

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 — 応用地質学が期待する21世紀の構造地質学 —

Various view points for geological structures and construction of interface among them:
Structural geology in the 21st century expected from engineering geology

Abstract

横田修一郎*

Shuichiro Yokota*

1997年8月30日受付.

1997年11月30日受理.

* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科.
Department of Geoscience, Faculty of Sci. and
Eng., Shimane University, Matsue 690-8504,
Japan
e-mail: yokota@riko.shimane-u.ac.jp

Not only structural geology, many study fields such as seismology, mineral resources, geotechnical engineering and engineering geology are also closely related to any geological structures. However, purposes and targets for study are not the same among them. Difference in purpose may bring about the difference in both properties of targets and view points for study on geological structures. Therefore, this sometimes causes any misunderstanding, and it interrupts the progress of study in these fields.

As factors concerning these various view points, following ones may be especially important; differences in both scale and properties of structures, existence of non-tectonic structure due to slope movements, and expression of structures as the informations on maps. For establishment of the 21st century's structural geology, it should be required to understand these various view points, and therefore an interface function in structural geology should be constructed.

Key words: geological structure, structural geology, engineering geology, shear zone, slope

はじめに

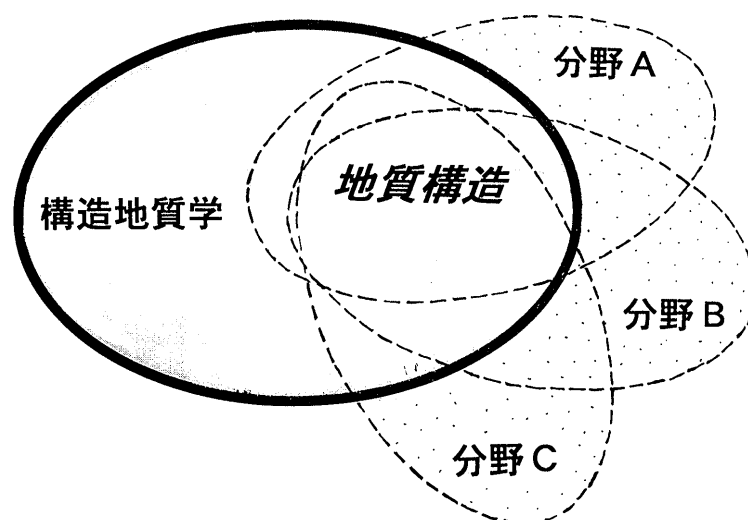
地質構造とその形成過程の研究は構造地質学の基本課題であるが、地質構造に関わる研究分野は今日必ずしも構造地質学だけではない。例えば、兵庫県南部地震の調査・研究では、地震発生の特クチックな場や震源断層の破壊過程のほか、地表断層の形状、各種地盤災害の地域性などに対して地震学をはじめ、地震工学、地盤工学、都市計画など多分野からのアプローチがあったが（例えば、日本応用地質学会・阪神・淡路大震災調査委員会編、1995）、いずれもさまざまなスケールの“地質構造”に関わっている。また、一般にトンネル・ダムなどの大規模土木構造物の場合、地質構造は個々の設計・施工に少なからず影響を与えているし、地すべり・崩壊・落石等の発生に斜面の地質構造が影響していることも少なくない。さらに地すべりのような非テクトニックな運動に際しては地表近くで独自の地質構造が形成されることもあり、そういった構造の研究も個々の分野で必要になりつつある。

このように考えると、地質構造の研究は第1図のように各分野がそれを中心として学際的に錯綜せざるを得ず、構造地質学はそのなかでさまざまなスケールの断層

や褶曲などの地質構造とそれらの関連分野を介して一般社会、地域社会とも大きく関わることになる。地球科学諸分野はその学問的性格から地球上の人類社会と無関係ではなく、各分野との頻繁な関わりは地質構造のもつ社会的重要性を表しているともいえよう。

