

地質調査

'08 第3号

〔小特集〕自然保護・世界遺産

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会



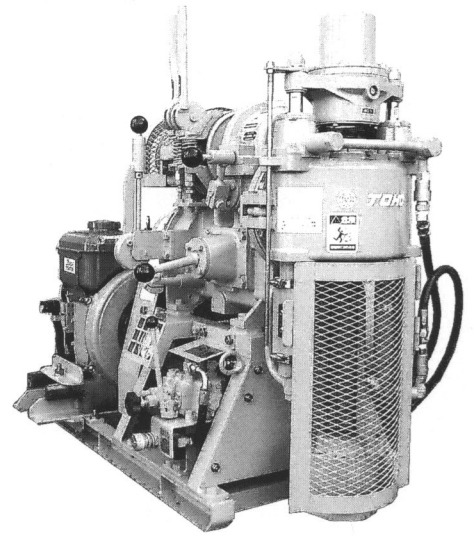
発行 土木春秋社



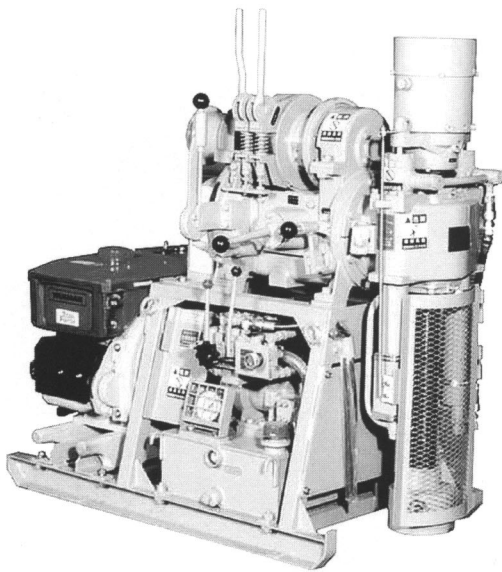
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

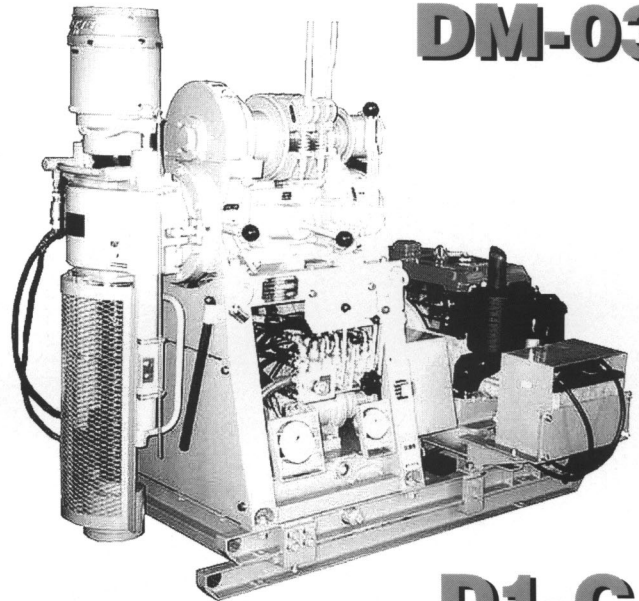
- ニーズに合わせて、ホイストドラムを取外し
コーンプリータイプに変更することができます。
- ブーリの交換で地質にあったスピンドル回転数
が選択できます。
- 試錐ポンプが内蔵でき、しかも原動機は1台で
すみます。



DM-03



D0-D



D1-C

仕 様 右操作・左操作をご用意致しております。

機 種 名		DM-03	D0-D	D1-C
穿孔能力	m	30	100	280
スピンドル回転数	rpm	65、125、370	(A) 60、170、330 (B) 110、320、625	(A) 65、130、250、370 ※2 (B) 90、170、320、490
スピンドル内径	mm	47	43	48 ※2 58
スピンドルストローク	mm	300	400	500
ホイスト巻揚げ能力	KN (kgf) 400	3.9 (400)	5.9 (600)	10.8 (1,100)
フレームスライド	mm		※1 油圧式 300	油圧式 300
動 力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質 量	kg	180(本体)	315(本体)	550(本体)
寸 法 H×W×L	mm	960×500×1,115	1,200×660×1,180	1,390×735×1,580

※1 オプション

※2 スピンドル内径58の場合

東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川4-4-7 TEL 03(3474) 4141
福岡市博多区西月隈5-19-53 TEL 092(581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

岡 崎 ☎ 092(581) 3031
札幌 ☎ 011(785) 6651
仙台 ☎ 022(235) 0821
新潟 ☎ 025(284) 5164
名古屋 ☎ 052(798) 6667
大阪 ☎ 0729(24) 5022

松 山 ☎ 089(953) 2301
山 口 ☎ 082(291) 2777
鳥 島 ☎ 083(973) 0161
北九州 ☎ 093(331) 1461
熊 本 ☎ 096(232) 4763

巻頭言	自然保護と世界遺産	東京大学大学院教授 大澤雅彦	1
小特集	自然保護・世界遺産		
	世界自然遺産—仕組みと役割—	岡野隆宏	2
	生物分布の基盤環境としての地形・地質の重要性	小泉武栄	8
	農村景観・自然環境保全再生パイロット事業の実施事例	佐藤秀憲	14
	複合化する自然環境問題と変貌する首都圏の地震災害リスク	石川正弘	20
	—丹沢山地の斜面崩壊の事例—		
	世界遺産バーミヤーン遺跡を守る	山内和也	26
	白神山地に見る地すべりと森林植生の結びつき	檜垣大助	32
	—地生態学的地点で見る地すべり—		
	遺跡の調査と保全	田中保士	36
教養読本	地球温暖化と生き物の暮らし	竹中明夫	42
車窓から見る地形・地質	松山平野を取り巻く地質	高柳朝一	46
各地の博物館巡り	沖縄県立博物館・美術館について	砂川尚之	48
大地の恵み	名水百選栃木県佐野市出流原弁天池の七変化	原田晋太郎	50
投稿	世界遺産「屋久島」の地質 ～地質情報のアウトリーチ～	小笠原正継 他	52
私の経験した現場	強風化石英閃緑岩（まさ土内）に発生した地すべり	稲葉英昭	56
	ベトナムにおけるボーリング調査	安原周次郎	60
	のり面の変状に対する原因究明調査と対策工設計の事例	佐野哲也	62
会告	地質調査技士資格検定試験 335 名が合格—第 43 回試験		65
	地質調査技士 登録更新講習会 9 月 19 日受付開始		70
	—全地連地質調査技士資格登録更新		
	地質情報管理士資格検定試験 受験願書受付開始		70
	技術 e-フォーラム 2008 高知 開催案内		71

