

## 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

横田修一郎\*

### 要旨

長い地球史には、自然の変化の膨大な記録とともに、人類が将来にわたって自然環境に順応・共存していくための無数のヒントが埋められていると考えられる。過去の記録は将来の自然の変化を予測するのに貴重な情報源となるが、それを人間や社会にとっての自然環境の予測に活用するには、いくつかの変換が必要である。

地質学的な自然現象を人間感覚の時間・空間スケールに読み替えていかねばならないし、人間社会への影響が多様な自然現象の複合によることを考慮して、内容、大きさ、変化を推定していかねばならない。これには、人間社会の側から自然をみる応用地質学が重要な役割を果たし得ると考えられる。急拡大してきた人間活動による自然への負荷とその規制も、こうした視点のもとに地球史を振り返ることで、議論をより具体的なものにできるであろう。

**Key words:** 自然環境 natural environment, 地球史 geohistory, 人類 human being, 視点 view point

## 1. はじめに

地球上の自然は人類にとって貴重な活動の場を提供すると同時に、それが創出する多様な自然環境を介して人類社会に影響し、ときには活動の場を大きく制約してきた。こうした地球の自然は、個々の人間に比較して遥かに長い期間、変化しつづけてきた。そのなかには、現在とは違った自然、そして現在の人間からみて厳しい自然環境とその急激な変化があったと推定される。

ただし、そのなかで人類が出現し、今日まで生き延びてきたことを考えれば、地球史には自然の記録に加えて人類が将来にわたって地球の自然環境に順応し、共存していくための多くのヒントが埋められている可能性もある。

壮大な地球史からのそのような情報の抽出が、将来の自然とその変化の予測に資するところは大きく<sup>1)</sup>、それに基づいた対処の検討も可能であろう。しかしながら、“環境”が人間や人間活動を中心とした概念<sup>2),3)</sup>であることを考慮すると、そこに居住する人間や社会にとっての自然環境は必ずしも地球の自然をとらえるだけでは十分ではない。自然と人間の相互関係の理解とともに、人間社会の側に立っ

て自然現象の変化を、その影響、自然環境変化へと読み替えていく作業が必要となる。

人間社会への影響の推定には、それが多様な自然現象の複合によることを考慮する必要があるであろうし、その過程では自然変化の時間・空間スケールと人間の感覚との違いも考慮する必要があるであろう。こうした作業は単なる地質状態の追求や解析と違って、いわば視点の変更である。

現在と将来の環境問題、とくに人類活動による自然への負荷の問題には地球史に学ぶべき事項は多いが、それには上記のようなステップが必要と考えられる。以下では自然環境変化にかかわるこうした課題を検討してみたい。

## 2. 地球史における自然変化と人類社会

### 2.1 地球史の自然の変化

数十億年間の壮大な地球史ではさまざまな自然現象が発生または消滅し、変化しつづけてきた。気温や湿度の変化、日射、降雨、降雪、強風などの日常的な気象現象をはじめ、地震動や火山噴火、斜面運動、洪水などの突発的な地質ハザード<sup>4)</sup>があり、さらに表流水、地下水の水位や水質の変化、紫外線やオゾン、大気の変化がある。そして、乾燥化のような長期的気候変動をはじめ海面・湖水面の変動、地盤変動、地磁気変化のように、緩慢であるが着実に進行する現象もある<sup>5)</sup>。また、逆に地球外からの天体破片が突如来

\* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科 Department of Geoscience, Shimane University(会員)  
 E-mail: yokota@riko.shimane-u.ac.jp

襲するといった破滅的な現象も確率的に皆無ではない<sup>5)</sup>。

地球上におけるこれら定常・非定常の多様な自然現象のなかで、生物も徐々に、ときには急激に変化して発展を遂げてきた。その結果、自然は大きさ、強さとともに質的にも変化しつづけてきた。