しかしながら、各分野における研究目的の違いを反映して、対象とする構造とともにそれを捉える立場・視点も微妙に異なっている。分野間での相互の理解が十分であれば、スムーズな学問的發展が期待できるが、そうでない場合には個々の学問的發展を阻害したり、認識のズレから誤解を生ずることも少なくない。

このようにみると、地質構造の研究は現実には学際化に向かうべく多様な視点とその違いを相互に理解しあうことが要求され、この傾向は今後ますます強まるであろう。しかし、地質構造研究の中心をなす今日の構造地質学を眺めた場合、これらに十分応えているとは言い難い。とくにわが国の構造地質学でその傾向が強いのではないかと思われる。こういったなかで地質構造にかかわる周辺分野から構造地質学の現状を眺め、21世紀の構造地質学のあり方について考えてみたい。



第1図. 地質構造を介していくつかの研究分野がリンクしている概念図. ここでの地質構造はさまざまなスケールの断層や褶曲構造を含んだものである. 「構造地質学」はこれらのなかで中心的役割を演じる必要がある.

要求される詳細な地質構造

地質構造に関連している研究分野は地球科学の諸分野だけでなく、地盤工学、岩盤工学を中心とした工学分野まで広範囲におよび、一部は社会・人文科学にも及ぶ。第1表には地球科学を含めた自然科学分野でのこうした研究分野と対象の例を示す。

地震動評価にかかわる広域活構造、石油や金属鉱床の形成場に関連した広域地質構造、地すべり・斜面崩壊・落石等をもたらす斜面地質構造、地盤災害にかかわる表層地質構造、そして土木建造物の基礎岩盤としての力学特性・水理特性を支配する岩盤構造など、スケールだけでなく内容においても多様である。地質構造をめぐるこうした各分野の対象内容の多様性は、同じ地球科学でも岩石・鉱物学の研究のようにいずれの周辺分野であってもその化学的性質のみが問題視されるのとは対照的といえよう。

ところで、「構造地質学」の研究対象は、一般には(i)地質構造の実態把握と、(ii)その形成過程・機構の解明に大きく分けられる。そして後者の解明は前者の正確な把握を基礎としている(第2図)。「構造地質学」の研究主体、とくにわが国のそれは、最近ではしだいに後者にシフトしつつあるようであり、ときには不十分な前者に基づいて後者の議論がなされる場合もある。これに対し、前述のような周辺分野にとっては両者が一体として重要であり、とくに前者の情報は不可欠である。ここに研究トレンドとして、「構造地質学」と「関連分野」との間に微妙なズレを生じているのではないかと思われる。以下ではそういった“地質構造”の見方に関係した問題について述べる。

対象とする“地質構造”の内容とスケールの違い

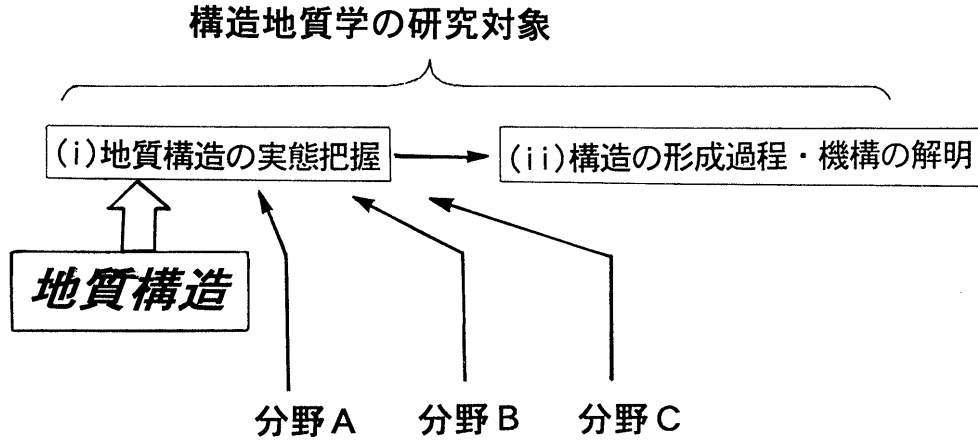
現地調査によって構造地質学の立場で地質構造が把握できても他分野からみれば不十分なことが多い。目的の

第1表. 地質構造情報の必要な周辺の研究分野.