小特集 新マーケット創出・提案型事業

地質調査業界に期待する新しいビジネス・新マーケット創出

大都市直下の伏在活断層に関する合同研究調査事業

共生型地下水技術活用研究事業

グラウンドアンカー工のアセットマネジメントに関する事業

土工工事の危険度に応じた安全管理方法の目安作成「土工工事安全監視マニュアル (案)」

自動孔内水平載荷試験の応用活用による新マーケット創出・提案型事業

CM方式事業

地盤情報を活用した新たなビジネスモデル

教養読本 建設系 CPD 制度に対応したジオ・スクリーニングネットの運用

やさしい知識 理科実験教室プロジェクト

各地の博物館巡り

大地の恵み

車窓から見る地形・地質

表紙：屋久島 千尋滝 (せんびろのたき)

世界自然遺産に指定されている屋久島には滝が多い。洋上のアルプスと言われるように九州一高い宮之浦岳がそびえ、また雨も多い。千尋滝は屋久島東南部に流れる鯛ノ川にかかる滝で、屋久島花崗岩を刻むV字型の谷に位置して

いる。高さ約60m。左側の岩盤も花崗岩からなり。雨の時は何条もの水の流れが滝となって下る。(写真撮影：産業技術総合研究所 小笠原正継)

自然保護と世界遺産

東京大学大学院教授 大澤 雅彦

地球規模の環境問題は、温暖化、砂漠化、水、食料、生物多様性など多様な側面をもっている。それぞれは同時に生態系を介して相互に関連をもっている問題であることは2005年に最終報告書が出版されたミレニアム生態系評価(MA)で詳しく述べられている(MA 2005)。IPCCの気候変化は、直接、数値的に表現できるため一般的に理解しやすい。しかし生態系に対するさまざまな人間活動の影響は、生物多様性の減少など多くの問題が単純な数値としては評価しにくいこともあって、日本ではまだあまりその重大さが認識されていない。

人間活動に伴う今日の急激な生物多様性の減少速度は有史以前の数値の1000倍に達すると言われているが(MA 2005)、種の絶滅が生態系の機能(サービス)不全を引き起こし、人間生活に影響するようになってからでは手遅れになってしまう。多様な生物の存在そのものが地球環境の歴史的過程の一つであることを考えてみれば、生物多様性の減少は、人間にとって深刻な環境の不可逆的過程の一つである。

しかし、生物多様性の減少という問題では生物種が何種絶滅したからわれわれの生活にとってどのような問題が起こるといった単純な影響評価予測は、現状の科学的知見ではまだできない。また、ある特定の種が絶滅すると生態系機能の何が機能不全に陥るかといった問題を予測することも、実際は生態系の緩衝能や累積効果などがあるため一般的には困難である。

生物多様性について個々の種のレベルで評価することはこのようにさまざまな困難があるが、生態系のレベルではその環境に対する機能(公益的機能などとも言われる)もとらえやすく、成立要因の解明はかなり進み、多様な生態系の成立・分化のメカニズムを知ることによって変化予測もある程度可能になりつつある。生態系の種類組成、構造、機能などにもとづく類型化、その分布や成

立を規定している環境を、第一義的な気候要因、第二義的な地形・地質要因とヒエラルキー的にとらえて解明していくことは、地球スケールの生態系の保護や管理の基礎として重要である。

ユネスコが提唱する世界自然遺産はこの生態系から景観レベルでの保護地域の代表格である。世界的にみてその独自性と自然としての質の高さが認定の条件となっており、加盟国の推薦に基づいてユネスコの付託を受けたIUCN(国際自然保護連合)が現地調査、価値評価を行った上でリストに記載される。評価の仕組みも次第に客観性と妥当性が厳密になされるようになってきた。世界的にみて類似の指定地域がないか、類似の生態系のなかでは「卓越した一般的価値(OUV)」を有しているかどうか、などが評価される。日本では屋久島、白神山地が1993年、次いで知床が2005年に指定され、現在は小笠原諸島、南西諸島などが日本の次の候補として準備が進められている。

最近、ユネスコは、地質学的特徴に着目したジオパーク(世界地質遺産)という考え方を提唱しており、地質現象や学術的価値のある遺跡の保存や研究も進められつつある。日本でも2008年「石見銀山の地質と鉱床」が世界遺産に登録されたことからこうした考え方も身近になりつつある。もともと世界自然遺産に登録されるための基準としては、上述のOUVのほかに、1. 自然景観、2. 地形・地質、3. 生態系、4. 生物多様性という4つの評価基準のうちの1つ以上に当てはまることが求められており、本来、地形・地質は重要な特性の一つである。これまでに自然遺産に登録された屋久島も特徴的な花崗岩で知られ、暫定リストに載せられた小笠原もその名をとって命名された無人岩(ボニナイト)をはじめ多くの興味深い地質現象を含んでいる。西之島新島のように海底噴火による新しい島の誕生も亜熱帯小笠原のユニークな特性のひとつとなっている。

世界自然遺産—仕組みと役割—

おかのたかひろ
岡野 隆 宏*

1. はじめに

世界遺産条約の批准から15年が経過し、テレビや新聞などに世界遺産が取り上げられる機会が増えている。国内各地では世界遺産を目指す動きも盛んであるが、世界遺産条約の趣旨や運用などについて理解が十分に深まっているとは言いがたい。世界遺産が広く知られ、認識されることは非常に重要であり、観光等地域振興に活用されることは望ましいことではあるが、観光客の無秩序な増加や配慮に欠けた利用は世界遺産として認められた価値を損なう危険性が高く、保護管理の充実が世界的な課題となっている。