人類が出現した数百万年前以降に限っても、生態系も含めた自然の変化は大きく、突発的な地質ハザードの発生や長期的な気候変動等の自然の変化が人類社会へ影響し、文明の盛衰をも支配してきた<sup>6)</sup>。わが国でも、南九州では入戸火砕流の流下(26~29ka<sup>7)</sup>)や、幸屋火砕流(K-Kyp)の流下とアカホヤ火山灰(K-Ah)の降下(7.3~7.6ka<sup>7)</sup>)等に伴って、大きな文化移動のあったことが土器と遺跡の変遷から知られている<sup>8)</sup>。これらは、巨大噴火による急激な自然の変化がもたらす環境変化のなかで、人類は大きな犠牲を払いつつも全体として生き延びてきたことを示している。

頻繁に発生する洪水や斜面崩壊、地震、津波等のなかには極めて大規模なものも知られているが<sup>9)</sup>、人類はそれらももたらす大きな環境変化の体験を経て、より快適な空間を選択してきた。現代社会とその活動空間の成立、そして生活様式や活動様式の確立は地域ごとのこうした自然環境変化に対して順応、共存、あるいは逃避などを経てきた結果と考えられる。

### 2.2 自然と人類の相互関係

地球上では“自然から人類へ”の影響は大きいですが、“人類から自然へ”も影響することから、両者は一般には図-1に示すように相互に影響しあった関係にあると考えられる。

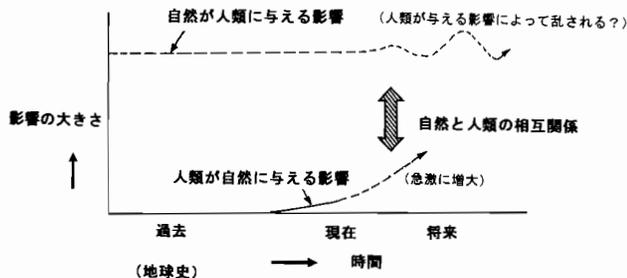


図-1 “自然から人類へ”の影響と“人類から自然へ”の影響の相互関係。

過去の地球史では、“自然から人類へ”の影響が圧倒的に大きく、かつ定期的に近いものであったが、今日では資源利用や土木事業の大規模化に伴って、“人類から自然へ”の影響が飛躍的に増大し、その結果、両者の相互関係も変化しつつあると考えられる。これは自然の定常的な変化を乱すことになるが、さらに多少のタイムラグを経て、“自然から人類へ”の定常的な影響を乱すことが懸念される(図-1)。

人類からの影響がわずかな段階では、自然は一種の自浄能力もあってそれ自身が乱されることは少ないであろうが、影響がある程度の大きさに達したとき、複雑に絡まった自然のシステムは乱れ始め、それが相互関係に波及するであろう。この相互関係は極めて複雑と予想され、現実の具体例においても関係把握が困難なところに環境問題における議論の難しさがある。

### 3. 人間の感覚でみる自然の変化

#### 3.1 地質学的タイムスケールと人間感覚のタイムスケール

地球史の自然変化は $10^3 \sim 10^4$ 年またはそれ以上の“地質学的タイムスケール”で理解されることが多いが、これに対して人間個々の生活期間はせいぜい $10^2$ 年前後に過ぎず、両者には大きな隔りがある。

同一の自然現象でもタイムスケールの長短によって異なるとらえ方になることがある。図-2に示すように、地質学的には連続的で緩やかな自然の変化も、個々の人間や社会の感覚では断続的な現れ方をするものも少なくない。表-1には代表的な自然現象(とくに地質現象)に関する両タイムスケールでのとらえ方の違いを示している<sup>10)</sup>。

たとえば、長期的な山地の“浸食”は外的営力による地形起伏の変化過程であるが、居住する人間からみれば、それは山腹斜面の崩壊や落石、地すべり等の発生として認識される。同様に、平野の“堆積”も短期的にみれば、山間部からの土石流や土砂が平野を覆ったり、水域へ流れ込んだりするものと認識される。また、緩慢にみえる地盤の隆起や沈降の過程でも、その間には断層変位を伴う地震が間欠的に発生し、それが人間社会に大きく影響する。

