

連載特集 環境問題への挑戦(最終回)

## 環境問題に取り組む応用地質学を目指して

大野 博之\*

### 要 旨

環境問題に対処する場合、総合的な把握・判断が必要となる。資源・エネルギーから食糧問題、そして、出口の廃棄物問題のように、全体の流れを考えることは、持続的な社会環境を構築していくうえで重要となる。このために、地質学に携わる者にどのようなことができるのかを考察した。

近年、防災と環境問題とが、気候変動などの関係から、密接にリンクしてくるようになってきた。災害に伴い発生する環境破壊、その逆に、環境変化に伴う災害の多発、などがその例である。こうしたことを理解し、人間と環境にとって総合的に判断してプラスとなることを具体的に実行するためには、数十年単位の長期的な視野に立ち教育から考えていかなければならないこと、そのために、根本的に何を教えるべきかを示した。

さらに、現象論・物性論・方法論を基にした実践的観点からのアプローチについて論じた。われわれは、最大多数の最大幸福を目指し、応用生態学的視点と環境経済学的視点を取り入れ、そのうえで、時間と空間の四次元的な思考に立った複雑系の概念を取り入れて、地域の環境問題に対応するべきことを示した。

**Key words** : 環境問題 environmental problem, 応用地質学 engineering geology, 教育 education, 現象論・物性論・方法論 natural phenomenology/geotechnical properties theory/methodology

### 1. はじめに

この特集をはじめて3年になるが、その間、日本や世界はさまざまな形で環境変化の影響を受けつつある。資源・エネルギー問題、食糧問題をはじめとした地球規模の問題が顕在化してきている。この特集の最初の稿<sup>1)</sup>にも述べたように、資源・エネルギーの不足・枯渇の危険性、生存する空間の物理的限界・精神的圧迫が現実問題となり、これに伴ってグローバルな環境問題とローカルな環境問題がリンクしてクローズアップされている。

一方、日本の社会は二極化し、格差社会となってきたといわれている。これは日本だけに限らない問題でもあり、放置してよい問題とは思えない。日本では、少子化社会となり人口減も始まっており、格差と人口減は相互に関連しているといわれるようになってきた<sup>2)</sup>。ラビ・バトラ<sup>3)</sup>が示すように、資本主義に代表される西欧型文明の崩壊が間近となっているのかもしれない。崩壊しないまでも、サーカーのプラウト理論(Progressive Utilization Theory)<sup>4)</sup>

のように現在の物欲人の時代から将来は武人の時代に変化するであろうか。今の時代、さまざまな面で、システムそのものの変革が望まれており、環境問題の解決はそれなくしてはならないようにも思えてくる。

現在、環境問題に対応していると宣伝している企業の多くも、実際のところは、現在の生活を維持するために、資源・エネルギーを大量に消費し、結局のところ大量生産、大量消費を人々に求めているように見受けられる<sup>5),6)</sup>。企業として存続していく以上、仕方がない面があるとも言われているが、本当に仕方がないのだろうかという疑問もわいてくる。表面的な偽善エコロジー<sup>7)</sup>ではなく、世の中の役に立つものを提供するという本来のエンジニアリングにもとづく対応が必要である。

エンジニアリングというのは、本来、総合的な知識と経験に基づいてなされる行為であり、最大多数の最大幸福を目指すものであろう。その一翼を応用地質学が担っている

※1 サーカーはインドの哲学者。社会は武人の時代(軍人や農林漁業者などの肉体労働者の時代)→知識人の時代→物欲人(富欲者)の時代→軍人の時代と循環しているとする。サーカーの提唱した社会循環の法則をプラウト理論と言う。

\* (株)環境地質 Kankyo Chishitsu Co.,Ltd.(会員)  
 E-mail : ohno@kankyo-c.com

と位置づけられる。しかし、地質学は元々「地球の現象を捉える学問」であり、応用地質学は、把握した現象を具体的に世の中に役立てる(エンジニアリングする)ものであることから、環境問題に対しては、一翼ではなく主翼となりえるはずである。最近、顕在化した資源・エネルギー問題や食糧問題は、人口爆発とそれに伴う環境問題と深く関連している。こうした地球上で起きている現象(人間圏も含めて)をどう解決するのか、それこそ応用地質学の本来的な使命ではないのだろうか。このことは、人々の暮らしやその安全のための応用地質学<sup>9)</sup>にも通じる。

しかし、環境問題を直に解決できる特効薬は存在しない、とも考えている。長期的には、教育等によって人々の考え方を変えていくこと、短期的には、特効薬ではないが対処療法として地球環境の変化を人間が徐々にでも受け入れられる程度にさまざまな方策を講じて、凌いでいくこと。この二つを同時に進行させていく必要があると考えている。

ここでは、以上の観点に立ち、エンジニアリングとはどのようなものなのかを捉えたうえで、地味で時間はかかるが、将来、確実に広がりを見せると考えられる教育のあり方について述べる。また、応用地質学の実践面での今後のあり方を述べてみたい。これによって、本連載を取りまとめたいと思う。

## 2. エンジニアリングと応用地質学

### 2.1 エンジニアリングとは

エンジニアリングという言葉の定義について、まず考えよう。

JABEE<sup>10)</sup>的な捉え方をすれば、「工学とは、数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問(8大学工学教育検討委員会)」となる。また、ABET<sup>11)</sup>は、「エンジニアリングとは、勉学や経験に基づいた数学や自然科学の知識を持ち、公共の便益のために自然材や自然の力を考慮するとともに、有用性、経済性を考慮して判断(Judgment)することのできる訓練をつんだ専門職業(Profession)である」と定義している。

このようなことを踏まえると、エンジニアリングとは、本来は、「人間と環境にとって総合的に判断してプラスとなると考えられることを具体的に実行する」ことと捉えることができよう。

最終的な判断(Engineering Judgment)は、後に述べるように、法律をはじめ、マニュアルや指針などにはそぐわない側面がある。科学の修練には積み上げが必要であり、

それには長い訓練の時間を要するが、それを一足飛びに簡略化しよう、と試みたものがマニュアルや指針となっている場合もある。それらの成立の背景などをわきまえて取り扱わないと、換言すれば、マニュアルや指針を妄信しないようにしないと、本来とは異なる判断をしてしまう場合が考えられる。マニュアルや指針にも、その成立過程には適切な概念・考え方があり、それがマニュアルや指針とともに引き継がれていくのであれば大きな問題は生じない。しかし、マニュアルや指針の精神は受け継がれず、表面的な記述だけが一人歩きする状況が見られる。

土壌・地下水汚染について考えてみると、土壌汚染対策法の目的では「土壌汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康に係る被害の防止に関する措置を定めること等により、土壌汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護する」となっている。しかし、実際には汚染され遊休地となっている土地(ブラウンフィールド)が日本においても多く存在する可能性があり、3大都市圏よりも地方圏に多くだと推定されている<sup>12)</sup>。このブラウンフィールドは本来の法律の目的からは外れたものであり、法律を破らなければ良い(または、マニュアルに従っていれば良い)とする考えが根底にあるものと考えられる。極論ではあるが、これも法律やマニュアル・指針を作成したことによる弊害の一つといえよう。これなども、本来的なエンジニアリングの立場に基づいた判断が改めて必要なことを示している。さまざまな基準は、所詮は人間が決めたものであり、環境基準にしてもその成立過程までを把握し、その上で利用しなければ本来意味がなく<sup>13)</sup>、本来的なエンジニアリングが必要な所以である。

また、エンジニアリングに必要な科学においては、修練のための長い訓練と積み上げが必要である。大学・大学院教育において得られた基礎的な知識・経験を踏まえ、現場を通して経験を積み、公共の有用性・経済性を考慮する訓練を一生続けていくことが必要である。