本稿では、世界遺産の目的や果たすべき役割を改めて確認するため、世界遺産条約の目的や制度の概要について述べるとともに、日本において世界自然遺産が果たしてきた役割について考察したい。

2. 世界遺産条約の概要

「世界の文化遺産及び自然遺産の保護に関する条約（平成4年9月28日条約第7号）：Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage（以下「世界遺産条約」という）」の目的は、顕著な普遍的価値を有する遺跡や自然地域などを人類全体の遺産として世界遺産一覧表に記載し、保護・保存のための国際的な協力および援助の体制を確立し、将来の世代に伝えていくことである。世界遺産とは、世界遺産一覧表に記載された遺跡や自然地域をいい、登録と記載は同意である。

世界遺産条約は、1972年にパリで開催された第17回国際連合教育科学文化機関（UNESCO）（以下「ユネスコ」という）総会で採択され、2008年7月末現在で締約国数は185カ国で、パリにあるユネスコ世界遺産センター（以下「遺産センター」という）が事務局を務めている。

表1 世界遺産の категорияと記載件数（2008年7月末現在）。

カテゴリー	定義	記載件数
文化遺産	記念工作物 建築物、記念的意義を有する彫刻及び絵画、考古学的な性質の物件及び構造物、金石文、洞穴住居並びにこれらの物件の組合せであって、歴史上、芸術上又は学術上顕著な普遍的価値を有するもの 建造物群 独立し又は連続した建造物の群であって、その建築様式、均質性又は景観内の位置のために、歴史上、芸術上又は学術上顕著な普遍的価値を有するもの 遺跡 人工の所産（自然と結合したものを含む。）及び考古学的遺跡を含む区域であって、歴史上、芸術上、民族学上又は人類学上顕著な普遍的価値を有するもの	679
自然遺産	無生物又は生物の生成物又は生成物群から成る特徴のある自然の地域であって、観賞上又は学術上顕著な普遍的価値を有するもの 地質学的又は地形学的形成物及び脅威にさらされている動物又は植物の種の生息地又は自生地として区域が明確に定められている地域であって、学術上又は保存上顕著な普遍的価値を有するもの 自然の風景地及び区域が明確に定められている自然の地域であって、学術上、保存上又は景観上顕著な普遍的価値を有するもの	174
複合遺産	文化遺産と自然遺産との両面の価値を有するものを対象	25
(合計)		878

* 環境省九州地方環境事務所（前：自然環境局自然環境計画課）

世界遺産一覧表に記載されている物件の数は、表1のとおりである。

2.1 世界遺産一覧表に記載されるための条件

世界遺産を考える上でキーワードとなるのが「顕著な普遍的価値 (Outstanding Universal Value: OUV)」であるが、「世界遺産条約履行のための作業指針」(以下「作業指針」という)において、「国家間の境界を超越し、人類全体にとって現代及び将来世代に共通した重要性をもつような、傑出した文化的な意義及び/又は自然的な価値を意味する」と定義されている。

顕著な普遍的価値の判断を具体化したものとして、作業指針に10の評価基準(クライテリア)が示されている。このいずれか一つ以上に合致することが世界遺産一覧表記載の条件となる。このうちvii)～x)が自然遺産に関する評価基準となっている(表2)。

表2 自然遺産に関する評価基準

(vii)	最上級の自然現象、又は、類まれな自然美・美的価値を有する地域を包含する。
(viii)	生命進化の記録や、地形形成における重要な進行中の地質学的過程、あるいは重要な地形学的又は自然地理学的特徴といった、地球の歴史の主要な段階を代表する顕著な見本である。
(ix)	陸上・淡水域・沿岸・海洋の生態系や動植物群集の進化、発展において、重要な進行中の生態学的過程又は生物学的過程を代表する顕著な見本である。
(x)	学術上又は保全上顕著な普遍的価値を有する絶滅のおそれのある種の生息地など、生物多様性の生息域内保全にとって最も重要な自然の生息地を包含する。

また、世界遺産条約は重大な価値を有する物件のすべてを保護することをめざすものではなく、国際的な見地からみて最も顕著な価値を有する物件を選定し、それらを保護するものである。このため、世界中の類似の地域と比較して、優れている点や異なる観点からの価値を説明することが必要となる。

さらに、前述の評価基準に合致することに加え、顕著な普遍的価値を証明するのに必要な要素が揃っており、十分な規模があつて(完全性)、かつ、法的な措置等により保護・保全が十分担保されていること、管理計画を有すること等の長期的な保護管理が確保されているという条件を満たすことが必要である。

なお、我が国における、自然遺産の保護を担保する法的な措置には、自然環境保全法に基づく原生自然環境保全地域及び自然環境保全地域、自然公園法に基づく国立公園、国有林野管理経営規程

に基づく森林生態系保護地域、文化財保護法に基づく天然記念物が該当し、これらの保護地域に指定されていることが推薦の前提となる。

2.2 世界遺産一覧表記載に関する手続き

世界遺産一覧表に記載されるための手続きは図1のとおりである。

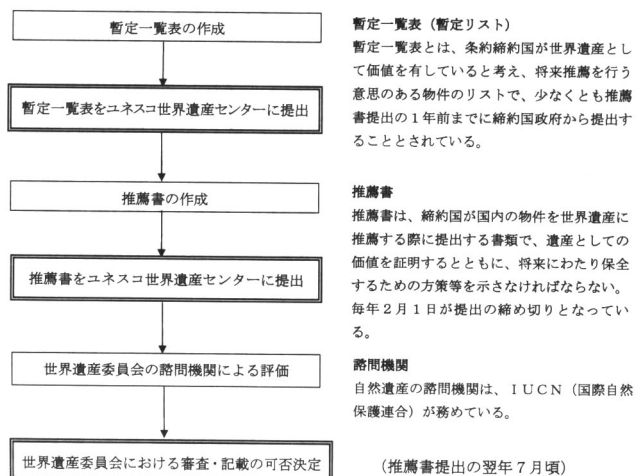


図1 世界遺産一覧表記載手続きの概要

推薦書が提出されると、遺産センターは専門的知見を有する諮問機関に評価を依頼する。自然遺産については国際自然保護連合(IUCN)が、文化遺産については国際記念物遺跡会議(ICOMOS)が現地調査を交えて評価を行う。その評価結果をもとに選挙で選ばれた21カ国で構成される世界遺産委員会(以下「委員会」という)において審査が行われ、記載の可否が決定される。審査結果には、①「記載」、②「情報照会(追加情報の提出により翌年の審査可)」、③「記載延期(推薦書の再提出が必要)」、④「不記載決議」の4種類がある。