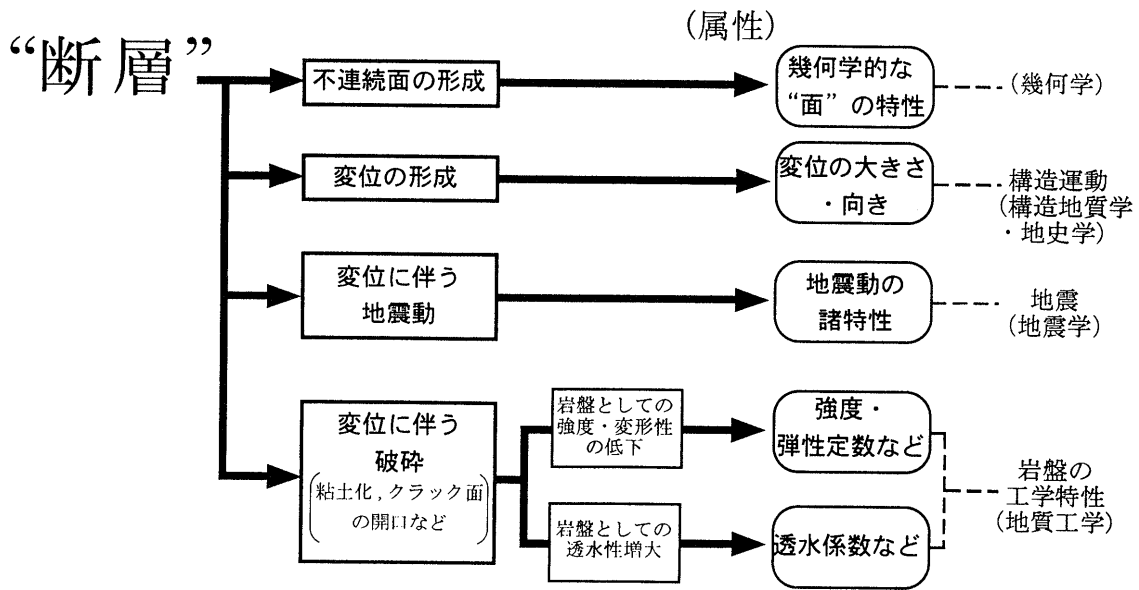
(1)地震動評価にかかわる広域活構造	地震の発生位置, 地震動の大きさと特性など
(2)鉱床形成の場としての広域地質構造	鉱床の胚胎, 貯留層としての機能など
(3)地すべり・斜面崩壊・落石等にかかわる斜面地質構造	すべり面, 不安定ブロックの形成, 斜面中の地下水流など
(4)地盤災害にかかわる表層地質構造	軟弱地盤としての力学性など
(5)基礎岩盤の力学特性・水理特性を支配する地質構造	基礎岩盤としての力学性, 地下水流の特性など

違いによって生ずる対象や視点の違いとしては、例えば、プレート規模の断層変位と露頭規模の詳細なクラック系のスケールの違い、断層や褶曲の概略の相対関係と3次元絶対座標上での正確な形態といった把握精度の違い、あるいは地質構造の形態とそれに依存した物理性・力学性の分布といった構造に含まれる属性(内容)の違いなどである。

「断層」というとすぐに変位や時期の議論になるが、工学的には変位の繰り返しによって形成された破碎帯としての性質の方がはるかに重要であり、強度低下ゾーンあるいは高透水性ゾーンといった力学的・水理的特性の方が注目される(西, 1992; 横田, 1993; 田中・井上, 1995; 小坂, 1998)。「断層」は広くみると第3図のようにさまざまな属性をもっており、目的によって注目すべき属性が異なることになる。岩盤中のさまざまな“水みち”も小坂(1998)によって指摘されるように断層、あるいは節理系のもつ1つの水理学的な属性ということができる。



第2図. 構造地質学における地質構造の実態把握と形成過程・機構の解明.



