり、「建設工事を合理的に行うためには、その計画、立案、設計、施工、維持管理にあたって、広域的に土地条件、特に地形の生い立ちと成り立ちをよく理解し、また長期的視野に立って将来の地形変化を予測して、可能な限り自然（とくに地形）と調和した建設用地および建設工法を選定すべきある。それに役立つ理論と技術を研究・開発するのが地形工学（Engineering Geomorphology）である。」（日本地形学連合編，1996，地形学から工学への提言．古今書院）。

地形工学の扱う分野は広範囲にわたります。列記すると、土砂災害の防止、河道分析、海岸侵食、リモートセンシングなどです。とくに、最近は地理情報システム（GIS）が様々な分野で活用されています。

鈴木隆介氏の「建設技術者のための地形図読図入門」（古今書院）は、伝説的な地形図読図の教科書です。全4巻で、すべてを個人で手に入れるには勇気がいりますが、できればそろえておきたい本です。特に、「第1巻 読図の基礎」は熟読して欲しいものです。

地質調査に従事する技術者として鈴木氏の次の言葉を心に留めておく必要があります。

『地形は地球という一つの物体の表面の起伏形態であるから、地形を構成する岩石（地質）と不離不可分の関係にある。しかし、地形の変化は地質条件だけに制約されるわけではない。日本の古典的地質学者の一部に、「地質を調べれば地形は解る」と誤解し、「地形の問題は地質の問題に解消される」と言って、地学現象の理解に当たって地形を軽視する人もいるようだが、これは錯誤の極みである。』（鈴木，1997，40p.）

- \* 鈴木隆介（1997）建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎．古今書院．
- \* 鈴木隆介（1998）建設技術者のための地形図読図入門 第2巻 低地．古今書院．
- \* 鈴木隆介（2000）建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地．古今書院．
- \* 鈴木隆介（2004）建設技術者のための地形図読図入門 第4巻 火山・変動地形と応用読図．古今書院．

## 環境地質学と応用地質学

環境地質学というのは、はっきりとした守備範囲があるわけではありません。典型的なものとしては、地質・地下水汚染（土壌汚染）を扱う分野があります。有機化合物による地下水の汚染や建設工事で発生する有害重金属類を多量に含んだ発生土の処理を扱う分野もあります。

さらに、近自然工法などを採用する場合には、どのような工法が自然回復に有効かを見極める必要がありますが、地形や地質条件が重要となる場合があります。環境地質学自体が境界領域の学問です。

2003（平成15）年2月に土壌汚染対策法が施行され、さらに2010（平成22）年4月には改正土壌汚染対策法が施行されました。この改正によって、建設工事で扱う土砂に含まれる自然由来の有害重金属類が土壌汚染対策法の対象となりました。土壌汚染対策法の施行以前から、特にトンネル調査では自然由来の有害重金属類について考慮してきましたが、法的な縛りが設けられました。

土壌汚染対策を検討する上で、地質学の知見は重要な役割を果たします。特に、地下水によって有害物質が拡散する場合には、地質構成やそれぞれの地質の拡がり・透水性を正確に把握しておく必要があります。また、自然由来の有害金属の調査・対策を考える上でも地質学の果たす役割は大きなものがあります。

第三世代の応用地質学の登場です。