自然遺産については、推薦のあった物件のうち「記載」とされる案件は約5割であり、「情報照会」や「記載延期」は珍しいものではない。何度かの「記載延期」を経て、より良い保護管理体制が整えることにより、晴れて「記載」となった物件も少なくない。世界遺産は、その審査自体が保全管理体制の充実を促しているといえる。

2.3 保全状況報告

締約国は、自国の世界遺産の保全状況について、委員会を通じてユネスコ総会に定期的に報告することが義務づけられている。この定期報告は、世界を5つのブロックに分けて、6年をかけて順次行われている(欧州北米地域は遺産の数が多いため2年に分けて行われている)。日本が含まれるア

ジア・太平洋地域の次回定期報告は、2010年から準備を開始し、2012年の第36回委員会で行われる予定である。

定期報告とは別に、何らかの脅威に脅かされている世界遺産の保全状況について、遺産センターや諮問機関が行う報告がリアクティブモニタリングである。リアクティブモニタリングは、NGOや研究者からの情報等に基づき実施される。

委員会では、世界遺産の保全に関する脅威、改善状況、委員会の決議が履行されているか等について報告がなされ、① 対策不要、② 世界遺産一覧表に記載したままで改善を要求、③ 「危険にさらされている世界遺産一覧表」(以下「危機遺産一覧表」という)への記載、④ 世界遺産一覧表からの削除、等の決議が行われる。

さらに、2007年の第31回委員会において、ユネスコ主導で「強化された監視(reinforced monitoring)」という仕組みが作られた。これは、重大な問題が発生した際に、ユネスコが専門家とともに現地調査を行う仕組みで、2007年にはゴリラ5頭が密猟されたヴィルンガ国立公園(自然遺産、コンゴ民主共和国)で実施された。2008年の第32回委員会では、保全状況報告で危機遺産一覧表への記載が示唆されたマチュ・ピチュの歴史保護区(複合遺産、ペルー)について、危機遺産一覧表に記載する前、この仕組みを使って改善を促すという決議がなされており、保護管理の改善を促す新たな仕組みとしての活用が始まっている。

2.4 危機遺産一覧表

2.3で述べた保全状況報告において、重大かつ明確な危機にさらされており、保全するためには緊急の対策が必要と判断された世界遺産は危機遺産一覧表に記載される。

危機遺産一覧表に記載されると、保全状況の報告が毎年求められ、必要に応じてモニタリングおよび専門調査団の派遣が行われる。危機遺産一覧表への記載は一見不名誉であるが、世界遺産基金から優先的に支援を受けることができるほか、各方面からの支援が受けやすくなるなどのメリットがあり、保全状況の改善が図られる。これまで、多くの世界遺産が危機遺産一覧表から削除されていることから、世界遺産の保護に非常に有効な制度であるといえよう。

第31回委員会においては、ガラパゴス諸島(自然遺産、エクアドル)が危機遺産一覧表に記載された。ダーウィンの進化論で有名なガラパゴス諸島は最初の自然遺産であるが、政策やリーダーシ

ップの欠如、侵略的外来種のリスクの急増、観光産業の急成長、違法移民の増加、スタッフの不足等により、顕著な普遍的価値に影響を及ぼしていることが指摘された。

第32回委員会においては、大統領布告により作成された行動計画の実施により外来種対策が進展し、ガラパゴス外来種対策信託基金が設置されたことが賞賛され、対策の継続が強く要請された。一方で、人材確保などその他の課題が依然として残ることから、引き続き危機遺産として、次回委員会においても保全状況について再び審査することとされた。

2.5 世界遺産一覧表からの削除

顕著な普遍的価値が失われるほど遺産の状態が悪化していた場合と、推薦の時点で既に人間の行為により顕著な普遍的価値が脅かされており、かつ、その時点で必要とされた改善措置が、予定された期間内に実施されなかった場合には世界遺産一覧表から削除される。

第31回委員会において、アラビアオリックス保護区(自然遺産、オマーン)が世界遺産一覧表から削除された。当該遺産は野生絶滅したアラビアオリックスを再導入した保護区で、1994年に世界遺産一覧表に記載された。

当該遺産はこれまでも、境界線や管理計画の不備や密猟などの理由で、危機遺産一覧表への記載について検討されてきた。削除の際に問題となったのは委員会に無断で行われた保護区の縮小で国内法の手続きにより保護区は1/10に縮小され、世界遺産条約上は依然として遺産に含まれる土地において、天然ガスの開発が行われようとしていた。また、1996年には450頭生息していたアラビアオリックスは、最新のデータによると65頭、繁殖群は1群(オスメス各4頭)までに減少したと報告された。

委員会においては、顕著な普遍的価値が失われたのであれば削除もやむを得ないとの意見が多くみられた一方で、世界遺産条約に定められた国際社会の果たすべき責任と保護のために努力する責任を勘案すれば、今回は削除するのではなく、再度の検討を当該国に促すべき等の意見が出された。委員会での合意は得られず、無記名投票が実施されたが、削除については否決された。

このため、日本、カナダ、クウェートにオマーンを加えたワーキンググループを設け、協議が続けられた。カナダはオマーンに考え直すよう説得を試みたが、オマーンは強く削除を希望し、その