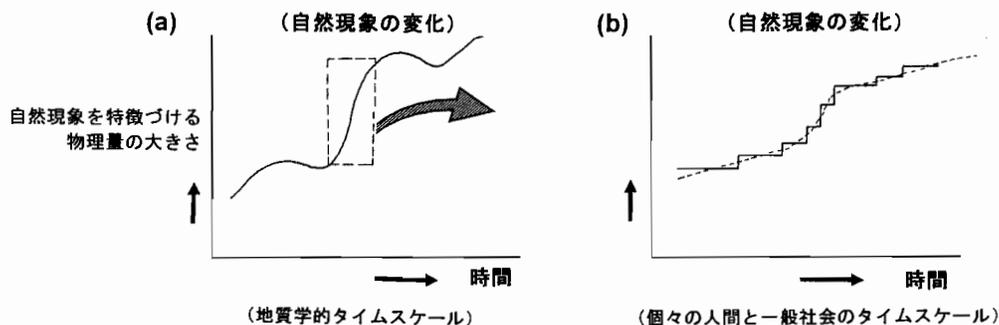


図-2 同一の自然現象(地質現象)を異なるタイムスケールでみた場合のとらえ方の違い。  
(a)地質学的タイムスケールの場合、(b)個々の人間や一般社会のタイムスケールの場合。

表-1 地球上の自然現象を異なるタイムスケールで見た場合の理解の違い<sup>10)</sup>。左側は地質学的タイムスケールとして $10^3 \sim 10^4$ 年以上で見た場合、右側は個々の人間や一般社会のタイムスケールとして $10^2$ 年前後で見た場合。

地質学的タイムスケール	一般社会のタイムスケール
山地の浸食過程	斜面崩壊、地すべり、落石の発生、 崩積土の堆積と土石流化、一時的天然ダム の形成とその崩壊など。
河口での堆積過程	土砂流・土石流の流下、一時的堆積、 洪水、河道に側岸浸食、河口での堆積など
地盤の隆起・沈降過程	地震の発生、地震動、地盤変状、 地盤液状化、建物の倒壊、津波など
火山の成長・解体過程	火山噴火、火砕流・溶岩の流下、降下火山灰、 火山泥流、火山ガス、火山性地震、地盤変状、 山体崩壊、岩屑なだれ、津波など

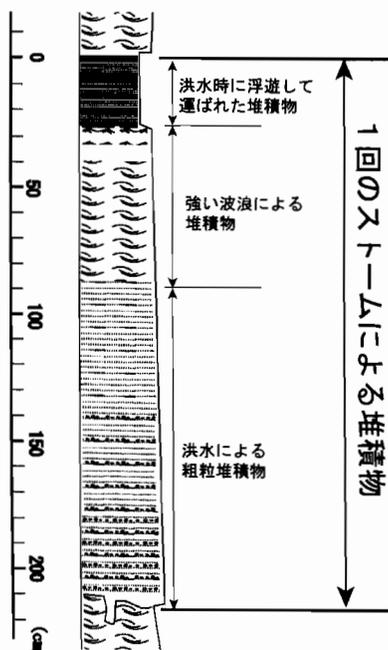


図-3 河口のジオスライサーに記録された過去の洪水、波浪などの記録(原口ほか<sup>10)</sup>)。応用地質関連技術の発展によって過去の現象をとらえる時間的精度が急速に向上してきた。

自然の変化が局所的であっても、人間のまわりで生ずれば、与える影響は無視できず、これは時間的にも空間的にも共通した課題である。このため、環境予測への地球史の活用には自然現象のなかでも人間社会に影響する自然の変化に着目し、可能な限りそれらを網羅すべく“自然”を時間的にも空間的にも人間の感覚のスケールで読み替えていく必要がある。

3.2 高い時間精度での自然現象の把握

さらに、自然現象自身についても高い時間精度でとらえる必要がある。幸い、最近になって高精度の解明が技術的にも可能になってきた。年代測定の高精度化に加えて、ジオスライサー等の調査手法の開発によるもので、地層中に含まれる過去の暴浪、洪水、津波といった現象記録も読み

取れるようになってきた(図-3)<sup>10)</sup>。

大規模カルデラ噴火に関連して発生した地震のような複合現象でも、年代測定技術その他の発展によって時間的分解能が高まり、現象間の相互関係が議論できるようになってきた<sup>12)</sup>。こうした技術のますますの発展が必要である。

4. 多様な自然現象が複合してつくる自然環境変化

4.1 自然現象変化が与える影響

今日の生活様式や居住空間は、定常的に近い過去の自然変化がつくる自然環境のもとで確立したと考えられるが、現実の自然による影響がその変動範囲を超えて変化した場合、個々の人間にとっての環境変化となる。