第3図. “断層”のもつさまざまな属性. 断層はさまざまな属性をもつがゆえに研究分野ごとにその捉え方は異なっている.

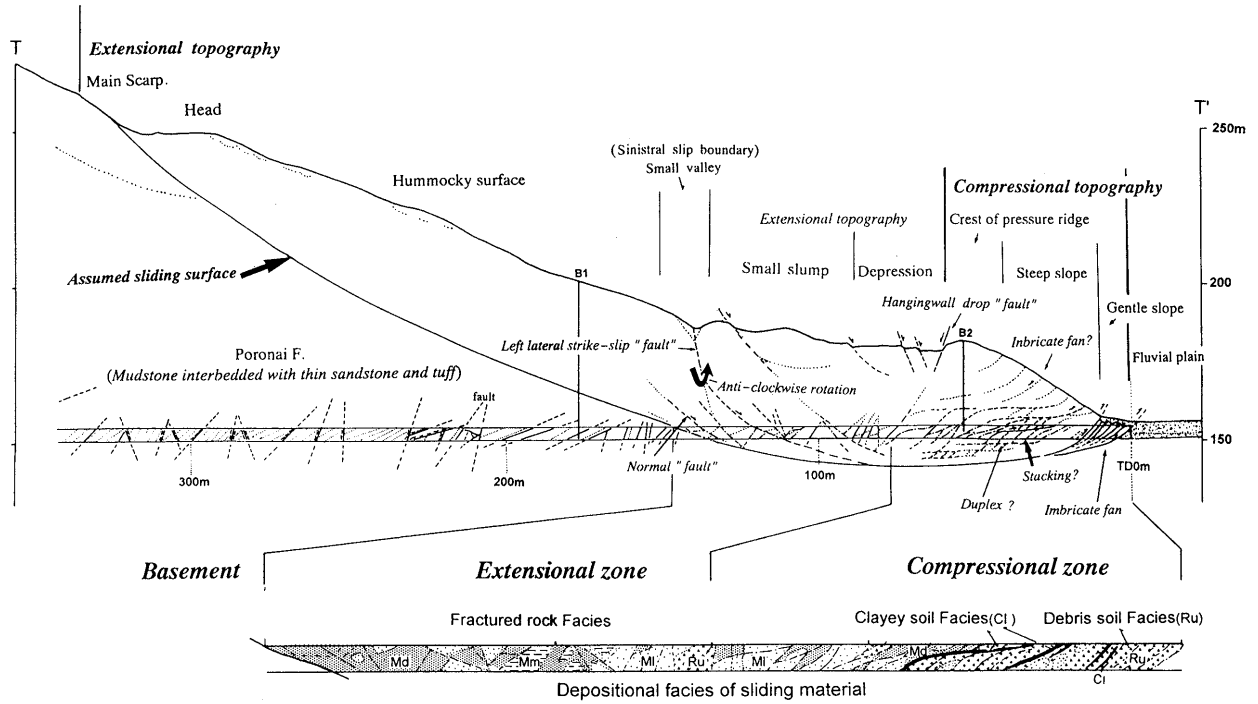
一方, 対象とする構造のスケールに関しても分野のそれぞれの目的によって大きく異なるし, 精度, 確実度もさまざまである. 周辺分野からの要求としては, 例えば土木構造物を考えれば, プレート規模の構造よりも小規模の岩盤構造の方がはるかに重要視されるし, 目的によっては高い精度・確実度での把握が要求される. 地質構造におけるスケール, オーダーという概念は古くから教科書で指摘されているものの (例えば, Spencer, 1969; Price and Cosgrove, 1990), 専門分化の流れの中で実感として捉えにくくなりつつあるように思われる.