決意は変わらなかった。最終的には、縮小された保護区では顕著な普遍的価値が既に失われているとして削除が決定された。

世界遺産一覧表に記載された物件は世界の遺産として、当該国の保全努力に対して協力し、援助することが国際社会全体の義務であるが、当該国が保全努力を放棄した場合において、さらなる保全努力を求める決議等を行うことは当該国の主権を脅かしかねない問題をはらんでおり、世界遺産条約の限界を示した事例であるといえよう。

2.6 気候変動と世界遺産

近年、気候変動は、委員会においても主要な議題である。2007年にユネスコが締約国からの報告に基づき発行した「Case Studies on Climate Change and World Heritage」では、サガルマータやキリマンジャロにおける氷河の縮小、グレートバリアリーフにおける水温上昇によるサンゴの大規模な白化、ベニスにおける水面上昇などの気候変動の影響が報告されている。

第30回委員会では、気候変動の世界遺産に対する影響予測とそれに対処するための戦略が提示された。具体的には、モニタリング、報告、緩和措置の実施、戦略や管理計画により気候変動の現実に対応すること、教育、研修などに関する知識の共有、研究などが必要とされた。

第31回委員会では、気候変動による世界遺産への影響に関する政策文書案について議論がなされた。世界遺産地域は、モニタリング、緩和および適応の対策を実施し、試験し、改善する実験場としての機能を果たすとともに、このような象徴的な地域での活動は注目を集めることから、結果として他地域の管理改善に大きな影響を与えうとしている。また、推薦、保全状況審査、危機遺産リスト掲載の各段階において、気候変動について考慮することとされ、作業指針改訂についても提案されている。

政策文書は2007年の締約国総会において採択され第32回委員会においてはこれに対応する形で作業指針の改訂が行われた。

3. 日本の世界自然遺産の保全管理

日本は1992年に世界遺産条約を批准し、現在、3地域が世界自然遺産となっている。各世界自然遺産地域の位置、該当するクライテリア、評価された価値の概要は表3のとおりである。

表3 我が国の世界自然遺産

○屋久島 鹿児島県(北緯30度15分～30度23分,東経130度23分～130度38分) 面積 約10,700 ha 登録年:1993年 評価基準:(vii)(ix) 屋久島は、世界的に特異な樹齢数千年のヤクスギをはじめ、多くの固有種や絶滅のおそれのある動植物などを含む生物相を有するとともに、海岸部から亜高山帯に及ぶ植生の典型的な垂直分布がみられるなど、特異な生態系と優れた自然景観を有している。
○白神山地 青森県,秋田県(北緯40度22分～40度32分,東経140度02分～140度12分) 面積 約17,000 ha 登録年:1993年 評価基準:(ix) 白神山地は本州北部の山地帯にあり、遺産地域は原生的なブナ林である。冷温帯性のブナはかつて北日本の山地や丘陵に広く分布していたが現在は減っており、ここは原生的なブナ林が大規模に残っている最後の地域である。また、ツキノワグマやニホンカモシカ、84種の鳥類などが生息している。
○知床 北海道(北緯43度57分～44度21分,東経144度58分～145度23分) 面積 約71,000 ha 登録年:2005年 評価基準:(ix)(x) 知床は海と陸の生態系の相互関係の優れた見本となっている。北半球で最も南にできる海水の影響を受け、生態系の生産性が極めて高くなっており、このことは数多くの陸や海の生物にとって特に重要である。また、知床は、希少種のシマフクロウやシレットコスミレをはじめ、絶滅のおそれのある海鳥や渡り鳥、多くのサケ科魚類、トドや鯨類などの多くの海の哺乳類にとって、世界的に重要な地域である。

3.1 屋久島と白神山地

1993年に屋久島と白神山地が世界遺産一覧表に記載された。記載に際して、遺産委員会より管理体制の改善が求められ遺産地域の適正かつ円滑な管理に向け、国立公園など前述した各種保護制度を所管する環境省や林野庁などの関係行政機関等からなる「世界遺産地域連絡会議」(以下「地域連絡会議」という)が設置されるとともに、各種制度の運用および各種事業の推進等に関する基本方針を明らかにした「世界遺産地域管理計画」(以下「管理計画」という)が定められた¹⁾。管理計画については、地元説明会や意見募集等を行い、関係者の意見を参考にしつつ策定されている。

策定された管理計画に基づき、関係行政機関、関係団体が緊密な連携・協力のもと、巡視の励行、適正な利用の誘導、情報提供・環境教育活動、調査研究・モニタリングなどの実施、拠点施設として「世界遺産センター」、「森林環境保全センター」等の整備などが行われてきた。

3.2 知床

環境省と林野庁は2003年に学識経験者からなる「世界自然遺産候補地に関する検討会」(以下「候補地検討会」という)を共同で設置し、日本の世界自然遺産の新たな推薦候補地を学術的見地から検討を行った。この結果、「知床」、「小笠原諸島」、「琉球諸島注)」の3地域が新たな候補地として選定された。

このうち知床については、2003年10月に地域連絡会議を設置し、「知床世界遺産候補地管理計画」を策定した上で、2004年1月に推薦書とあわせて提出した。ここで特筆すべきは、地域連絡会議の構成機関に、関係行政機関だけでなく、世界遺産を目指す地元団体、漁業協同組合、ガイド協会が含まれている点で、より広範な関係者の合意形成と参加による保護管理体制が構築された。

さらに、2004年7月には、陸域と海域の統合的な保護管理に関して科学的な見地から助言を得ることを目的として、海と陸の生態系の専門家からなる知床世界遺産候補地科学委員会(現在の「知床世界遺産地域科学委員会」、以下「科学委員会」)が設置された。このような保護管理体制を整えて、2005年の第29回委員会において知床が世界遺産一覧表に記載された²⁾。この際、海域管理計画の策定、サケ科魚類管理計画の策定、海域の保全状況等について評価するための調査団を招くこと等が勧告された。

海域管理計画については、科学委員会に海域ワーキンググループを設け、漁業協同組合等地域関係者も交えた議論が行われ、2007年12月に策定された。海域管理計画では、さまざまな知見を基に知床海域の食物網の構成種の中から、生態系に大きな影響力を持つ種であるキーストン種や高次捕食者、希少種など、知床の海洋生態系を特徴付けるものを指標種として位置づけ、海洋環境の保全とともに、順応的管理の考え方に基づいた継続的な保護管理を実施することとした。

