

## 地質学と社会の交差点 － “応用地質学” の位置づけを考える

横田修一郎（島根大学・総合理工学部）

### 1. はじめに 一分かりにくい「応用地質学」

応用地質学(Engineering Geology)という学問分野とそれを支える日本応用地質学会の組織は古くから存在するが、関係者以外にはあまり知られていないし、まして一般の人々に関心をもたれることもない。どのような分野なのかを問われても説明しにくい。何が「応用」なのか？ 地質学をどのように「応用」するのか？ 地盤工学，物理探査，砂防等の分野とはどこが違うのか？等々，なかなか理解を得にくいのが実情である。

「応用地質学」が分かりにくい存在になっているのには，様々な原因が考えられる。思い浮かぶことを挙げれば，

- ①わが国では地質学全般にわたる知識や認識が低いこと，
- ②応用地質学の学問体系，位置づけが分かりにくいこと，
- ③分野発展の担い手が教育・研究関係と企業関係に分散していること，
- ④分野の発展に対する“Stake holder”が不明確なこと，
- ⑤分野の活動と社会の要求との間に認識のずれがあること，

・ ・ などがある。

学問分野の分かりにくさは，10年あまりにわたる学会の法人化過程にも影響してきたし，その苦い経験を踏まえて，学会名称を「応用地質学」から「地質工学」にすべきとの主張もある。そこで，以下では「応用地質学」の位置づけを自分なりに考えてみた。支部会員の皆様にも多少参考にして，いろいろと考えていただきたい。

結論として，「応用地質学」は少なくとも地質学の世界と一般社会との間をつなぐ立場にあること，このためには，「応用地質学」は，その間で情報を整理し，新たな価値を付加して目的に資するべく的確に変換・表現していくことが重要と考えている。「地質学と社会の交差点」という視点である。

### 2. 地質学・応用地質学に関する一般の人々の理解

#### (1) 応用地質学を分かりやすく

社会と関係をもった地質学分野でも，「地下資源の開発」や「鉱山」等は社会的位置づけが明確で，一般の人々にもすぐにイメージが浮かぶため，概念として捉えやすい。これに対して，「応用地質学」，「地質調査」，「・・・コンサルタント」は，役割が捉えにくく，一般には「土木」，「建設」の中に埋もれてしまっている感がある。

我が国では，地盤は一般に不均質で，水平方向，鉛直方向にも細かく変化するため，詳しく調査して設計・施工に反映させる必要があるが，こうした地質調査の必要性も一般の人々に十分認識されているとは思えない。筆者が経験した代表的な意見を挙げれば，(i)建物や構造物はどこにでも建設されているから，今後もどこにでも造ることができる，(ii)地面の下の状態には地域性があり，地点によって良好な箇所と悪い箇所がある，(iii)日本列島や県

の地質図があるから、新たな地質調査は必要ない、といったものがある。

おそらく地質調査の必要性は分かっているとしても、詳細な調査の実態や必要性までは理解が及ばないであろう。学問分野としても、「建築工学」や「電子工学」等は一般の人々にも目指す方向が分かりやすく、関心をもたれやすいが、「応用地質学」はこうした点でも不利である。

学問分野の理解度を高めるには、①一般の人々の地質学や応用地質学に関する知識のレベルアップとともに、②応用地質学を分かりやすくする努力が必要である。前者には、地球の歴史に加えて身近な問題を取り上げるべきであろうし、後者には、地質現象と社会とのかかわり、応用地質学の体系化、地質用語・概念をわかりやすくする努力、地質調査業務の必要性と実態の説明等が必要であろう。

## (2)地質学で最も難しい部分

地質学へ関心・興味をもつ順序は、一般には珍しいモノからである。入試時の学生面接などで挙げられるのは「化石」、「鉱物」が圧倒的であるし、自然災害関係では「地震」が大半で、「地すべり」が挙げられることはまずない。

学問分野の学習段階としては、こうしたモノや構造が最初で、その後それらの形成過程や作用（浸食作用、堆積作用、構造運動、火成作用、風化作用等）、地質現象の理解となるが、後者になると、なかなか興味が得られない。“見えない”ためである。今日、大学の地質学教育で最も困難なのは、日本列島や地域の「地形・地質構造発達史」である。