表層で生ずる非テクトニックな構造と一般の地質構造の違い

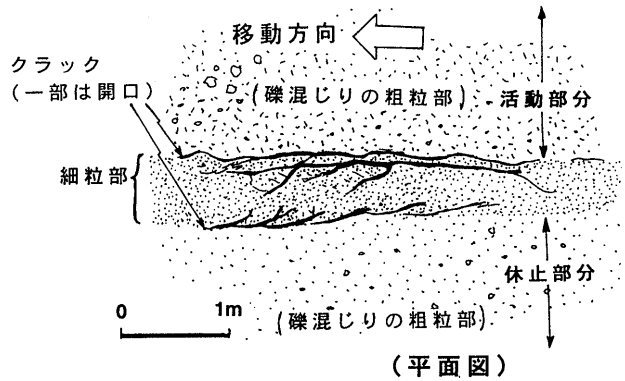
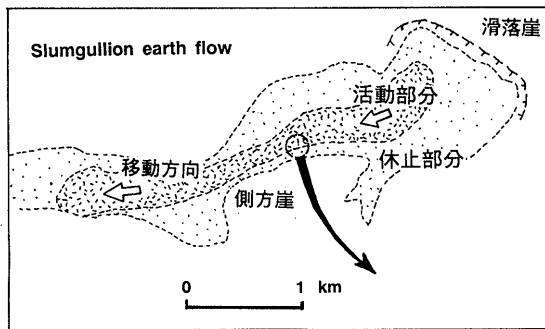
わが国では斜面表層にある地質構造をみると, 重力場のもとでの斜面変動 (slope movement: Varnes, 1978) によるものが目立つ. これはいうまでもなく非テクトニックな構造であり, とくにわが国のように急峻地

形の多いところではこの種の地質構造が少なくない. しかし, こういった現象の知識に乏しい人々にとってはテクトニックな構造と誤解されやすい.

地形的に不安定な中央構造線沿いでは“断層露頭”の一部は地すべり面ではないかという指摘があるし (長谷川, 1992, 1997), 和泉層群のような砂岩・泥岩よりなる斜面上では地表では数年程度の短期間に容易にクリープ褶曲が形成される (横山, 1995). 野外で見られる断層露頭のなかにはこうしたすべりや変形が風化とともに加わっていることもある. テクトニックな構造に非テクトニックというべき構造が混在したものである. とりわけわが国ではそのようなものが多いようである. かつてテクトニックな低角断層とされたところでも今日地すべりの可能性が指摘されているし (鈴木ほか, 1997), 活断層と理解されたものが地すべりによるものと再検討されることも少なくない. 地質構造がテクトニックか? 非テクトニックか? の識別は一般には難しいが, いくつかの方法が模索されている (例えば, 横山, 1997; 山根,



第4図. 地すべりに伴う非テクトニックな地質構造の例 (北海道沼の沢地すべり; 田近, 1995). 移動岩体中にはさまざまな形態の断層やデュプレックス構造状のものも形成されている.



第5図. 地すべり移動土砂の側方崖 (flank) 近くに形成されたエッシュロン状クラックの例 (横田・野崎, 1997). Slumgullion earth flow (合衆国コロラド州). 左図に示すように, 側方部はすでに活動を休止しているのに対し, 中央部は活動中のため, 側方崖近くの両者の境界には土砂移動に伴うエッシュロン状クラックが認められる (右図). 図中では上の活動部分 (左方向に移動) と下の休止部分との間にある細粒部に多数のクラックが認められる.

1997).