“環境”は本来人間や人間活動を中心とした概念<sup>2),3)</sup>であることから、人間社会の側からみた自然環境の強弱は必ずしも自然現象のそれと単純に対応するものではない。こうした自然環境は一般には図-4に示すように多数の自然現象による影響が複合してもたらされたものと考えられる。

たとえば、沖積平野を流れる河川の水位変化も、原因として上流の降雨に加えて、排水システムの状態変化や河口の海面水位変化が影響することもあるし、それらは、さらに気象変化や津波等によってもたらされることもある。

個々の人間にとっての自然環境変化は、このような影響範囲との位置関係、ならびに生活様式や活動様式のの違いに応じて異なった現れ方をすると考えられる。

4.2 自然現象による多様な環境変化

自然の変化のなかでも、突発的な地質ハザードではそれ自身が与える影響も大きい。多様な2次的現象が大きな環境変化をもたらすこともある。

たとえば、1889年の奈良県十津川災害では、多数の斜面崩壊・土石流の発生に加え、2次的な天然ダム形成・解体・消滅過程が河川水位の激変を生じ、顕著な自然環境変化をもたらした<sup>13)</sup>。また、1932年の大阪府/奈良県境の亀の瀬地すべりでは、移動土塊が大和川の閉塞、河川水位の急激な上昇、浸水域を出現させ、大きな自然環境変化となって鉄道線路の付け替えにまで発展した<sup>13)</sup>。

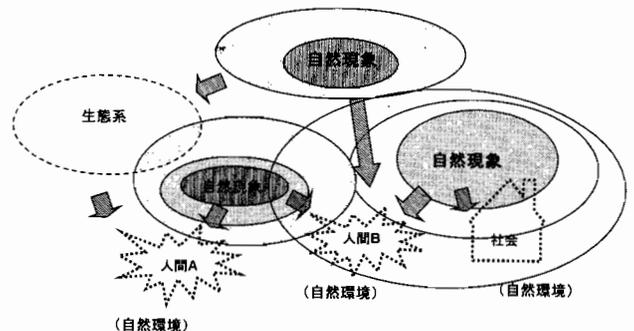


図-4 地球上の自然現象と自然環境の関係。個々の人間や社会にとっての自然環境は自然現象そのものではなく、さまざまな自然現象による影響が生態系も含めて複合してもたらすものとみることができる。

大規模火砕流発生でも直後の顕著な影響に加えて、それ以降に生ずる多様な現象が大きな自然環境変化をもたらしたことが知られている<sup>10)</sup>。

自然の人間社会への影響の仕方は、このように過去の事例が大いに参考となる。現実には多様な自然現象が複合し、影響の現れ方は極めてさまざまであろうが、対象ごとに影響の内容と大きさ、変化を推定することで、影響予測はある程度可能となると考えられる。

## 5. 自然がつくる自然環境変化の大きさ

### 5.1 自然現象の変動幅と影響範囲

自然の変化の変動幅やそれによる影響範囲は自然環境変化に与える予測の基礎となり、とくに発生頻度の低い現象では過去の資料の果たす役割は大きい。身近なものとして、地震動の最大値、河川水位や地下水水位の上限・下限、斜面崩壊や土石流堆積時の影響範囲・最大厚さ等があり、このような情報が地域ごとに得られれば、自然環境変化の予測を介して、それに順応、共存できる社会の確立に役立つ。

土木構造物の設計・施工は、通常100年間前後の自然現象変化とそれによる環境変化を念頭においているが、数千年間に1度といった地震動情報が必要になる場合もあるし、放射性廃棄物処理等のように数万年以上の自然変化が要求されることもある。地震動記録の場合、観測データでは10<sup>2</sup>年以内、文献記録でも10<sup>3</sup>年前後に過ぎないことから、それ以上の期間になると、地球史のもつ自然変化情報の重要度が増すことになる。

海水準変動や地盤の変動、地磁気変動をはじめ地下での物質の化学的変化・挙動のように長期的にみて非定常で緩慢な変化の場合にも、過去の変化トレンドはナチュラル・アナログ<sup>15),16)</sup>の手法を通じて、将来の情報源になり得る。