サケ科魚類に及ぼす河川工作物の影響の評価は、科学委員会に設置した河川工作物ワーキンググループで行われた。遺産地域には、流域全体もしくは流域の大部分が含まれる河川が44河川あり、このうち14河川に123基の河川工作物が設置されており、これらの全てについて影響の評価が行われた。評価に際しては、河川環境の調査を実施し、サケ科魚類の遡上の阻害要因と産卵・生息環境を把握し、河川工作物に改良を加えた場合の防災面、環境面等への影響を踏まえて改良の必要性が検討された。評価の結果、改良の検討が必要

とされた河川工作物の一部については、設置者である北海道森林管理局と北海道において既に改良工事が実施されている(図2)。



図2 イワウベツ川支流赤イ川治山ダムの改良状況(北海道森林管理局提供)

以上のような対応を進め、2008年2月19日(火)~22日(金)に世界遺産センターおよびIUCNによる現地調査団を招聘し、その報告書が2008年5月30日に日本政府に送付された。

報告書では、第29回委員会における勧告に対して、日本は良好な進捗を遂げているとした。また、地域社会や関係者の参画によるボトムアップアプローチによる管理と、科学委員会および各ワーキンググループの設置を通じた科学的知見に基づく遺産の管理を賞賛するとともに、他の世界自然遺産地域の管理のモデルとなると評価された。

海域の管理とサケ科魚類の管理など今後も引き続き対応をしていくべき課題についても、建設的かつ効果的な方法で取組を進めている努力を継続し、推進させることが大切であるとしたうえで、包括的な遺産管理計画の策定、河川工作物改良の継続などに関して、今後の知床の保全管理に対する助言として17の勧告が記載された。

近年の世界遺産委員会における気候変動についての議論を反映し、気候変動の影響に関して注意深く観察していくこと、将来の気候変動による影響を最小限にするための戦略を作ることも含まれている。

第32回委員会においては、調査報告書に基づく決議が採択され、実施状況を2012年2月1日までに報告を世界遺産センターに報告するよう求めている。

4. 日本における世界自然遺産の役割

日本において世界自然遺産が果たしてきた役割は何であろうか。ここでは、保護管理体制の強化と、地域住民が地域の自然を再認識する機会の提供という側面の二つについて述べたい。

4.1 保護管理体制の強化

3.で述べたように、これまでの日本の事例では、

世界遺産一覧表の記載を契機として、国際的な視点も踏まえつつ、段階的に保護管理体制が強化されてきた。このような保護管理体制や取り組み内容、そこに至るまでのノウハウを、先駆的事例として広く展開していくことが、日本の生物多様性保全に貢献すると思われる。

地域連絡会議と科学委員会の設置による合意形成と科学的に知見に基づく保護管理は、世界遺産委員会においても高く評価されたが、日本の国立公園などの保護地域における先駆的な取り組みとして、今後のモデルを示すものと考えている。

屋久島と白神山地については、科学委員会が設置されていない、管理計画の見直しが行われていないなど改善すべき点があるといえる。次回の定期報告に向けては、科学委員会を設置した上で、管理計画を見直すなど、知床の例を参考に合意形成と科学的に知見に基づく保護管理をさらに充実させることが望まれる。

4.2 地域住民による地域の自然の再認識

世界遺産一覧表への記載は、地域の自然の価値を地域住民が再認識する機会であるとともに、地域における自然と人間の関係性を考え直す機会ともなりうる。

屋久島は世界遺産となって以降、報道等を通じて知名度が格段に上昇したため、入込客数が増加した。これに伴い、地域の観光収入の増加、雇用機会の確保、観光関連産業の活性化、他産業への波及効果など生じていると考えられている³⁾。

また、世界自然遺産を契機として、地域がその自然の価値を再認識することや、地域の自然が世界に認められることは、精神的な利益も生み出したと考えられる。2001年に行われた島民に対する最近10年の生活の変化に関するアンケート結果によると、「環境」にまつわる変化に対して比較的多くの人が変化したと感じ、さらに、それを好意的に捉えている人が多くなっている³⁾。より積極的に、「屋久島出身であることを堂々と言えるようになった」との発言が住民から聞かれるようになったことが報告されており³⁾、地域住民とりわけ子供や若者が自らの地域に誇りを感じ、アイデンティティ（帰属意識）を得られるようになったと考えられる。

2003年の候補地検討会で候補地とされた「小笠原諸島」と「琉球諸島」においては、世界自然遺産を目指して、あるいは世界自然遺産を視野に入れた保全の仕組み作りの議論が行われている。世界自然遺産の評価の考え方にに基づき、地域が有す

る自然の恵みや価値を改めて整理し、地域の将来像を描く中でどのような形で保全し利用していくかを議論することは、自然環境の保全のみならず、地域の活性化という観点からも重要な取組であるといえよう。

5. おわりに

世界遺産は推薦や記載することが目的ではなく、その地域の価値を人類全体の遺産として将来にわたり伝えていくことが目的である。このため、世界遺産一覧表記載後も、長期間にわたる保全管理やモニタリングに努めていく必要がある。遺産委員会は、各地域の世界遺産の保全管理の状況を定期報告などにより把握し、危機遺産などの仕組みを通じて改善を促している。世界遺産一覧表に記載されるということは、その地域の自然が世界的に認められたことを意味するが、それと同時に、将来にわたって保全していく大きな責任を負うことである。

日本においては、前述したように世界自然遺産はその地域の自然環境を保全する仕組みの充実を促す役割を果たしてきた。加えて、世界遺産一覧表記載に向けた議論を通して、自然に対する地域住民の意識が向上したり、地域の自然に対する誇りを育んだりする効果も見られている。