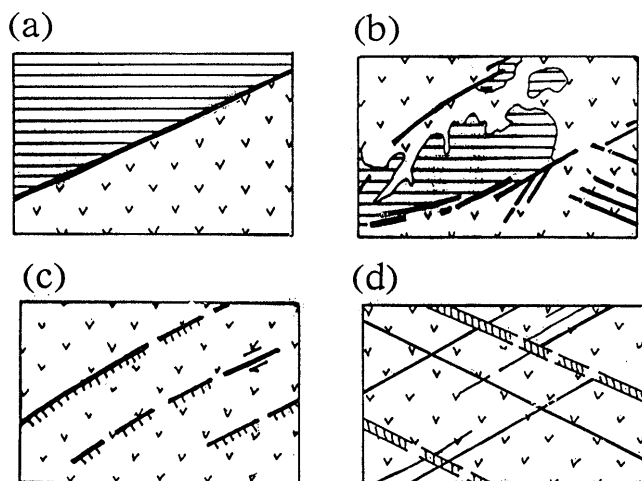
第4図はトンネル内のデータを含めて詳細に把握された地すべりの縦断面である (田近, 1995). 地すべりの水平移動に伴うさまざまな2次の構造が移動岩体中に現れている. もちろん, こうした表層の斜面変動がなんらかの地質構造に依存して生ずる場合も少なくないが, そうなるとこれらの構造とテクトニックな構造との識別が困難となる.

第5図は earth flow とよばれ, 数 m/年の割合で土砂が移動している Slumgullion 地すべり側方崖 (flank) 近くのクラック群である. 移動土砂部分の外縁に沿ってエッシュロン状クラック群が認められるが, 当然ながら

移動方向と調和した形態をなしている (横田・野崎, 1997). こうした非テクトニックな運動によって表層で形成される地質構造の理解にも構造地質学の知識が必要であるし, 逆に構造地質学はこうした地質構造にも積極的に目を向ける必要がある. 同様の問題は斜面からの落石 (rock fall) についてもあり, 例えば, 柱状節理の発達した岩盤からの剥離・落石では外壁と内部との温度勾配によるブロックの曲げ褶曲 (bending) が基本的な原因とされている (根岸・中島, 1994).

“地質構造”の表現方法の違い

地質構造は他の地質概念と同様に図上に表現され, 第



第6図. 地質図上でのさまざまな断層表現例 (横田, 1997).

三者に伝達される。分野間相互の情報伝達は大半は図上での表現に依存しているが、地質構造の表現は前述したように研究が学際的になるにつれてその重要性は高まってくる。しかし、実際には分野と目的によって表現方法は大きく異なるようである。例えば“断層”に関する主な表現をとっても第6図のようにさまざまなものがあげられる。必ずしも同一縮尺ではないが、各地で用いられている表現はほぼこのように分けられるであろう。

(a)は互いに異なる岩石種が断層変位とその後の削剝によって1つの断層面で境するようになった表現で、最もオーソドックスである。(b)は基盤上の被覆層が一部は不整合関係で覆い、一部は断層関係で境するという表現である。これでは断層線の表現は(a)に比較して混みいっており、断層が1本の線ではなく、複数のセグメントの集合体として描かれている。(c)は同じ岩石種の分布するなかでの断層表現であり、断層線とともに変位のセンスがケバと矢印で表現されている。「日本の活断層—分布図と資料」(活断層研究会編, 1991)では空中写真判読結果をもとに推定した活断層をこの表現に統一している。(d)は大縮尺地質図に多い表現であり、個々の断層の幅が表現されている。基礎岩盤の目的で破碎帯の幅が必要なときにはこの表現が用いられる。

同じ“断層”を扱っても、このようにさまざまな表現が可能なることを構造地質関係者以外に説明するのはきわめて難しいし、表現にあいまいさや精度を含めることはさらに難しい。