地質学 Geology は、ときには Material + Process と説明されるように、単にモノや構造だけでなく、地質状態の時間的・空間的变化過程やそれらをもたらす営力の理解も重要である。こうした地質過程（プロセス）や営力は応用地質学にとって最も必要かつ重要な部分である。言い換えれば、応用地質学にとって最も必要なのは地質学の最も難しい部分ということになる。

## 3. 応用地質学の担い手と社会の要求

### (1)大学+企業等による応用地質学

「応用地質学」という名称のルーツは明治初期まで遡るし、この分野の辞書的説明は古くからなされてきた。工学的視点で地質学の問題を取り扱う分野といえるが、この場合、工学的(Engineering)の意味は広い。「鉱山や土木建設など実際面に関連した地質学的調査研究の総称」(地学事典)とか、「自然と人間社会とのかかわりの中で発生する様々な社会的問題に対して地質学の立場から応える学問」(日本大百科全書)とかの説明があるが、後者の説明が今日でもマトを得ているように思われる。何が“応用”か?と問われれば、社会が要求する課題に対して、地質学の知識や考え方を総動員して解決にあたるという立場での“応用”であろう。

我が国では、この学問分野発展の担い手は大学等と企業・行政機関に分散していることが特徴である。いずれも社会的要求に対処するという立場は共通し、前者は教育・研究の面から、後者は主に実践する立場から応用地質学を担っているとみることができる。共通目的をもつ両者は情報交換がなされつつあり、応用地質学会がその場を提供している。

### (2)利益を得るのは発注者か? 一般の人々か?

企業活動による実践は、他の工学分野でも同様であるが、工業製品を生み出す企業の場合には人々は製品を購入することで利益を享受できるし、その企業内容や関連する学問分野を理解しやすい。これに対して、地質企業の実践は行政機関等が相手であるため、一般の人々

が利益を享受するとしても発注者の行政機関等を介することから、結果として、企業活動や関連学会の理解は得にくい。このあたりが、地質企業や地質調査、さらに関連する応用地質学という分野を分かりにくいものになっている。土木や建築といった分野もこれに近いが、後者の場合には建物や土木構造物という“見えるもの”があるだけに理解は得やすい。

地質企業にとっての社会の要求とは、発注者からの要望（仕様）だけではなく、一般の人々からの要求も含まれると考えるべきであろう。人々の期待するもの（内容）としては、豊かな生活をつくることであり、生活・社会活動をするうえでの便利さ、生活するうえでの快適さ、自然ハザード等に対する安全性などである。現状では、これらへの応用地質学の対応は十分でない。応用地質学分野の真の stake holder（利益享受者）は一般の人々であるという認識が必要であろう。

### (3)社会の要求に対する的確な回答

行政機関等が地質企業に直接要求する内容（項目）には、土木構造物にかかわる地盤・岩盤状態の推定と評価、斜面を含めた地質ハザードの予測と災害軽減、資源探査にかかわる問題、環境評価・改善にかかわる問題などがある。いずれも業務として発注されるが、個々の企業が業務を通じてその要求に的確に答えているか？という点と稔然としないこともある。

要求に対し的確に答えることは難しい。例として、斜面の“安定性評価”を考えてみると、要求される内容は斜面の場所や目的に応じて微妙に異なる。たとえば、集落から離れた自然斜面、林道沿いの掘削法面、住宅地背後の自然斜面、高速道路沿いの掘削法面、原子力発電所建屋背後の掘削法面、等で要求される内容、安定性の水準、期間、信頼度等は大きく異なってくる。数100年後までの安定が高い信頼度で要求される場合、10年間のみほぼ安定であればいい場合、施工期間中のみ安定していればいい場合、少々の落石はあってもいい場合等、様々なケースがある。

こうした内容まで踏み込んで考えれば、地質企業が発注者の要求にうまく答えていないケースも多々あるのではないか。漠然と「安定性を評価するには」といったものではなく、調査によって得られる内容と水準（精度・信頼度等）、対策工等を組み合わせたメニューをあらかじめ用意し、要求に的確に答えていくような努力も必要かもしれない。