さらに、ニーズを捉えつつも、その時代の雰囲気の流れに過ぎないように留意することのできる精神も必要である。例えば、英国王立協会<sup>14)</sup>が示したバイオ燃料に関する見解<sup>15)</sup>において、「統合的なアプローチ」を提唱し、時代の雰囲気に流されることを警告している。エンジニアリングとは総合的・統合的な捉え方が必要不可欠なものであり、それによって時代の雰囲気に流されないことも可能となる。

### 2.2 応用地質学におけるエンジニアリング

環境問題が叫ばれる昨今、エンジニアリングを再考し、

※4 英国王立協会の見解では「バイオ燃料を化石燃料に代替する能力には限界があり、輸送排出ガスに対処するための“特効薬”と考えるべきではない。(中略)行動の変化を促す一層特別な政策を含む、バイオ燃料と他の開発を結合した統合的なアプローチが必要」と述べている。

※2 日本技術者教育認定機構(Japan Accreditation Board for Engineering Education)

※3 Accreditation Board for Engineering and Technology

応用地質学(Engineering Geology)を再構築するべきときではないだろうか。人的資源の向上, 外部経済<sup>※5</sup>の向上, 真に持続的な社会の構築がこれからは重要な課題であり, そのためにはエンジニアリングを前述したように再考する必要がある。こうした本来的なエンジニアリングを進めるうえでの基礎となるものは, 総合的あるいは統合的な判断のための知識と経験である。

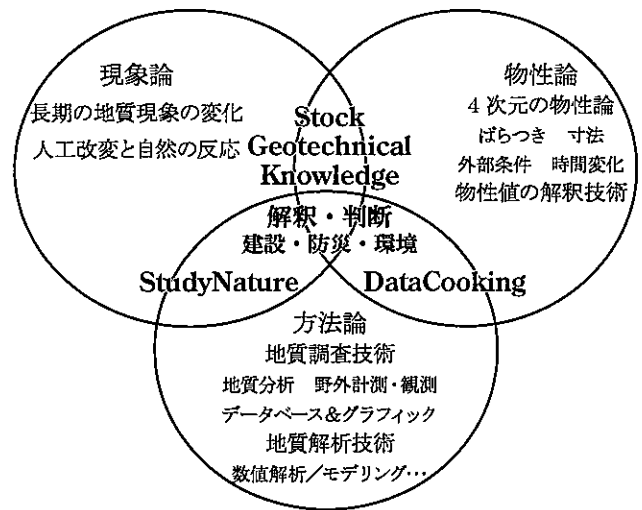
応用地質学(Engineering Geology)においては, 災害などに対する対応と生活環境・自然環境に対する対応を同時に行っていくことが総合的なエンジニアリングジャッジメントにつながり, 長期的に見た公共の有用性と経済性を考えることにつながると思われる。

稲垣・大野<sup>10)</sup>が示したように災害は環境破壊を引き起こす場合があるが, その逆に, 近年の国土交通白書などにも述べられているように, 地球温暖化のような環境変化は, 気候システムなどの自然環境を変化させ, 災害を頻発させているようにも見える。このように, 近年は, 災害と環境の変化を同時に捉えることが求められている。こうしたことを踏まえて, エンジニアリングとしての応用地質学をより発展させていく必要がある。

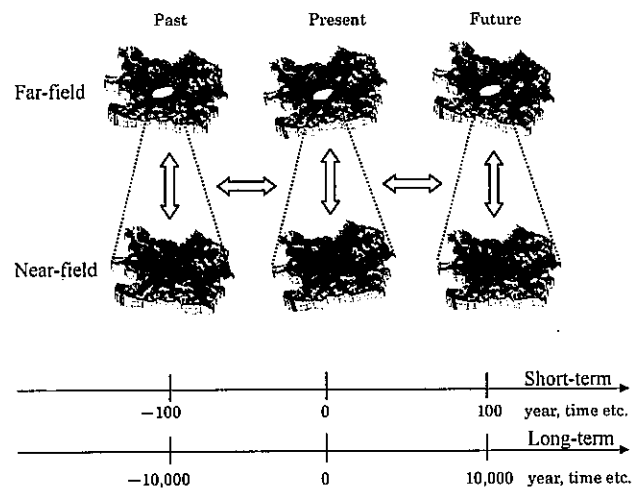
栗原・今井<sup>11)</sup>は, 「野外科学的な地質分野と実験科学的な土質分野である地質学と地盤力学の融合の必要性」を述べているが, これは言い換えれば, 小島<sup>12)</sup>の言う“現象論”, “物性論”, “方法論”の三つを同時に成り立たせる応用地質学(小島は地質工学と呼んでいる)を発展させることに他ならない(図-1)。

ここで, 現象を捉えるための方法の一つとして, 空間の関連性と時間の関連性を同時に考慮する四次元的な現象解釈論<sup>13)</sup>が必要と考えられる(図-2)。

そのうえで, 物性論においても地球上のもの有限性を認識し, 時間的変化を捉えることが重要であり, そのことから, 四次元的な物性論が必要である。風化などの自然の営力によって物性が変化するという事実は, 小島<sup>12)</sup>も述べているように, 数十年先の物性変化を考慮した計画・設計論が必要であることを意味している。こうした物性の変化は, 地震などの外部インパクトがあれば物性が変化することからも理解できる(例えば, 吉川<sup>10)</sup>, 図-3(a))。同様に, こうした物性の劣化はコンクリート構造物などにおいても見られる現象であり(図-3(b)), 数十年先にどのように変化するのかをきちんと捉えた計画・設計とそのメンテ



備考1) 解釈・判断の部分が, 地質学におけるEngineering Judgment  
図-1 現象論・物性論・方法論の概念(小島<sup>12)</sup>より)



ある対象を, 地質時代の長い時間スケール(万年オーダー以上)で捉えたり, 構造物の寿命などの短い時間スケール(数百年オーダー以下)で捉えたりする, 時間的なスケールを複眼的な目で捉えることが重要となる。さらに, 空間的に大きなスケール(Far-field)から小さなスケール(Near-field)を抽出した場合でも, 両スケールの特性は類似している場合(割れ目のフラクタル性などがこの典型)や, 空間的なスケールの取り方で, 物性の捉え方も変わる場合(圧密指数などがこの典型)があり, 空間的なスケールでも複眼的な目で捉える必要がある。

すなわち, ある時点において, Far-fieldから一部のあるNear-fieldを抽出すると, これらは空間的に相互に関連性がある。さらに, 現在は過去からの積み重ねであり, これらも相互に関連する。そして, 未来も過去からの積み重ねであり相互の関連性を持つ。空間的な三次元の相関性とともにより, 時間的な相関性を持って環境は成り立っている。環境を扱う場合, このような四次元的な捉え方が重要となる。

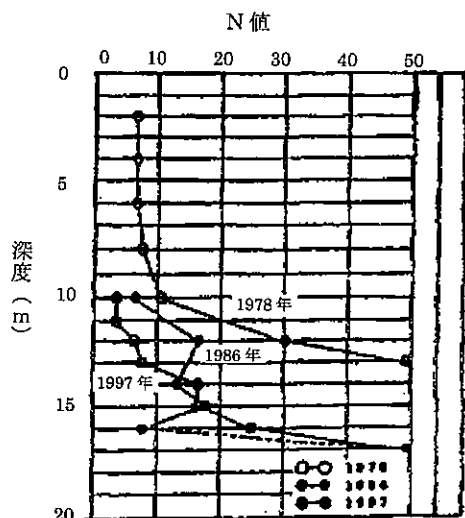
図-2 時間と空間の相互関係の概念(大野<sup>13)</sup>を一部改変)

ナンスが重要な項目になる。

さらに, 方法論においても, 四次元的な物性論に立った計測・観測が必要となる。空間的な時系列モニタリングの必要性, すなわち, 時間変化を連続的に捉えた方法論と点や線から平面・空間を捉える方法論の確立とその融合が必要である(例えば, 愛知・徳永<sup>14)</sup>)。