活断層はいうまでもなく地域社会にとって関心が高いが、多くのものでは延長も含めてそのものが曖昧なため、図上の形態・活動性・確実性などで他分野や一般社会の人々にはさまざまな誤解を生じやすい。(c)のような確実度を含めた表示は、断層が「学問的に確固たるものでなくても社会に情報として伝達しなければならない」という強い意志を反映したものであり(松田, 1992)、社会への影響を考慮したこの種の表現の工夫は、地質構造

を介して他分野に接触を持つ限り今後も考えていかねばならないであろう。

21世紀への課題

—専門分野間におけるインターフェイス機能の構築

野外調査によって地質構造の形成機構が解明できたのに他分野の人はなかなか理解してくれないし、一方、地質構造にかかわる情報が欲しいのに構造地質学の人なかなか満足いくものを提供してくれない。こういったことが現実には起こっているが、“地質構造”に対し多様な捉え方の存在することに大きな原因があると思われる。地質学が他分野からなかなか評価されないのもこのあたりの不理解に1つのネックがあるのではないだろうか。

過去20~30年間のわが国の構造地質学をみると、“学際的”が叫ばれていたこととは逆に実際には専門分化が進みつつあった。その間、周辺分野はより密接に地質構造にかかわるようになってきたに違いない。その結果、構造地質学と周辺分野、また各分野間でのこうした認識のズレが生じてきたと考えられる。これらを可能なかぎり低減していくためには相互の情報交換は不可欠であるし、それには、大きな枠組みのなかで地質構造に関する分野間相互の立場を理解することが重要である。そのなかで理解をスムーズにすべくインターフェイスの役割も構造地質学には必要であろう。

わが国の地質構造は中・古生界の地質構造もネオテクトニクスによる新第三系・第四系の地質構造も複雑である。プレート規模に着目すれば比較的単純に理解できるかも知れないが、周辺分野が最も必要とし、かつ社会的にも価値のある中～小規模な構造となると概して複雑である。構造地質学が生まれた西ヨーロッパとは、急峻地形、気候条件、非テクトニック構造や活断層の存在などかなり違った面がある。また、活断層などにかかわっては構造地質学は地域社会と密接に結びつかざるを得ないが、そこでも良好なインターフェイスを構築すべく構造の表現問題などに工夫が必要である。

地質構造研究の中心となる構造地質学は形成過程の研究に加え、こういった周辺分野への理解を高めていくべきであろう。教育については、従来のような形成過程追求型の教育ではなく、周辺分野での利用をも考慮に入れた構造地質学教育をシステムとして実現すべきであろう。いわば“学際的”視点をもった教育システムである。周辺分野を応用地質学に代表させると、対象だけでなく方法論的にも構造地質学に近いものが多いし(横田, 1994; 小坂, 1998)、さらに進んで広い意味の構造地質学が応用地質学の基礎として不可欠であるという指摘(例えば、黒田, 1997)もある。わが国の地質構造研究の学際的傾向をさらに進め、広い地球科学、自然科学のなかでの構造地質学の位置づけを理解するようにすれば、これにかかわる各人は自然とこれら他分野にわたる多様な視点を理解でき、それら相互の間のインターフェイス機能が備わってくると考えられる。それはまた研究