### 5.2 地形から読む自然現象と環境変化

地形は地表における10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>年間前後の物質移動を反映したものであり、地形変化を異なった時間スケールでみることで浸食・堆積等の実態が理解できる<sup>17)</sup>。図-5は1999年広島豪雨災害における土石流被害地点の例であり、2本の支流河谷から流出した土石流の堆積範囲を微地形との関係で示している<sup>18)</sup>。支谷出口付近の住居が堆積土砂によって大きな被害を受けた。支谷とその流路の一部は人工的に手が加えられているが、支谷出口にわずかな緩斜面が存在し、その末端部が本流に切断されるという地形的特徴に着目すれば、長い期間では支谷からの土砂供給による扇状地形成と本流河川による浸食や河岸段丘の形成が推定される。

長期的な地形変化が理解されれば、表-1のタイムスケールの変換を経て経験的に短期的な土石流の発生・流下を予測できる。さらに推定された影響範囲と住居の位置関係から、それぞれにとっての環境変化の予測を通じて対処も可能となる。このように、短期的な変化と長期的な変化を同

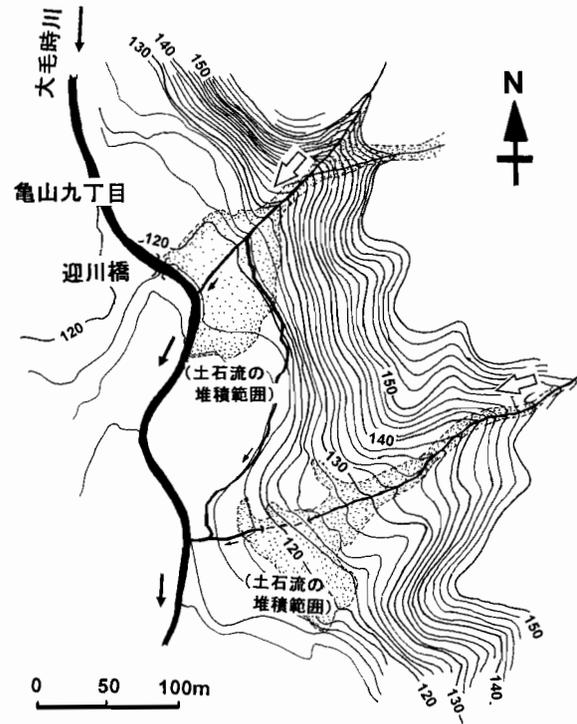


図-5 1999年広島豪雨災害時の広島市安佐北区亀山地区における土石流の堆積範囲と微地形の対応(横田ほか<sup>18)</sup>に修正・加筆)。地域の微地形は長期的にみて、定常的な自然現象の変化の大きさと影響範囲を与えるため、これを活用すれば、居住者に対する自然環境変化予測に資することができる。

時にみることで、すなわち“複眼的な目<sup>19)</sup>”が必要である。

古くからの住民はこうした自然変化を経験的に身に付け、洪水時の水位、土石流の影響範囲などを想定して、環境変化が軽微な位置に居住している。これも環境変化を考慮した人類社会の順応・共存とみることができ、地球史に学んだ実践例でもある。地域住民の多くが自然環境変化に関するこうした感覚を身に付けるようにする必要がある。

### 5.3 自然の許容量

今日の環境問題は人類活動による自然への急速な影響拡大がもたらしたものである。なかでも最大の課題は、現在の人類活動が自然との関係を経て、自然のシステムにどのように影響するか、あるいは人類活動をどのように制限すれば、自然への影響を無視でき得るかであろう。

大気や河川、海洋の汚染、あるいはエネルギー使用によるCO<sub>2</sub>増加と温暖化など、地域的なものからグローバルなものまで影響するものは広い。

人類と自然の共存を実現するには、自然と人類の相互関係を理解するとともに、自然への影響の限界値あるいは自然の許容量のようなものをあらかじめ知ることが不可欠である。これには、前述したような過去の事例は有効である。ただし、結果だけでなく、複雑に絡んだ現象間の関係や現象と影響の関係などの解明も重要であり、これらを含めた努力が人類の諸活動規制の具体的方法へ発展できると考えられる。