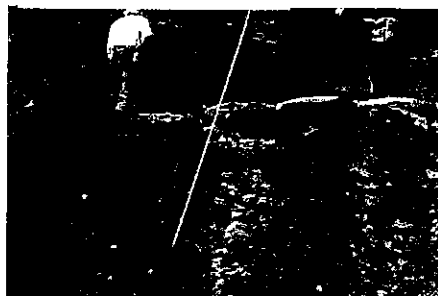
これからは, こうした現象論・物性論・方法論を総合的に解釈したエンジニアリングジャッジメントを行う応用地質学が環境問題への取り組みの中で重要となろう。

※5 経済主体(企業や消費者)に影響する外部効果のうち, プラスの影響を与えることを外部経済, マイナスの影響を与えることを外部不経済と呼ぶ。この外部効果とは, ある経済主体の行動が, 別の経済主体に影響を及ぼすことをいう。公害問題は, ある経済主体が別の経済主体に市場は通さないもののマイナスの影響を及ぼしたものであり, 外部不経済の例である(このように市場を通さない外部不経済を技術的外部不経済と呼ぶ)。



同じ地点のボーリングのN値の低下。1986年以降、深度10m以深で求めているのは、亀裂の発生によって緩んだ表層部を排土除去したため。排土除去後、深度4~5m(図中深度14~15m)の部分まで軟質になっていることがわかる。  
こうした劣化の原因は、風化作用であったり、地震の影響であったりと、さまざまな場合がある。

(a) N値の経年変化の例(図は吉川<sup>13)</sup>より、文章は筆者)



よく知られたことではあるが、コンクリートは経年とともに劣化する場合があります。

写真の例は、あるり面の吹付けコンクリートの例である。この吹付けは施工後30年以上が経過しており、コンクリートの劣化や背面地山の風化などが進んでいたものである。

コンクリート部は表層(写真のコアの左側)から約3cmが中性化(フェノールフタレン液で着色しない部分)し、コンクリートの劣化が起きていることがわかる。

また、吹付けコンクリートを剥ぎ取ったところ、地盤とコンクリートとの間に空洞が生じている箇所が存在することがわかった。こうした空洞は、コンクリート背面と地盤の間を通る水による長年の洗い出しが一つの原因として考えられる。

このように、コンクリートそのものも年月の経過により中性化などの劣化が生じ、強度などの低下が生じる。また、コンクリート背面の地盤も、降雨などの浸み込みにより風化し(細粒化)し、時には洗い流されてしまう部分もある。

以上が示すように、自然環境の中に曝された場合、物は劣化していく(風化していく)ことを認識する必要がある。

(b) 吹付けコンクリート斜面の劣化(風化)

図-3 物性変化の例

### 3. 教育的観点からのアプローチ

平成20年5月に発表された「低炭素社会に向けた12の方策」<sup>15)</sup>では12番目の項目として「低炭素社会の担い手づくり」を提唱し、2050年ごろまでに低炭素社会アドバイザーを5万人にし、市民が主体的に取り組むことのできる社会を作り出すことを目指すべきことが提唱されている。

筆者も、大学の教養教育や高大連携講座<sup>16)</sup>での高校生教育を通し、こうした社会の担い手づくりの重要性は痛感してきたところである。また、中学校や高等学校の教師を通して、高校などの教師にとっては「地球温暖化防止・削減=自然環境保護」という認識でしかなく「教えていてどうもしっくりこない」という意見を聞いた。こうした意見の背景には、環境問題に関して、科学的な知見を十分に教え切れていないことがあると思われる<sup>16)</sup>。

市民をリードしていく担い手づくりも大切であるが、最終的には、市民一人一人が小さなことでも環境問題の担い手になる必要がある。そのためには、すでに社会に出た人々も含めた教育もきわめて重要である。この一つの解決策として、大学や学会等による市民フォーラムなどの開催を通じた教育が挙げられる。

ここでは、以上の観点から、応用地質学の今後のあるべき姿を教育の側面から考察してみようと思う。

#### 3.1 教育の必要性和将来の応用地質学

最近、高等学校や大学での地学教育の低下は著しい。高等学校では地学Iですら履修しない生徒が増えてきている。この最大の背景は、センター試験においては物理Iと地学Iのどちらかの選択、ということもあろうし、多くの理科系大学で地学を受験科目からはずしていることにもよろう。また、教えることのできる教員が減少したことも背景となっていると思われる。教えることのできる教員の少なさは、一例ではあるが大学においても見られる(表-1)。しかし、適切な教育を行えば、地学的な総合的な観点の新たな認識を持ち、今後の生活の糧としようとする傾向が見られるのも事実であり(表-2)、今後に希望が持てる。

さらに、市民フォーラムのアンケートなどをみても、一般市民が通常疑問に思っているにもかかわらず知識がないために不安になっている場合や地域のリスクに対する講演と事前に募集した個別事例の説明を求めている場合が多い。したがって、「身近な地学に関する基礎知識の教育」と「現在、困っている人へのアドバイス」との必要性の2点が見て取れた<sup>17)</sup>。このことから、地学的な総合的な観点の教育の必要性を再認識できる<sup>16)</sup>。

池内<sup>18)</sup>などが指摘しているように、昨今の日本においては、科学的な観点を見据えた社会意識の低下、環境問題に

※6 大学教員による高校生向けの高校の授業単位となる講座。

表-1 長崎大学における地学教育と他の自然科学教育の教員数 (大野<sup>19)</sup>より)

| 一般教養の自然科学分野の科目        | 平成16年度 | 平成17年度 | 平成18年度 |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| 物理学<br>(対応可能教員数: 24名) | 10コマ   | 8コマ    | 10コマ   |
| 化学<br>(対応可能教員数: 25名)  | 9コマ    | 9コマ    | 9コマ    |
| 生物学<br>(対応可能教員数: 30名) | 9コマ    | 10コマ   | 10コマ   |
| 地学<br>(対応可能教員数: 12名)  | 5コマ    | 5コマ    | 6コマ    |

表-2 長崎大学における地学を履修した学生の意識調査結果

| 質問項目                   | 「はい」の学生    | 備考                        |  |
|------------------------|------------|---------------------------|--|
| 高校時代に学校の課程で「地学」を学んだ    | 8名 (8%)    |                           |  |
| 地球温暖化についてこれまで学んだ       | 80名 (78%)  |                           |  |
| 天体に関わる講義               | 興味があった     | 11~50% (29%)              | 複数回答のため最大と最小の割合を、( )内は平均   |
|                        | 認識を新たにしました | 3~30% (18%)               |  |
| 地球物理に関わる講義             | 興味があった     | 11~14% (12%)              |  |
|                        | 認識を新たにしました | 15~16% (15%)              |  |
| 気候変動に関わる講義             | 興味があった     | 6~59% (29%)               | 複数回答のため最大と最小の割合を、○内は平均。地学を学んだ者のうち25%、地球温暖化について学んだ者のうち55%が認識を新たにしました。 |
|                        | 認識を新たにしました | 3~38% (16%)               |  |
| 防災に関わる講義               | 興味があった     | 6~12% (9%)                | 複数回答のため全回答数からの割合を表示  |
|                        | 認識を新たにしました | 9~11% (10%)               |  |
| 講義で得た知識が、今後の生活の上で役に立つか | 89名 (87%)  | ある程度役に立つ (63%)、役に立つ (24%) |  |

有効回答数: 103名 (男性63名, 女性40名)

学部別回答数: 教育学部46名 (内、理科課程7名), 経済学部8名, 歯学部22名, 工学部19名, 環境科学部8名

どう対応し、安全をどう確保するのか、といった個人個人の認識の低下、すべてお任せ的な発想の蔓延、が見られる。こうした社会情勢を打開するためにも地学的視点に立った教育が必要である。