## 4. 地質学と社会との間の情報変換と付加価値

### (1)情報変換と表現の工夫

このように考えると、「応用地質学」とは地質学の知識や概念を社会や一般の人々に伝達し、社会の要求を満たすべく努力する立場にある。これは、社会の要求を理解し、人々（利用者）に理解できるかたちに変換・表現することであり、これには、①地質情報の抽出、②目的にあった情報変換、③対象者を考慮した情報表現、等の段階がある。

地質情報の抽出は、調査によって岩石・岩盤の分布、層序、地質構造などを得ること、散在している地質情報を組合せること、地質プロセスにかかわる情報等を見いだすことなどである。そうした地質情報から要求目的にあった的確な情報を得ることは容易ではない。

構造物に関する場合には、地盤構成物の力学性、物理性、水理特性等にかかわる情報が重要であり、場合によっては、岩石構成物・組織から経験に基づく力学的性質への変換なども考え得る。断層に関しては変位重視の地質学的な情報から、力学強度、変形性、水理特性の特異部という情報への変換となるが、その場合、断層そのものの表現にも工夫が必要である。

地質情報の内容が変換され、利用者に伝達される場合、一次的な伝達媒体は広い意味の地質図である。ただし、視点や目的とともに対象者が様々であるため、それらの違いが表現の

内容や方法の違い，スケール，精度，誤差，信頼度の違いとなる．したがって，土木地質図（工学的地質図）が一般の地質図（公刊地質図）とは表現等が異なるのは当然である．なお，情報伝達媒体としての地質図表現には限界があり，今後は動画，グラフィックスを用いた地質情報説明が必要かも知れない．

## (2)地質プロセスの理解にたった付加価値

「応用地質学」をこうした情報変換と位置づけても，単なる地質学的説明では意味がなく，付加価値が必要である．たとえば，地域固有の地形・地質発達史などに基づいて，その場所がどういう変化の場であるのか，付近で継続している浸食や堆積，構造運動，風化作用などの地質プロセスを理解した上での価値の付加といったものである．これがなければ「応用地質学」の存在意義がない．

こうした地質プロセス (geological process)は，応用地質学の立場では，①かたちの変化に関するものと，②物理特性・力学性の変化に関するものに分けて理解することが効果的であろう．前者には，様々な浸食・運搬・堆積過程，構造運動による地表の変形，火山活動による諸過程が，また後者には断層運動に伴う破碎・破壊過程，変質作用による鉱物の変質・変化過程，広いレンジにわたる風化過程等が含まれる．多くの応用地質学的課題の解決にはこれらの組合せによって創出される価値が役立つはずである．

現地地形を見ただけで，「××構造物の施工に適している」，あるいは，「設計には△△を考慮すべきである」，「〇〇について詳細な追加調査が必要である」などとコメントできれば，地質情報の抽出とプロセスの理解というリンクがうまくいっている証拠である．こうした付加価値をうまく取り込んで情報変換できる人が，真の Engineering Geologist であろう．

## 5. 情報変換を支える技術としての応用地質学の体系化

これまで，「応用地質学」のテキストは国内外で多数出版されており，多少体系化が試みられているが，多くは説明のしやすさからの区分である．日本応用地質学会での研究発表会のカテゴリー区分では，斜面崩壊，地すべり，地質構造，地山分類・評価，リモートセンシング，環境地質，地下水，試験・計測・探査といったものである．

また，50周年記念の総括とし取り組まれている項目も，①応用地質学の基礎と，②応用地質学の実用に分けられ，前者には地質学，地形学，風化論，水文地質学，岩石力学・岩盤力学，土質力学，評価法が，また後者には災害地質学，土木地質学，環境地質学，情報地質学が挙げられているにすぎない．いずれも学問体系にいたっていない．

「応用地質学」という分野への社会の要求内容は，国や地域，時代によって大きく異なる．したがって，学問分野の位置づけも現在の日本の社会を対象としたものでなければならない．

「応用地質学」を的確な情報変換することを支える技術として位置づけると，工学的な課題が多いことから，岩石・土・岩盤の物理的・力学的性質と水の挙動，それらの組合せが理解できるように変換できる技術が必要である．また，営力や地質プロセスを通じて諸性質が時間的にも変化することから，それらの空間分布，時間的变化に言及できるし，さらに，時間的变化を活用して推定・予測することができる．そのような流れでみると，応用地質学の基本構成は以下のようなものと考えたい．