## 6. 応用地質学の視点と環境情報の表現

### 6.1 人間の側から自然をみる

一般に、地球史から解読される過去の自然が“地球環境”であり、その情報が将来の環境問題予測に寄与できると考えられてきた。地質関係の分野でも“地球環境”に関する多くの研究とそのとりまとめ<sup>1),2),9),19)~21)</sup>を通じて、現状と課題が指摘されてきた。

そういったなか、本稿では、自然環境を人間社会の側からみた自然の影響であることを強調してきた。環境問題を身近なものから考えていくためである。グローバルな地球環境も必要であるが、現実に対処のしやすいのは、身近な前者であろう。

同じ自然でも、影響を受ける側からみる自然は、建物に居住する人間からみる自然、あるいは広く土木構造物の安全性確保のための自然といった見方と共通している。これは、いわば社会工学的な見方であり、自然との間を取りもつ応用地質学の視点である。

今日の応用地質学では自然への負荷の軽減とともに<sup>22)</sup>、“自然と人間社会とのかかわりのなかで発生する問題<sup>23)</sup>”を対象としつつある。自然のシステムは複雑であるが、その解明に努力するとともに、人間社会が受けるこうした影響を整理して、将来の自然環境予測へ発展させる責務がある。

### 6.2 自然環境変化のマップ表現

“環境”は常に漠然としているが、人類活動による自然への影響の急拡大によってその緊急性が懸念されるという現状を認識すれば、自然と自然環境変化の情報をマップ等に表現することによって社会貢献できる。

これに類したものに、将来の自然災害軽減を目指したハザードマップがあるが、これは現在さまざまに発展し、植生の変化<sup>24)</sup>や社会的な要素のハザード<sup>25)</sup>などのマップ表現も試みられている。地球史をもとに自然現象の影響情報をマップ表現できれば、表現された情報に基づいて個々の人間の立場から自然環境の情報を読み取ることができる。一種の環境ハザードマップといえるが、個々の人間、社会、行政それぞれの立場に応じて活用できるものにするのがポイントであろう。

自然災害は一般に地質ハザードが人間の生命や財産に影響を及ぼして生ずるものであり<sup>4),15)</sup>、その要因は自然側だけでなく、人間社会の側にもある<sup>9)</sup>。このため、自然災害の規模と内容は生活様式や行動様式等に応じて異なったものとなるが、環境についても同様である。

生活様式や行動様式等を予測された自然環境変化に合わせることで、さらに人類から自然への影響の限界、許容量を知ること、環境リテラシーの向上とともに負荷の少ない社会が実現できるであろう。

## 7. ま と め

長い地球史には、人類が将来にわたって自然環境に順応・共存していくうえでの情報が無数に埋もれているとの認識をもとに、関連する課題を検討した。まとめれば、以下のようになる。

- (1)地球史に記録された自然現象は将来の自然の変化予測のための貴重な情報源となる。
- (2)ただし、それを個々の人間や社会にとっての自然環境の変化予測に活用するにはいくつかの変換が必要である。
- (3)まず、地質学的スケールの自然現象をその影響も含めて人間感覚の時間・空間スケールに読み替えていかねばならない。
- (4)さらに、人間とその活動空間に与える影響が多様な自然現象の複合によることを理解し、自然環境変化の大きさと変化を時系列的に推定していかねばならない。
- (5)こうした推定・変換には、人間社会の側から自然をみる応用地質学が重要な役割を果たすであろう。また、人間活動による自然への負荷とその限界も、こうした視点の確立を経れば、より具体的に議論できるであろう。