なお、本稿では触れなかったが、地域の知名度の向上は、訪問者や移住者の増加を促して地域振興にも寄与するが、その一方で登山道の荒廃や静謐さの喪失、地域社会の変容を招くなどの影響が見られることも忘れてはならない。これは日本に限らず世界的な課題であり、委員会でもしばしば話題となる。今後、世界遺産を考える際には、このような変化に対応するため準備を、地域と一体となって整えておくことが重要である。

注) 候補地検討会では、南西諸島のうち、トカラ列島以南が検討の対象となっていたが、他に適当な名称がないため、学術論文上の慣用語である「琉球諸島」を引用した。名称については、今後、具体的な区域等の検討を行っていく過程で変更される。

参考文献

- 1) 上杉哲郎：屋久島、白神山地両世界遺産地域管理計画の策定、国立公園 No. 542, 2-7, 1996.
- 2) 鳥居敏男：「知床」の世界自然遺産登録について、国立公園 No 636, 10-12, 2005.
- 3) 富士総合研究所：平成13年度共生と循環の地域社会づくりモデル事業（屋久島地域）報告書、2002.

生物分布の基盤環境としての地形・地質の重要性

こいずみ たけえい
小泉 武栄*

1. はじめに

生物は種ごとに固有の生活様式（ニッチェ）をもち、特有の生活環境（ハビタット）の中で生活している。そしてさまざまな種が集まって、ブナ林とか高山草原とか湖沼とかいった生態系を形づくっている。

最近の自然保護をめぐる論議では、生物の多様性の大切さが共通の理解になりつつある。この多様性をもたらす直接の原因は、ハビタットの多様性であるといっただけであらう。そしてハビタットの多様性をつくり出す最大の要因は、地形と地質である。たとえば山地と平地では生物の住みかとしての環境は著しく異なるし、山地の中でも尾根と谷とでは、あらゆる面で対照的な性格を示す。また火山や砂丘、岩壁、岩塊地、蛇紋岩地域などといった特殊な土地には、それぞれ固有の生物が分布しており、海ならば遠浅の砂浜海岸と岩礁地帯とで住む生き物は異なる。

ここでは植物の住みかとしての地形・地質という視点に立っていくつかの事例を紹介するが、とりあえず地形・地質の役割を次のような、いくつかのタイプに分けて考えてみたい。むろんこれらは明瞭に分けられるものではなく、いくつかのタイプにまたがるものもある。

- ① 地質・地形が直接、あるいは水分条件、土壌条件等を通じて生物の分布に関わるもの
- ② 地形の生い立ちが生物の分布に関わるもの
- ③ 急激な地形変化が生物の分布に関わるもの

2. 地質・地形が直接、あるいは水分条件、土壌条件を通じて生物の分布に関わるもの

2.1 地形・地質の直接的な影響

石灰岩地では、カルシウム過多、マグネシウムの欠乏といった化学的な条件の下で、「石灰岩植物」と呼ばれる一群の植物の存在することが、古くから知られてきた。蛇紋岩地域でも同様に「蛇紋岩植物」の存在が知られている。

しかし、石灰岩は、酸性の水に対しては侵食されやすいものの、風化に対しては非常に強いという特色をもっていて、しばしば断崖や岩峰という、切り立った地形をつくりだす。これはカルスト地形の一種といえるが、こうした地形の急峻さも植物の分布に影響を与えている。たとえば多摩川の支流・日原川の流域や秩父地方には、石灰岩が作る地形がよく発達していて、岩壁表面の岩の隙間や小さな窪みに特殊な植物群が生育するほか、岩峰の上にはヒノキの自然林が生じている。

大雪山の麓の層雲峡の峡谷や十和田湖に発する奥入瀬渓谷のように、溶結凝灰岩からなる火砕流台地が河川による侵食を受けた場合も、川の部分だけが深くえぐられ、両側に岩壁ができやすい。こうした崖地にも珍しい植物群が出現する。またチャートも侵食にきわめて強いため、東京都檜原村の神戸岩のように、周囲が侵食されて低下し、チャートの部分だけが残って岩峰をつくるのがよくある。この場合も岩の上にはヒノキ林ができやすい。

2.2 沖積錐に生育する東京のカタクリ

早春に美しい花をつける春植物の代表に、ユリ科の多年草・カタクリがある。カタクリはほとんど日本海側多雪地域に本拠地をもつ植物で、そこ

* 東京学芸大学教授 自然地理学・地生態学

では雪解け直後の雑木林の林床に、イチリンソウやキクザキイチゲなどとともに、大群落をつくって出現する。これに対し、東京や千葉などの太平洋側の地域では、カタクリの分布は限定され、ごくわずかな地点にのみ現れる。近年、東京では、自生地は多摩丘陵や加住丘陵、草花丘陵辺りに限られており、清瀬や新座、大泉など武蔵野台地を刻む谷の斜面にも生育地を見出すことができるが、数地点にすぎない。

カタクリの分布と生態を調べた鈴木(1987)は、東京付近のカタクリ群落の成立条件として、①雑木林の林床であること、②北斜面であること、の2つをあげた。雑木林の林床というのは、カタクリが、上を覆う高木が葉を展開するのに先立って葉を開き、木洩れ日を浴びながら光合成を行うからで、生活していく上での必要条件である。

北斜面というのは、夏の地温に関係がある。東京付近では夏に地温が上がって、呼吸による球根の消耗が激しいために、北向き以外の斜面ではカタクリは存続が困難である。

ただ北斜面にある雑木林の林床なら、どこにでもカタクリがあるかという、そうはいかない。3つ目の条件が必要である。鈴木によれば、それは地形条件で、加住丘陵の場合、カタクリの分布は集中豪雨などの際に押し出されてきた土砂が堆積してつくった、沖積錐とよぶなだらかな斜面に限られ、丘陵の地山をつくる急な斜面には出現しない(写真1)。これは沖積錐の上では、上部の谷筋から水分が土に供給されて、夏には水分が蒸発して気化熱を奪うため、地温が高くないためだと考えられている。このように、地形条件とそれによって規定される水分条件がカタクリの分布を決めているのである。