- ①地質情報の抽出技術（地質調査・探査）
- ②岩石・土・岩盤の物理性・力学性と水の挙動，それらの組合せの相互関係（構造）の理解
- ③地表近くで作用する内的・外的営力と地質プロセスの理解
- ④営力や地質プロセスを通じた岩石・土・岩盤の諸性質の時間的变化

- ⑤地域の地形・地質発達史，地質体の相互関係の抽出と理解
- ⑥土・岩石・岩盤の状態分布の推定，時間的変化の予測技術
- ⑦社会的課題への応用技術

等である。

斜面ハザード問題や環境問題はこれをベースとした発展型であろう。少なくとも応用地質学を既存の地質学の体系に上に構築するわけにはいかないし，地質学の一部門というだけでは理解できない。やはり独自の体系をもつ必要がある。

## 6. 地質プロセスの理解にたった応用地質学の例

地質情報と社会的要求をつなぎ，地質プロセス理解の上にとって言及する例として，(1)岩盤分布の推定と，(2)斜面ハザードの長期的予測の問題を考えてみたい。いずれも，地形・地質情報をもとに応用地質学の価値を創出できる。

### (1) 岩盤分布の推定

花崗岩など等方的な岩石・岩盤が構成する山地内では，一般には以下のような岩盤分布の特徴が読み取れる。①岩盤状態は地表では劣化したものが多いが，地下深部（斜面内部）にいくにつれて良好になること，②海岸や河川に面した部分の岩盤状態は比較的新鮮であること，③岩脈・断層に沿った部分では岩盤状態は劣化していること。

これらは，そこでの風化過程，変質過程，断層による劣化過程の他に浸食過程などの営力や地質プロセスと，それによる力学性の変化とかたちの変化を理解すれば，説明可能である。したがって，任意の地点でもクラックを含めた岩盤風化過程+浸食過程の理解，山体表面から内部への風化進行過程，斜面勾配に比例する浸食速度などの知識とともに，地域固有の地質プロセスの特徴を見いだすことで，山体内の岩盤分布は定性的にはある程度推定できる。

個々の過程が詳しく分かれば，さらに詳細な推定が可能であろう。たとえば，岩石・鉱物レベルの風化・劣化機構や現象を挙げると，oxidation, hydration, solution, precipitation, salt weathering, clay mineralization, swelling, slaking, exfoliation, micro-cracking, grain disintegration, spheroidal scaling 等があり，どれが主体になるかは岩石タイプに依存する。

岩盤を構成するクラックにも，火成岩の冷却時の収縮，構造運動による破壊，上載荷重，堆積岩の固化過程での脱水・収縮，風化過程，除荷過程，斜面局所的偏圧によるもの等があり，これらが組み合わさって風化・劣化が進行する。さらに，クラックの開口と岩石自身の風化のバランス，大きなクラックと小さなクラックの開口のバランス等が風化の進行に影響する。現実の不均質な岩盤分布はこうした風化・劣化過程の1段階と解釈できる。

こうした地形・地質情報と過去から進行してきたそこでのプロセスを見極めることで，岩盤の空間分布をある程度推定できる。あるいは断片的なボーリングだけでも，それらの情報を上記と組み合わせることで，より効果的な推定ができる。

### (2) 斜面ハザードの長期的予測

自然斜面，人工斜面を問わず，斜面の不安定化に関しては，短期的な予測には降雨強度や地震動などの誘因の情報が必要となるが，近年重要度が高まってきた長期的な予測には関連するプロセスを見極めることによって資することができる。たとえば，長期的な斜面の後退速度から，若干の仮定をへて，崩壊発生頻度などの議論が可能である。

斜面を不安定化する要因（素因自体の変化）には一般に斜面形状の変化と斜面構成物の強度低下・斜面構造の変化があるが，前者は浸食作用・堆積作用などによるもの，後者は風化・劣化作用によるものであり，長期的にわたる斜面不安定化の問題では，両者を考慮する必要

がある。

急傾斜で比較的単純な風化構造をもつシラス斜面の場合には、表面から内部に向かう風化・劣化程度の分布が不安定化の基礎情報になることから、表層部の風化分布とその時間的進行がわかれば、安全率  $F_s$  の時間的低下を介して不安定化する時間的予測が可能である。シラス以外の岩盤でもこの考え方が適用できるが、その場合には、クラックの組合せなどによる斜面移動タイプの見極めも必要である。その他、落石や地すべりに関しても過去の経緯が将来予測に資することが多い。