一方、本来はマニュアルなどには記載できない技術や情報が存在するが、そのことが見落とされがち傾向にある。本来、科学の修練には積み上げが必要であり、それには長い訓練が必要であるにもかかわらず、そのことも忘れられがちである。

こうしたお任せ的な発想や積み上げの否定は、それらに対応する技術者への対価の低下をもたらす。対価の低下は、将来それに取り組もうとする人の減少を生む。こうした問題に対処するためには、基本に立ち返り、時間はかかるものの教育に立脚するしかない。

市民や学生向けの学会やNPOによる地学教育のための市民フォーラムなどの開催、高等学校や大学への地学教育の非常勤講師の学会としての派遣など学会と市民・教育機関との連携を模索し、実行に移すべきときと考えられる。

NPO法人自然復元協会などでは、一般または学生向けの講習会を資格とセットにし、エンジニアリングを再教育する方法もとられている。こうした活動の広がりも望まれるところである。

また、(財)日本環境衛生センターなどいくつかの公益法人が実施している研修会・講習会などの教育・訓練も今後より充実させるべきである。今後は、より開かれた研修会・講習会(手ごろな講習料であることも含む)が望まれるとともに、応用地質学的な観点からの教育を取り入れるように学会として働きかけ、講師などを派遣することなどを考えても良いのではないだろうか。

一方、大学においても、科学の積み上げを支援するものとして社会人教育が挙げられる。近年、博士号の社会人取得が増加してきているが、これもエンジニアリングの再教育の場といえよう。しかし、これだけでは不十分であり、より積極的な大学と企業・官庁との再教育の枠組みを作り出していくことが望まれる。そのためにも、大学が日頃からより広く社会と接点を持つことと同時に、人材教育を重点においた大学と研究技術開発に重点をおいた大学の分離が必要である。そのうえで、人材教育に重点をおいた大学においては、民と学との本格的な人材交流(教える側・教えられる側双方の交流)の活性化が必要と考えられる。

こうした教育は、数十年先の応用地質学に携わる技術者の輩出にもつながり、この分野の社会的理解にもつながる。ひいては、本来のエンジニアリングの復活につながり、対価の上昇にも寄与するのではないだろうか。

### 3.2 マニュアルを妄信させない教育

IT化の進行は、さまざまなメリットとデメリットをもたらしている。投資マネーなどのバーチャルな世界が現実の社会を脅かしている側面はデメリットとして受け取られよう。これなど、人が頭の中で想像した社会だけが一時的に動いていると言えよう。この想定した状況が続けば大きな問題はないが、往々にして想定外のことが生じ、社会や経済に混乱を招くことが多い<sup>※7</sup>。

一般に、相対的頻度に基づいた生起確率の中で想定した物事・事象の発生をわれわれは考えている。マニュアルとはこれを具体的に表現したものである。逆に言えば、「有限個の観測結果を用いて推定した相対頻度は、はたして真の確率か」(小林<sup>20</sup>)という問いにもあるように、想像していなかったような事態に対応することは、マニュアルでは不可能に近い。マニュアルは、その作成時点で作成者が想定したことに対応する方法を記しただけのものである。

マニュアルは想定したもの以外のことは記載されていない

※7 2008年秋以降のアメリカ発の不況は、モノとマネーが分離し、バーチャルなマネー世界が実際のモノ世界と乖離したことに耐え切れなかった側面がある。この辺の詳しいことは、浜<sup>19)</sup>などを参照していただきたい。

いので、マニュアルに従っても緊急対応はほとんどできない。本来、個々の場所や時間で対応は異なるので、本来のエンジニアリングジャッジメントが必要なはずであるが、そうっていないのが現状である。個々に対応したエンジニアリングジャッジメントがないために「悪かろう」製品（あるいは報告書）となり、マニュアルなどがあるために誰にでもできるという意識が根底にでき、「安かろう悪かろう」製品が蔓延することになりはしないだろうか。これは換言すれば、品質の低下である。

このことが原因の一つとなって、科学の積み上げは対価も低く意味がないという気持ちの蔓延から、希望を低下させ、それが向上心・公共心・努力する心を低下させるといった外部経済の低下をもたらす、科学・技術の価値低下をもたらす、といったような悪循環を生み出している、と考えられる。

また、マニュアルを作るということは、極論すれば、読み・書き・ソロバン以外の教育は不要である、ということに結びつく。すなわち、マニュアルになったものを読みさえすれば、後はそこに書いてあることだけを実行すればよい、という風潮になる。そこには、教育などの科学・技術の積み上げはなく、必要がないと考えるのである。この意味において、マニュアル化は教育の否定にもつながる。

しかしながら、齋藤<sup>20</sup>がその著書『代表的日本人』の中で示したように、教育において基本となる部分においては、教科書（またはマニュアル）を作成する必要がある。これにより基本の徹底を行い、そのうえで、応用段階ではマニュアルを離れる、という区別が必要である。すなわち、これまでのマニュアル化の方向性がまずかったのだと考えられる。「マニュアルとは物事を行ううえでの基本・基礎を示したものであり、それ以上でもそれ以下でもない」ということをわきまえて使い、応用段階では、すなわちエンジニアリングする段階では、マニュアルに頼るのではなく、それまで人が積み上げてきた知識と経験により実施するのである。この使い分けが大切であり、そのことを肝に銘じさせなければならない。また、世の中の方向性を、上記に示した方向に変えなければならない。

### 3.3 何を教えるべきか—根本を考えさせる

荒井<sup>22</sup>が述べているように、広い視野で体系的思考のできるものが、今日では強く望まれる。そして、本質を教えながら、イメージを植え付け考えさせることが重要である。そのためには、現時点において、何がわかっていて何がわかっていないのかをまずきちんと教え、そのうえで、何が問題でそれにどう対処するのが最もわれわれにとって良いことなのか、といったことを教えていく必要がある。

さらに、以下のことが人には作用するため、現象を捉えるうえで常に注意する必要があることを教えていくべきである<sup>18)</sup>。

①認知的節約(経済性)の原理：限られた情報から欠けた部分を経験や先入観や単純な類推によって補い、効率よく事態を処理しようとする心理

②認知的保守性(一貫性)の原理：すでに持っているスキーマを保ち維持しようとする傾向で、反証を無視したり、無理にでも自分の描像に合わせてしまう心理

③主観的確証の原理：明らかな反証であっても自分の予期を積極的に支持していると勝手に解釈する心理

そして、地学的な観点としては、第一に、時間と空間の概念を教えることである。災害は短期的な環境変化をもたらすが、地球温暖化などの地球環境問題は、長期的な環境変化をもたらす。すなわち、時間のスケールが異なるだけで、結果として出てくることは人の幸福を奪うという点で同じものである。空間の概念も、目に見える断層の規模から顕微鏡サイズの亀裂に類似性<sup>23)</sup>があることなど相互に関係してくる。このような時間的にも空間的にもさまざまなものが相互に関連する、ということを知っていくべきであろう。そして、常に状態は変化してきている。こうしたことは、この連載でも示してきた(大野<sup>19)</sup>や横田<sup>24)</sup>。

次に、循環的な社会システムとしての観点から、入口である資源・エネルギー論から食糧問題、出口である廃棄物の処理・処分とその資源化までの一つの循環を考えるべきことを教えるべきである。

さらに、循環の概念だけでは、誤って資源・エネルギーの浪費につながる場合があるので、松井<sup>25)</sup>の述べるレンタルの思想<sup>26)</sup>も重要な概念として教えるべきである。これまで建設されてきたダムや堤防などの公共物は、今の世代が、一時的にレンタルしているものであり、次世代にきちんと返すべきものである、といったような概念である(ここには、メンテナンスの思想が入る)。