**謝辞** 本シリーズを企画された長崎大学・大野博之助教授ならびに(株)環境地質・稲垣秀雄代表取締役には粗稿に目を通していただいた。また、他の多くの方々にも粗稿を読んでいただき、ご意見をいただいた。記して謝意を表します。

## 引用文献

- 1) 大野博之(2006):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) 竹林征三編(1995):実務者のための建設環境技術, 山海堂, 480p.
- 3) 丹下博文(2003):地球環境辞典, 中央経済社, 239p.
- 4) BARBARA, W.M., BRIAN, J.S. and STEPHEN, C. P.(1996): Dangerous Earth -An Introduction to Geologic Hazards-, John Wiley and Sons, 300p.
- 5) 萩原幸男編(1992):災害の辞典, 朝倉書店, 400p.
- 6) 安田喜憲(1990):気候と文明の盛衰, 朝倉書店, 358p.
- 7) 町田 洋・新井房次(2003):新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺, 東京大学出版会, 336p.
- 8) 町田 洋・森脇 広編(1994):火山噴火と環境・文明, 思文閣出版, 213p.
- 9) 鳥海光弘・松井孝典・住 明正・平 朝彦・鹿園直建・青木 孝・井田喜明・阿部勝征(1998):社会地球科学, 岩波講座・地球惑星科学, Vol.14, 262p.
- 10) 横田修一郎(2000):地質現象の予測と地質学の社会貢献, シンポジウム「自然現象予測への地質学の貢献」, 日本地質学会第107年学術大会講演要旨, p.2.
- 11) 原口 強・畠山浩晃・木村 晃・高木俊男・市原季彦・高田圭太(2004):海底砂質堆積物の定方位連続地層採取方法と河口テラスの形成過程, 海岸工学論文集, Vol.51, pp.566-570.

- 12) 成尾英仁・小林哲夫(2002)：鬼界カルデラ，6.5kaBP噴火に誘発された2度の巨大地震，第四紀研究，Vol.41, No.4, pp.287-299.
- 13) 田畑茂清・水山高久・井上公夫(2002)：天然ダムと災害，古今書院，205p.
- 14) 井上公夫(2003)：大規模火砕流の後に何が起こるのかーピナツボ火山の事例から，特集：大規模カルデラ噴火ーそのリスクと日本社会，月刊地球，No.213, pp.844-848.
- 15) 小島圭二(1993)：自然災害を読む，自然景観の読み方，Vol.7, 岩波書店，138p.
- 16) 吉田英一(2003)：地下環境機能ー廃棄物処分の最前線に学ぶ，近未来社，174p.
- 17) 貝塚爽平(1989)：大地の自然史ダイアグラムー地学現象の時間・空間スケールー，科学，Vol.59, No.3, pp.162-169.
- 18) 横田修一郎・森山哲郎・安藤進一・浜崎晃・大坂理(1999)：地質的にみた広島市亀山地区の土砂災害，日本応用地質学会中国四国支部平成11年度研究発表会講演論文集，pp.40-46.
- 19) 日本応用地質学会関西支部編(1991)：地球環境と応用地質ー日本応用地質学会関西支部創立20周年記念論文集，360p.
- 20) 日本地質学会環境地質研究会編(1993)：環境地質学からみた地球環境の諸問題，東海大学出版会，189p.
- 21) 平井幸弘(1995)：湖の環境学，古今書院，186p.
- 22) 横田修一郎(1992)：「環境地質学」にどのように取り組んでいくか，日本応用地質学会九州支部報，No.13, pp.47-54.
- 23) 岩松 暉(1988)：応用地質学，日本大百科全書，小学館，Vol.3, 486p.
- 24) 瀬戸島政博・今井靖晃・立川哲史(2005)：里山における竹林化のハザードマップ，ハザードマップ，(社)日本測量協会，pp.219-225.
- 25) 森田 喬(2005)：人の危険性，ハザードマップ，(社)日本測量協会，pp.226-230.

(2006年5月8日受付，2006年6月9日受理)

*Jour. Japan Soc. Eng. Geol.*, Vol.47, No.3, pp.156-161, 2006

## Learning of Environmental Changes from History of the Earth

Shuichiro YOKOTA

### Abstract

Long history of the earth includes enormous information regarding the change of the nature, and countless hints for human being in order to coexist with natural environment over the future. Although the information on past natural phenomena is available for predicting future changes of the nature, some transformation of the information is necessary for obtaining natural environments by analyzing it.

Natural phenomena should be changed in terms of time and space into proper ones in the sense of mankind. The degree and its changes of natural environments for individual persons with their activity space must be estimated on the basis of mixed influences of natural phenomena. The field of engineering geology, which can consider the nature from the view point of mankind society, may play important role for such transformation. It becomes possible to discuss the influence of mankind activity on the nature of the earth, when these view points were established.

**Key words** : natural environment, geohistory, human being, view point