スタンスに少なからず影響を及ぼすであろうし、構造地質学と地質学の社会的価値を高めることになるであろう。

謝 辞

(財)電力中央研究所我孫子研究所の井上大榮氏には査読を通じて貴重な意見をいただいた。記して謝意を表します。

文 献

- 長谷川修一, 1992, 讃岐山地南麓における中央構造線沿いの大規模岩盤すべりと第四紀断層運動, 地質学論集, no. 40, 143-170.
- 長谷川修一, 1997, 中央構造線の活断層露頭と地すべりによるえせ断層露頭, 日本地質学会関西支部報, no. 122, 8-9.
- 活断層研究会編, 1991, 日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 437p.
- 小坂和夫, 1998, 水みちとしての断層と節理—構造地質学から応用構造地質学へ—, 地質学論集, no. 50, 251-263.
- 黒田和男, 1997, 応用地質と「Economic Geology」, 応用地質, 38, 103.
- 松田時彦, 1992, 研究の回顧—地震と地質の間で—, 月刊地球, 号外 no. 5, 196-210.
- 日本応用地質学会・阪神・淡路大震災調査委員会編, 1995, 兵庫県南部地震—地質・地盤と災害—報告書, 364p.
- 西 琢郎, 1992, 断層破碎帯の性質と岩盤内帯水状況との対応関係, 平成4年度日本応用地質学会講演論文集, 29-32.
- 根岸正充・中島 巖, 1994, 節理構造岩盤斜面における落石の発生機構—寒冷地における岩盤斜面崩壊に関する研究(第3報)—, 応用地質, 35, 1-21.

- Price, N.J. and Cosgrove, J.W., 1990, *Analysis of geological structures*, Cambridge Univ. Press, 502p.
- Spencer, E. 1969, *Introduction to the structure of the earth*, McGraw-Hill, 597p.
- 鈴木茂之・田中 元・宝谷 周, 1997, 地すべり活動を含めた大賀衝上断層の評価, 日本地質学会関西支部報, no. 122, 11-12.
- 田近 淳, 1995, 堆積岩を起源とする地すべり堆積物の内部構造と堆積層, 地下資源調査所報告, no. 67, 59-145.
- 田中和広・井上大榮, 1995, 断層の定義と考え方, 土と基礎, 43, 11-14.
- Varnes, D.J., 1978, *Slope movement types and processes*. In Schuster, R.L. and Krizek, R.J., eds., *Landslides analysis and control*, Transport. Res. Broad. Spec. Rep., no. 176, 11-33.
- 山根 誠, 1997, 逆断層運動による地すべり中の偽角礫と巨大地すべりに発達する偽断層岩, 日本地質学会関西支部報, no. 122, 7-8.
- 横田修一郎, 1993, 断層表現の多様性とその原因, 日本地質学会第100回学術大会講演要旨, 712.
- 横田修一郎, 1994, 構造地質学をベースとした応用地質学分野, 構造地質, no. 39, 223-230.
- 横田修一郎, 1997, 社会のなかの“地質調査”—地質状態・現象を推定・予測することの社会的価値—, 地質と調査, 1997年 no. 1, 62-66.
- 横田修一郎・野崎 保, 1997, ロッキー山脈中の Slungullion earth flow について, 日本応用地質学会中国四国支部平成9年度研究発表会発表論文集, 33-36.
- 横山俊治, 1995, 和泉山地の和泉層群の斜面変動: 岩盤クリープ構造解析による崩壊「場所」の予測に向けて, 地質雑, 101, 134-147.
- 横山俊治, 1997, 「すべり面」の多様性: 4タイプの事例報告, 日本地質学会関西支部報, no. 122, 9-10.

(要 旨)

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—応用地質学が期待する21世紀の構造地質学—, 地質学論集, 第50号, 235-240. (Yokota, S., 1998, Various view points for geological structures and construction of interface among them: Structural geology in the 21st century expected from engineering geology. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 50, 235-240.)

構造地質学だけでなく、地震学、鉱山学、地盤工学、応用地質学などの多くの研究分野が地質構造と密接な関係をもっている。しかしながら、各分野間の研究目的の違いを反映して、対象とする構造とともに捉える立場・視点も微妙に異なっている。相互の理解が十分であれば、スムーズな学問的発展が期待できるが、そうでない場合には個々の学問的発展を阻害したり、認識のズレから誤解を生ずることも少なくない。

地質構造のスケールと属性の違い、非テクトニック構造の存在、図上情報としての構造表現の違いなどがその点で重要である。21世紀の構造地質学の確立にあたっては、大きな枠組みのなかで地質構造に関する分野間相互の立場を理解することが重要となり、中心となる構造地質学にはインターフェイスの役割が必要であろう。これは学際的な教育を基礎とすれば実現可能と考えられる。