こうした基本的概念のうえで次の観点として、小島<sup>12)</sup>のいう三つの側面から、現象論・物性論・方法論と順に教えていく必要がある。現象論では、登坂<sup>26)</sup>の示すような水圏などの物質圏の現象に加え、生物圏の現象を複合した現象論を現時点でわかっていることとわからないことを区別して教育すること、物性論においては、前述したように時間と空間による変化を前提とした論を示すことが重要である。方法論では、適切なIT技術の利用方法を示し、その限界(IT技術利用の仮定)も理解させることが重要である。時間と空間の概念に立脚した現象の把握は、点や線で把握するよりも格段に広い視点で物事を俯瞰して捉えることができる。時系列的に捉えること、平面・空間で捉えることによって、時間的または空間的な各種の影響の積み上げや相互関係をも捉えることが可能となり、誤った判断を避ける方法の一つとなる。例えば、大野<sup>27)</sup>や LAAKSOHARJU<sup>28)</sup>

※8 この思想の中には、資源・エネルギーの総量規制という概念が入っている。この点は、単なるリサイクルの思想とは異なる。

は平面や空間で俯瞰的に状況を把握している。さらに、大野ほか<sup>29)</sup>や徳永<sup>30)</sup>は、環境を捉える方法として、時間・空間の同時並行的な把握法<sup>31)</sup>を示しており、こうした考え方が広がってくれることが望まれる。

#### 4. 実践的観点からのアプローチ

##### 4.1 社会の変わらないニーズのために

社会の変わらないニーズとは何であろうか？ それは一言で言えば、「最大多数の最大幸福」ではないだろうか。土木計画学などの計画論においては“市民一人一人のニーズに完全に答えることは不可能であり、一度提供されたインフラは簡単に変更できないために、インフラの整備やその管理運営に関連した事業の推進は、事前に慎重な検討が必要であり、計画学はそれに答えるもの”であると言われている。そこには、規制と秩序のもと、最大公約数的な意思決定が必要となる。われわれの携わる応用地質学(Engineering Geology)の分野でも、このような社会のニーズにかなっていないのかどうか、事前の慎重な検討が必要不可欠なのではないかと考えている。

この意味で、これからのエンジニアリングにおいては、研究のための研究は実施しないこと<sup>32)</sup>、道具は道具として適切に利用することが重要である。例えば、近年IT技術の一つとして利用が多くなってきている人工衛星も、大野ほか<sup>31)</sup>が述べるように「人工衛星の利用は、既存のツールや技術に取って代わるものではなく、補助的なデータとして、これまでよりも、より多くの情報をそこから得られるツールとして考えていくもの」である。研究や技術開発は、このことを基本に実施されなければならない。

そのためには、研究、技術開発や調査・設計・施工の目的を明確に示す必要がある。すなわち、社会の変わらないニーズにあったものなのかを常に検討しながら進めていくこと、まずは、この点が重要である。

##### 4.2 応用生態学的視点の導入

これまでの応用地質学において、最も抜けていた観点が、生態学の観点である。物質圏の環境が変化すれば、それに従って生物の生息も異なり生態環境も変化する(図-4)。この生態環境は、逆に物理・化学的な環境変化をもたらす場合がある。このように物質圏と生物圏の相互作用については、近年盛んに研究が行われるようになってきた(東京大学地球惑星システム科学講座<sup>33)</sup>など)。

われわれに身近な斜面問題においても、根系が斜面の安

定に効果がある場合があることが示されたり<sup>34)</sup>、津波の影響が植生の状況によって異なる場合が示される<sup>35)</sup>など、生物が物質圏に影響を及ぼす事例は多い。この逆の物質圏から生物圏・人間圏への影響としては、公害や健康被害などの環境問題が過去から現在に至っても見られる。

生物に関係した作用としてよく知られているものの一つとしては、微生物などによる酸化・還元などの作用が挙げられる。廃棄物中の微生物の還元作用による硫化水素やメタンの生成なども良く知られた現象である。また、白色腐朽菌によるPCB類の分解<sup>36)</sup>や複合微生物系によるダイオキシン類の分解<sup>37)</sup>など、汚染などへの対策(例えば、バイオレメディケーション)なども生物圏と物質圏の相互作用が理解されたことによって成立している。

一方、より積極的に生態学の観点を導入することについては、この連載で稲垣・佐々木が示したような応用地生態工学的な取り組み<sup>38)</sup>や吉川らのオムニスケープジオロジ的な取り組みなど<sup>39)</sup>が挙げられる。

しかし、図-5にもあるように、その生態の及ぼす影響というものを見積もることは容易ではない場合がある。生物圏と物質圏の相互作用については、未解明の部分が多いのである。したがって、今後の応用地質学の取り組む分野の一つとして、生物圏と物質圏の相互作用の解明と、そこから得られた知見の現場への応用といったことが挙げられる。

##### 4.3 環境経済学的視点の導入

経済的な視点というと、もっぱら費用便益分析を思い浮かべるであろう。しかし、環境経済学の観点から、以下の観点が重要であることが示されるようになってきた<sup>40)</sup>。

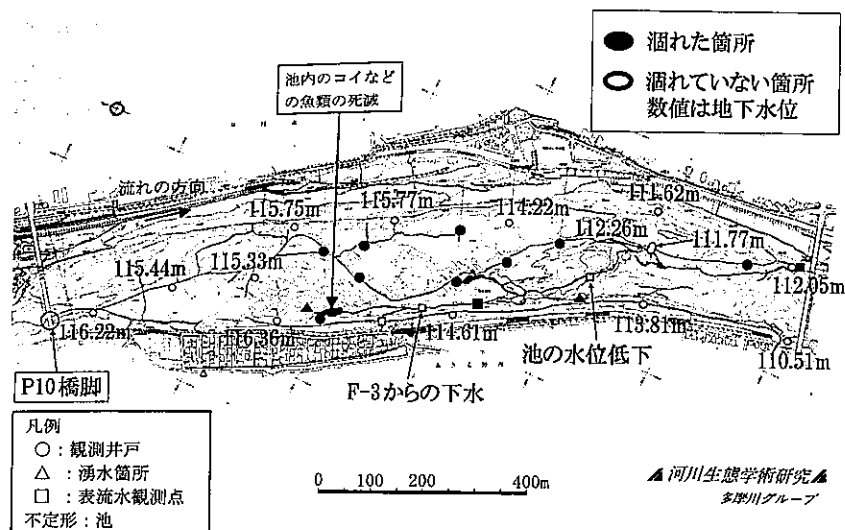
- ・フローとストックの関係の重視⇨これまではフローが大きすぎた：循環型社会の考え方に相当
- ・不確実性を考慮した体系：ハザードとリスクの概念を導入することに相当
- ・市場経済内部に取り込む工夫：CVM<sup>41)</sup>などによる貨幣価値化の積極的な導入
- ・世代間の衡平の配慮：長期的な視野を考慮することの重要性
- ・ホモエコノミクスの修正：経済合理性だけでは説明できない人間行動の増加。共感や義務・責任でも行動する。すなわち、人は「合理的な愚か者」ではないので、心理・行動学的な概念を導入すること
- ・総合的なシステム思考

このことは、これまでのような費用便益分析の限界を示唆したものであり、外部経済をどのように考慮するのかという問題も提起している。すなわち、貨幣として表しがた

※9ある事象について、ある点の時間変化だけを把握する、または、ある時間の空間分布だけを把握するのではなく、空間的な分布の時間的な変化を把握する手法のこと。

※10基礎研究の否定ではない。ニーズに沿っても数十年後・数百年後にしか見返り(便益)のないものもあるが、ニーズに沿った基礎研究はきちんと実施すべきである。

※11環境の価値など便益が評価しにくいものをアンケート調査などにより支払意思額または受取意思額などとして算出する手法。仮想評価法または仮想市場評価法(Contingent Valuation Method)とも呼ぶ。