## 7. まとめ

- (1) 「応用地質学」は地質学の世界と一般社会との間をつなぐ立場にあるとの認識が重要である。
- (2) このためには、必要な地質情報を抽出・整理し、目的にあったかたちに変換し、対象者をも考慮して表現を工夫していくことが必要となる。
- (3) この変換は機械的なものではなく、応用地質学としての価値の付加が必要である。高い付加価値は地球表層やその近くで継続している浸食や堆積、構造運動、風化作用などの営力や地質プロセスの理解によって得られる。
- (4) このように、営力や地質プロセスの理解は応用地質学にとって極めて重要であるが、それにもかかわらず、地質学教育の中でもっとも困難な部分である。
- (5) 応用地質学の立場では、地質プロセスを地形の変化に関するものと、物理特性・力学性の変化に関するものに分けて理解すれば効果的である。
- (6) 地形・地質情報を丁寧に抽出し、変換を適切にするとともに、地形の変化と風化・劣化にかかわる地質プロセスの十分な理解の上にてれば、岩盤分布の推定や斜面ハザードの予測などが可能になり、応用地質学の価値を創出できる。
- (7) 「応用地質学」の学問分野はそうした一連の変換を支える技術、価値を付加する技術として体系化することが1つの方向であろう。

## 参考文献

- 藤田 崇・横田修一郎・中筋章人(2001) 斜面ハザードマップの作成とその課題, 応用地質, **41**, 351-362.
- 古川 和代 (1991) 「応用地質学」私論, 日本応用地質学会九州支部会報, no.11,23-27.
- 柴崎 達雄 (1970) 応用地質学, 地学事典, 131,平凡社.
- Glossop,R.(1968) The rise of geotechnology and its influence on engineering practice, *Geotechnique*, **18**, 107-150.
- 岩松 暉 (1988) 応用地質学, 日本大百科全書, 3, 486, 小学館.
- 小野寺 透 (1970) 応用地質学の立場, 地学雑誌, **79**, 22-39.
- 山内 豊聡 (1984) 応用地質学と土質工学, 応用地質, **25**,151-157.
- 横田 修一郎 (1990) 断層形態の把握レベル, 構造地質, no.35, 119-123.
- 横田 修一郎 (1990) 地質図作成過程の分析(2)ー視点の違いによる様々な地質モデルー, 情報地質, **2**, 205-210.
- 横田 修一郎 (1994) 構造地質学をベースにした応用地質学分野, 構造地質, no.39, 223-230
- YOKOTA, S. (1994) Modeling and simulation of weathering process in jointed rock masses, *Proceedings 7th International Congress International Association of Engineering Geology* (Lisbon), 4805-4810.
- YOKOTA,S. (1994) Computer Simulation of Weathering Process in Jointed Rock Masses,

*Geoinformatics*, **4**, 145-152.

横田 修一郎 (1995) 理学部学生と理学部出身者のための土木地質学, 斯文堂, 113p.

YOKOTA,S. and A. IWAMATSU (1999) Weathering distribution in a steep slope of soft pyroclastic rocks as an indicator of slope instability, *Engineering Geology*, **55**, 57-68.

横田 修一郎 (1998) 地質構造を捉える多様な視点と相互インターフェイスの必要性ー応用地質学が期待する 21 世紀の構造地質学, 地質学論集, no.50, 235-240.

YOKOTA,S. *et al.* (1998) Measurement of rainwater infiltration and its time lag within a slope of pyroclastic flow deposits using automated prospecting, *International Journal of Engineering Geology*, **57**,51-58.

横田 修一郎 (2001) 応用地質学からみた地質図標準, 日本情報地質学会シンポジウム 2001, 「インターネット時代の地質図標準」講演論文集, 55-56.

横田 修一郎 (2003) 斜面の構造と斜面ハザード, グランドアンカー技術講演会資料, 5p

田中 治雄 (1988) 応用地質の道を歩んで 50 年, 応用地質, **29**, 5-14

渡辺 貫 (1928) 土木地質学, 工業雑誌社, 171p.

渡辺 貫 (1935) 地質工学, 古今書院, 628 p.

以上