P10 橋脚の耐震工事のために、右岸河川敷内を掘削したところ、下流部の河川敷内の池及び観測井戸が潤れた箇所が生じた。これは、河川敷内の旧河道の影響によるものであることが分かったが、橋脚部の地盤掘削によって、下流の湿地環境がこのような状況になるとは、事前には予測できなかった。この湿地内の水流環境、すなわち物質圏の変化は、当然のことながら、コイなどの魚類の死滅など生物圏の変化をもたらした。このように、物質圏の事象でも一概には予測し難いことがあり、生物圏への影響はさらに予測し難い。

図-4 予測しがたい河川敷内の湿地帯の枯渇による生物圏への影響 (大野ほか<sup>42)</sup>を一部改変)

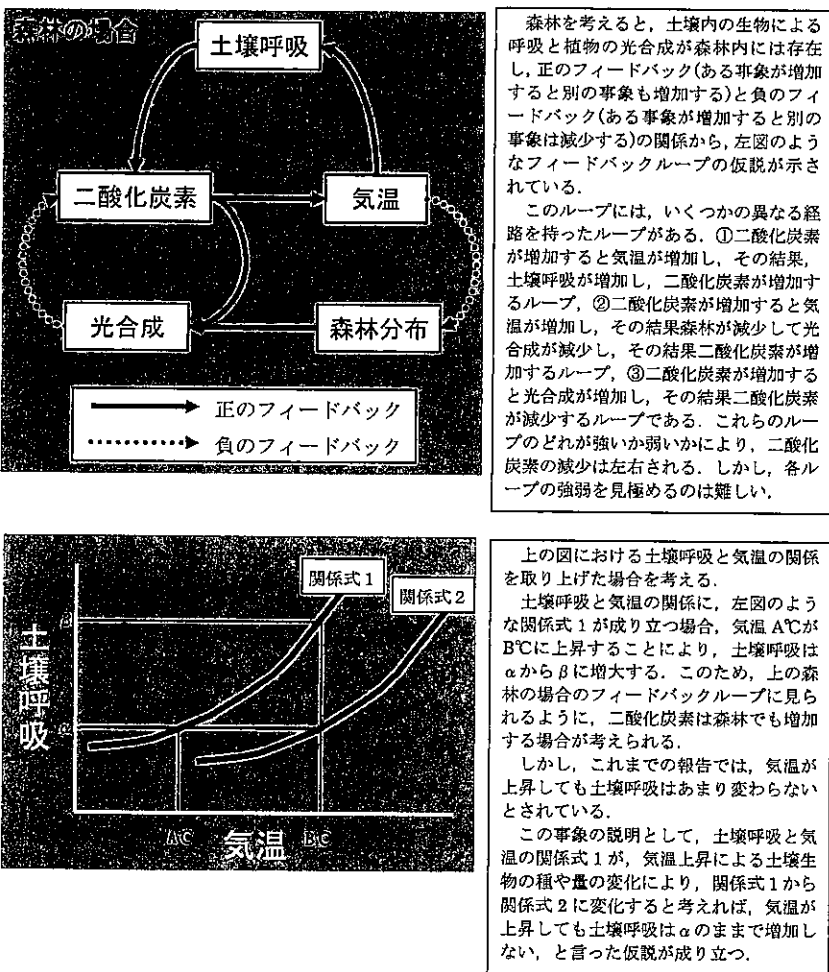


図-5 生物圏から物質圏へのフィードバック (東京大学地球惑星システム科学講座<sup>33)</sup>を一部改変)

いものを貨幣化することが必要となり、近年経済評価の分野で導入が進んでいる。その中で、CVMやコンジョイント分析<sup>※12</sup>などが今のところ有効な手段の一つであると思われる。これが、さまざまな対象を市場に取り込む工夫の一つである。

応用地質学の分野でもこうした手法が積極的に利用されることが望まれる(利用法として、例えば、吉川・大野<sup>40</sup>を参照。ただし、未だ十分とは言えず、これからの発展が期待される)。

とくに、環境経済学のいうところの「資源生産性」の概念からは、エンジニアリングジャッジメントが重要となる。資源生産性の概念においては、注文生産、ストックの有効利用、地球の有限性の認識にもとづくリサイクルが必要であるとされている<sup>40)</sup>。注文生産は、これまでの公共事業において普通に見られたが、これからは、より小さいものための注文生産も増加すると思われ、そうした個々の注文生産に対するエンジニアリングジャッジメントに環境経済学が必要である。また、ストックの有効利用は、ダムや橋梁などの構造物のメンテナンスが重要であることを示しており、ここにおいても環境経済学の導入が求められる。こうした注文生産、ストックの有効利用は、応用地質学の分野でも行ってきたことであり、環境経済学を導入しやすい部分である。

しかし、こうした貨幣化を行ったとしても不確実性は残る。ここには、リスクを捉えるのと同じように、確率論の導入と超長期を予測するシミュレーション(例えば登坂<sup>42), 43)</sup>が必要となる。超長期の状況を予測するためには過去の状況を把握することが一つの解決策であり、この点は、放射性廃棄物の処分問題に関する分野で研究が進んでいる(例えばHEATHCOTE and MICHIE<sup>44)</sup>)。それ

※12環境などの持つ複数の要素について、その環境により利益を受ける者(享受者)はどの点に重きを置いているのか、また享受者が最も好ましいと考えている要素の組み合わせはどれかなどを統計的に探るための手法。



らのモデルの発展と、より広い分野への適用・普及が望まれる。

#### 4.4 複雑系の概念の導入

これまでの自然科学は、要素還元主義<sup>※13</sup>の立場で発展してきた。しかし、地球上の人間圏をも含めた現象は、要素還元主義からは捉えることが難しい。地球上の現象は、正・負のフィードバックをはじめさまざまな反応を示すうえ、一様、均質ではない。あるインパクトに対して、どのような現象が起きるのか、実際のところわかっていないことの方が多い。

後でわかってみれば一般的または簡単なことでも、当初予測ができなかったことも多い。例えば、大野ほか<sup>※12</sup>などにあるように、橋脚工事によって河川敷の湿地内の池などの枯渇を予測できなかったこともある(図-4)。同様に、斜面災害など災害への対応も、その発生予測や発生による影響を見積もることが難しいことは、多くの技術者が認めるところであろう。

そこで現れたのが、リスクマネジメントではないだろうか。リスクマネジメントは、環境影響や災害などの危険性(ハザード)があることはわかるが、その危険性の度合い(リスク)がどれくらいであるのか、といった評価を行うことを基本としている。これに基づいて、不測の事態に四つの観点<sup>※14</sup>から対処する。こうしたリスクの概念の導入が重要な事項となる。

われわれを取り巻く環境は、複雑系の科学である。複雑系をモデル化したものの特長としては、1)多数の要素があること(どこまで考慮するかは計算機の容量と能力により変わる)、2)要素間の非線形相互作用がすべてわかっているわけではないこと(モデル化する方法はいくらでもある)、3)時間積分を重ねているうちに誤差が集積すること(バタフライ効果<sup>※15</sup>やカオスが生じる)、ことである。このことは、数値シミュレーションの結果に疑問が生じるということでもあるが、全面的に否定することでもない。池内<sup>※16</sup>の言うように、結果を全面的に正しいとは考えず、蓋然性の高い結果(あるいは警告)だと受け取るのがよいだろう。

ここには、確率論が介在してくる。ハザードはあるが、そのハザードがどのくらいの確率で生起するのかによりリスクが異なる。このリスクをその時点での科学によって適切に評価することが最も重要である。すなわち、リスクマ

ネージメントの実施である。こうした動きはJICAなどの国際協力の中でも見られ<sup>※17, 18</sup>、近年盛んに対応がなされるようになってきた<sup>19</sup>。こうした点での今後の応用地質分野の人材の活躍が望まれる。

以上に示したように、複雑系の概念を導入するということは、予防措置原則を念頭に置くことでもある。複雑系の未来予測は不確実性が大きい、よりリスクの高いものに対して対応していくことである。例えば、地球温暖化への対策でも、それを否定するもしくは懐疑的に見る論(単純に温度が上がるわけではないなどの論文<sup>20</sup>も含む)がいくつも見られるが、温暖化していくことのリスクが最も高いと判断し、それに対処しようとしているのが現状であり、この行為は現時点において、予防措置原則にも適い、社会のニーズにも応えたものになっている。

八村ほか<sup>21</sup>が示したように、災害廃棄物などの問題もこうした予防措置原則に基づく対応が必要であろう。短期間で膨大に発生する災害廃棄物は、野ざらしにされたりすることも多く、ハザードがある。しかし、現時点においては、焼却、野ざらし(風雨の作用)、嫌気環境などのもので、どのような状況となり、どの程度のリスクが存在するのかなど未解明の部分が多い。この問題は、複雑系を導入した問題として、今後、応用地質学会などで解決すべき課題の一つである。

#### 4.5 地域の問題をグローバルな視点から考える

経済のグローバル化は、資源・エネルギーの大浪費に繋がりがつあり、再生可能エネルギーなどの地産地消<sup>※16</sup>にもとづくシステムの確立が求められている。

一方、今岡<sup>22</sup>は、活発化しつつあるジオパーク計画に対して、「狭義の地質にこだわらず“応用地質学=環境地質学”との見方が重要である」ことを示し、日本的なミニチュアバイオスフェアとしての見方の重要性を指摘している。このジオパーク論は、地産地消の一つとしての地域振興の必要性も説いている。

また、大野ほか<sup>23</sup>も地産地消に基づいた再生可能エネルギーの推進とそれへの応用地質学の関与の必要性を述べている。

しかしながら、地産地消の観点にのみ囚われすぎると、その地域だけしか見えなくなってしまう場合がある。カオスのバタフライ効果のように、ある地域の動きは、大なり小なり全体(日本や世界など)に影響を及ぼす。そのためにもグローバルな観点を考慮し、周辺との関連や影響を把握して進めるとともに、場合によっては柔軟に内容を変更できるようにしておくことが大切である。さらに、大野ほか<sup>24</sup>や養老<sup>25, 26</sup>が述べているように、廃棄物まで含めた全体の流れで捉えることが重要な観点である。

※16その場で生産したものをその場で消費することの意味。近年、この観点での地域振興が盛んになってきている。

※13還元主義とも言う。自然科学は、要素ごとに細かく分解し、その現象を把握すれば、全体の現象も捉えられるとする考え方。これまで、多くの物理・化学現象をこの立場で捉え、解決してきた。

※14リスクの回避・予防、リスクの軽減、リスクの移転、リスクの保有といったリスクへの対応策のこと。

※15初期条件のわずかな違いで、時間が経過した後に起きる結果が大きく異なることがある。このわずかな初期条件の違いによる効果をバタフライ効果と呼ぶ。

以上に示したように、地域の問題をグローバルな視点から捉え、対処することが重要である。応用地質学に携わる者やその学問を学んできた者は、こうしたことを進めていくだけの十分な素養を持ちえていると思っている。

## 5. おわりに

筆者は、この連載特集の初めの稿<sup>1)</sup>で「21世紀に起きている環境問題を解決するために必要な複数の手を持ち、確たる理念・倫理観を持った専門家になる素養が、応用地質学に携わるわれわれにはある」と述べたが、応用地質学に携わる人が少なくなっている今、それだけを訴えては解決にならないことに遅ればせながら気づいた。基礎教育としての地学を理解した人々が多く輩出され、さまざまな分野で活躍してもらわなければならない。それによって、環境問題の本質を理解し、システムとして捉え対処できる人材が増え、エンジニアリングの重要性を理解できる人材も増えるのではないだろうか。このことが、技術の対価と外部経済などの向上を生み、物欲主体の社会からの転換ができるのではないかとと思われる。

また、実践面において、社会のニーズを捉えたうえで、応用地生学的視点の導入、環境経済学の視点の導入、複雑系の概念の導入の必要性を示したうえで、地域の問題にグローバルな視点で対処していくべきことを示した。

本論で述べたことは、まだまだ荒削りで、十分な内容とはなっているとは言いがたく、読者には色々なご意見や疑問があると思われる。これを機会に、誌上の討論や電子メール等での意見交換などができれば幸いである。また、これを機会に、新たな論文や報告が学会誌に投稿されることも願っている。

謝辞 本連載を始めるにあたっては、日本応用地質学会編集委員会(前)委員長の斎藤庸氏に多大のご尽力をいただいた。ここに深謝の意を表す。また、連載をここまでさせていただいた(現)委員長の木谷日出男氏をはじめとした委員会の方々、学会理事の方々のご支援があって、何とかここまでたどり着くことができた。ここに感謝の意を表す。また、小島圭二(元)学会長との学会50周年記念での打合わせも参考になった。これを企画運営していただいた研究企画委員会の大家委員長をはじめとした委員会の方々、小島先生に深謝する。

## 引用文献

- 1) 大野博之(2006): 連載特集 環境問題への挑戦(1), 地球史における環境変化と21世紀の環境問題, 応用地質, Vol.47, No.1, pp.40-49.
- 2) 山田昌弘(2007): 少子社会日本—もうひとつの格差のゆくえ, 岩波新書(新赤版)1070, 岩波書店, 232p.
- 3) ラビ・バトラ(1994): 1995→2010世界大恐慌—資本主義は爆発的に崩壊する, 総合法令, 261p.
- 4) 養老孟司(2008): 耕論どうみるエコブーム—国民に道徳を押しつけるな, 朝日新聞, 2008年8月31日付朝刊7面.
- 5) 武田邦彦(2008): 偽善エコロジー—「環境生活」が地球を破壊する, 幻冬舎, 230p.
- 6) 稲垣秀輝(2001): 暮らしとその安全のための応用地質, 応用地質, Vol.42, No.5, pp.314-318.
- 7) 保高徹生・牧野光琢・松田裕之(2008): 日本におけるブラウンフィールド発生確率の推定, 環境科学会誌, Vol.21, No.4, pp.291-306.
- 8) 藤倉良(2006): 環境問題の杞憂, 新潮社, 209p.
- 9) The Royal Society (2008): Sustainable biofuels: Prospects and challenges, ISBN 978 0 85403 662 2, 82p.
- 10) 稲垣秀輝・大野博之(2007): 連載特集-環境問題への挑戦(6): 災害に起因する環境破壊の軽減, 応用地質, Vol.48, No.5, pp.265-272.
- 11) 栗原則夫・今村遼平(2008): 地盤技術論のすすめ—地盤技術者のもの見方・考え方, 鹿島出版会, 208p.
- 12) 小島圭二(2008): 特別講演「東京湾岸地域の地質工学—50年の実績」資料, 日本応用地質学会50周年記念事業
- 13) 吉川謙造(2001): 宅地造成地盤の震害予測法と対策工法, 東北工業大学大学院博士論文, 122p.
- 14) 愛知正温・徳永朋祥(2007): 都市域における地下水環境問題の変遷と今後の展望—東京低地を例として—, 土と基礎, Vol.55, No.8, pp.5-8.
- 15) (独)国立環境研究所・京都大学・立命館大学・みずほ情報総研(株)「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム(2008): 低炭素社会に向けた12の方策, 環境省地球環境研究総合推進費戦略研究開発プロジェクト(添付資料).
- 16) 大野博之(2007): 地学教育と災害・環境問題教育のアウトリーチ, 2007年地球惑星連合大会.
- 17) 金井昌信(2006): 市民フォーラムの開催方法とアンケート調査の提案, 第2期第8回斜面工学研究小委員会資料(2006年11月22日), <http://www.jsce.or.jp/committee/jiban/slope/061122/8-5-1.pdf>.
- 18) 池内了(2008): 疑似科学入門, 岩波新書(新赤版)1131, 岩波書店, 202p.
- 19) 浜矩子(2009): グローバル恐慌—金融暴走時代の果てに, 岩波新書(新赤版)1168, 岩波書店, 198p.
- 20) 小林潔司(2004): リスク工学と地盤工学, 1. 講座を始めるにあたって, 土と基礎, Vol.52, No.4, pp.41-42.
- 21) 齋藤孝(2008): 代表的日本人, ちくま新書 733, 筑摩書房, 219p.
- 22) 荒井一博(2007): 学歴社会の法則—教育を経済学から見直す, 光文社, 269p.
- 23) 大野博之・小島圭二(1992): 岩盤割れ目のフラクタル(その1)—フラクタル分布—, 応用地質, Vol.33, No.3, pp.133-146.
- 24) 横田修一郎(2006): 連載特集 環境問題への挑戦(2) 地球史における環境変化に学ぶ, 応用地質, Vol.47, No.3, pp.156-161.
- 25) 松井孝典(2005): 宇宙生命, そして「人間圏」, ワック, 229p.
- 26) 登坂博行(2006): 地圏の水環境科学, 東京大学出版会, 364p.
- 27) 大野博之(2006): 地盤話 2—地盤の計り方③, 生活と環境, Vol.51, No.6, pp.68-71.

- 28) M. LAAKSOHARJU, E. TULLBORG, P. WIKBERG, B. WALLIN and J. SMELLIE (1999): Hydrogeochemical conditions and evolution at the Aspo HRL, Sweden, *Applied Geochemistry*, Vol.14, pp.835-859.
- 29) 大野博之・八村智明・齋藤大・浅見和弘(2008):アーカイブ衛星データを用いた建設事業の植生への影響のモニタリング, *環境情報科学*, Vol.37, No.3, pp.106-117.
- 30) 徳永朋祥(2007):首都圏の地下水水理ポテンシャルの変遷と地下水管理の可能性, *水環境学会誌*, Vol.30, No.9, pp.489-492.
- 31) 大野博之・稲垣秀輝・大久保拓郎・宋琳晶(2008):人工衛星DEMデータと光学データを用いた地すべり地形の評価, *日本地すべり学会誌*, Vol.45, No.2, pp.55-59.
- 32) 大野博之・対馬孝治・小倉紀雄・渡辺邦夫(2002):橋脚工事による河川敷内の流水変化について—多摩川永田地区を例にして, *応用地質*, Vol.43, No.3, pp.156-167.
- 33) 東京大学地球惑星システム科学講座(2004):進化する地球惑星システム, 東京大学出版, 236p.
- 34) 稲垣秀輝(2000):滋賀県南西部に分布する風化花崗岩の表層崩壊の特徴, *応用地質*, Vol.41, No.2, pp.103-112.
- 35) N. TANAKA, Y. SASAKI, M. I. M. MOWJOOD, K. B. S. N. JINADASA and S. HOMCHUEN (2007): Coastal Vegetation structures and their functions in tsunami protection: experience of the recent Indian Ocean tsunami, *Landscape Ecol. Eng.*, Vol.3, No.1, pp.33-45.
- 36) 児倉理一郎・近藤隆一郎・坂井克己・高田智(1996):白色腐朽菌によるPCB類の分解, 日本生物工学会大会講演概要集.
- 37) 近藤隆一郎・坂井克己・渡辺吉雄・倉根隆一郎(2001):複合微生物系による環境ホルモンへの新展開, 日本生物工学会大会講演概要集.
- 38) 稲垣秀輝・佐々木靖人(2006):連載特集 環境問題への挑戦(3), *応用地質学による自然環境の保全*, *応用地質*, Vol.47, No.5, pp.297-309.
- 39) 吉川宏一・大野博之・稲垣秀輝・平田夏実(2003):オムニスケープジオロジー—ネパールと四国の比較, *応用地質*, Vol.44, No.1, pp.14-24.
- 40) 三橋規宏(2007):環境経済入門(第3版), 日経文庫1155, 日本経済新聞出版社, 232p.
- 41) 吉川宏一・大野博之(2004):中小規模開発におけるオムニスケープジオロジー—その概念と手法—, *自然環境復元研究*, Vol.2, No.1, pp.65-74.
- 42) 登坂博行(2002):地質時間にわたる淡塩漸移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その1)—静的境界条件下における検討—, *応用地質*, Vol.43, No.5, pp.293-305.
- 43) 登坂博行(2002):地質時間にわたる淡塩漸移帯の形成過程と形態変化に関する数値解析的検討(その2)—動的境界条件下における検討—, *応用地質*, Vol.43, No.5, pp.306-315.
- 44) J. A. HEATHCOTE and U. McL. MICHIE (1999): Estimating hydrogeological conditions over the last 120 ka: an example from Shellfield, UK, *J. the Geological Society*, Vol.161, pp.995-1008.
- 45) JICA, Nippon Koei Co., Ltd. and OYO Int. Corp. (2007): The study on risk management for sediment-related disaster in selected national highways in the Republic of the Philippines.
- 46) JICA, Nippon Koei Co., Ltd.(2008): The Study on disaster risk management for Narayangharh - Mugling Highway.
- 47) 小林潔司ほか(2004):講座リスク工学と地盤工学(1. 講座を始めるにあたって〜8. 講座を終えるにあたって), *土と基礎*, Vol.52, No.4〜9.
- 48) 山内恭(2007):研究の前線から—南極は温暖化しているのか?, *極地研NEWS*, No.182.
- 49) 八村智明・宮原哲也・大野博之(2007):連載特集 環境問題への挑戦(4), 災害廃棄物による地下水・土壌汚染の可能性, *応用地質*, Vol.47, No.6, pp.360-368.
- 50) 今岡裕作(2009):連載特集 環境問題への挑戦(7), 環境地質学にもとづく日本のジオパーク論—島根県の「神西湖」を題材として, *応用地質*, Vol.49, No.6, pp.350-357.
- 51) 大野博之・奥真美・吉田雅文・堤俊明・松島範行・山口義人(2007):連載特集 環境問題への挑戦(5), 再生可能エネルギーの利用と将来展望, *応用地質*, Vol.48, No.4, pp.207-217.
- 52) 養老孟司(2003):いちばん大事なこと—養老教授の環境論, 集英社, 198p.

(2008年9月17日受付, 2009年3月23日受理)

*Jour. Japan Soc. Eng. Geol.*, Vol.50, No.3, pp.165-176, 2009

## Challenge to Environmental Problem on Engineering Geology

Hiroyuki OHNO

### Abstract

To solve environmental problem, we have to grasp the problem, being holoscopic. It is important that we grasp total flow of material / energy, to make the sustainable social environment. In this paper, I considered and examined what we can do about that.

Recently, according to environment changes such as the climate changes, environmental problems have been linking with disasters. Environmental destruction generates with disaster, and disaster would occur frequently because of environment changes. To solve these situations, it is necessary to improve the engineering. Thus we should carry out disaster/environment education in long-term view in several tens of years. And, it is shown what we should teach fundamentally.

In addition, the approach from practicing viewpoint is discussed based on logics of natural phenomena, geotechnical properties, and methodology. The author showed that it should take measure of the problem of regional environment for the maximum happiness of the greatest number. Therefore, we should introduce viewpoint of the applied ecology and the environment economics into engineering geology, and should apply the concept of complex systems on the viewpoint of four-dimension concept by time and space.

**Key words** : environmental problem, engineering geology, education, natural phenomenology / geotechnical properties theory / methodology