写真1 加住丘陵切欠の沖積錐 扇型に広がる部分のみカタクリが生育している。左右は丘陵地

東京付近のカタクリは、もとをただせば氷河時代の生きた化石であって、氷河時代に南下してき

たものが現在、沖積錐や、水のしみだす段丘崖の下部のような、夏涼しい場所で辛うじて存続しているといえる。新座や清瀬のカタクリの生育地は段丘崖の下部にあたる。したがってカタクリの保護には生育地を含めた保護が必要である。

2.3 岩塊斜面の植物群落

岩塊斜面とは、大きな岩が累々と堆積した斜面のことで、高山地域に広く分布する。

北上山地の早池峰山(1917m)では、かんらん岩の岩塊斜面が海拔およそ1300mまで低下し、その上にハイマツや、ナンブイヌナズナなどさまざまな高山植物が生育している。また尾瀬ヶ原西方の至仏山(2228m)でも、山の鼻からの登りでは、森林限界は海拔1640m付近まで低下している。この山もかんらん岩からなる。いずれの場合も森林限界高度は、気候から推定される高度より700mほども下がっている(写真2)。



写真2 早池峰山の森林限界 上から見ると直線状に走っていることがわかる

大菩薩峠(山梨県)の近くにある丸川峠付近でも、興味深い現象を観察することができる。一帯は海拔1600m前後の山地で、ブナ帯の上部に含まれ、ブナやミズナラの森が優占する。しかし花崗岩地域には岩塊斜面が発達し、そこにはサワラ、モミ、ツガ、ハリモミといった針葉樹からなる林が成立している。日本海側に多いネズコも混じる。

このような森林が成立した原因は、岩塊斜面では土壌が貧弱で、貧栄養だということにあると考えられる。2種類の森林の境はきわめて明瞭で、登山道を歩いていくと、岩塊斜面に成立した針葉樹林と厚い土壌の上に成立したブナ林が交互に現れ、興味深い。

2.4 立山の弥陀ヶ原のタテヤマスギ

北アルプス立山の弥陀ヶ原では、10万年ほど前



写真3 タテヤマスギ

に噴出した広大な溶結凝灰岩の台地の上に、タテヤマスギと呼ばれるスギの巨木からなる林が広く分布している（写真3）。

タテヤマスギの森にはところどころブナが混生しており、ブナ坂、ブナ平、桑谷と呼ばれる辺りではそれが比較的多くみられる。しかし全体としてみると、ブナは少なく、タテヤマスギが優勢である。ブナの分布には地形との関わりが認められ、溶結凝灰岩が厚く堆積してできた弥陀ヶ原の原面上にはほとんど分布せず、火砕流の流れの前面にできた崖の部分や、原面が侵食されてできた小さい谷の斜面にのみもっぱら出現する。

タテヤマスギは標高 1000 m 弱から 1700 m くらいにかけての部分に分布するが、この程度の標高の場合、本来ならば、白山あたりにみられるように、全域がブナ林になっているはずである。したがって弥陀ヶ原でブナが少なく、タテヤマスギが優占しているのは、やはり異常であるといえることができる。

タテヤマスギの森の内部をよく観察すると、ネズコやゴヨウマツ、コメツガなどの針葉樹が混じっているのに気がつく。いずれも岩塊斜面や岩角地のような、地形的条件の悪い場所によく生えている樹木である。そして自然界では、実はスギも同じ性格を示す樹木である。つまり弥陀ヶ原の台地上に生育している針葉樹は、すべて悪条件の場によく現れる樹種に限られているといえるのである。逆にいえば、弥陀ヶ原の溶結凝灰岩の台地は、形成後 10 万年もの歳月が経過しているのに、まだ樹木の生育にとって良好な場所にはなっていないということである。ブナが生育しているのは、沢の内部のような、水分条件がよく厚い土壌ができているところに限られる。そういう場所に限られる以上、弥陀ヶ原にブナが少ないのも当然のことといえよう。

2.5 高山帯における地質と植物群落の関係

気候条件がきびしい高山帯では、地質による植生の違いが山地帯よりはるかに明瞭に現れる。例として、北アルプスの白馬岳北方の西向き斜面の地形・植生景観を示す（写真4）。中央には白い色の砂礫斜面が広がり、手前と中景には植被に覆われた斜面がある。一見してすぐわかるように、植被のつき方の違いは地質を反映したものである。



写真4 白馬岳高山帯の地質—植生景観

気候的に強風寡雪という共通した条件の下にありながら、なぜこのような違いが生じたのだろうか。それは、地質ごとに風化の仕方が大きく異なっているからである。一口にいってしまうと、中央の白くみえる部分は流紋岩地域で、そこでは、現在の気候条件下でも凍結破碎作用によって細かい岩屑が生産され、それは次々に斜面下方に向かって移動している。しかし、手前と中景の古生層の砂岩泥岩地域では、現在、岩屑生産はストップしており、斜面は氷期に生産されたと考えられる礫や岩塊で覆われている。

それぞれの場所に生育する植物は、こうした土地条件を反映してはっきりと分かれることになった。流紋岩地域では、表土が不安定なために、コマクサやタカネスミレ、イワツメクサなどがまばらに生えるだけである。これに対し、砂岩泥岩地域では、安定した土地条件を反映して植被率は高く、オヤマノエンドウやイワスゲ、ノガリヤス類、トウヤクリンドウ、ガンコウランなどからなる、風衝草原が成立している。

この場合、植被の違いをもたらしたのは、凍結破碎作用に対する岩石ごとの反応の差と、できた岩屑の粒の大きさ、それに岩屑の移動性の違いである。

写真5に示したのは、北アルプスや中央アルプスの花崗岩地に見られる、岩塊斜面とその一部を覆うハイマツ群落である。花崗岩地では、氷期に凍結破碎作用によって粗大な岩塊が生産され、長



写真5 北アルプス常念岳の岩塊斜面

大きな岩塊斜面ができた。そこは、現在、もっぱらハイマツ低木林に覆われることが多い。木曾駒ヶ岳や常念岳周辺にはそのような岩塊斜面の典型的なものがみられる。

3. 地形の生い立ちが生物の分布に関わるもの

3.1 東海丘陵地域のシデコブシ

シデコブシはコブシの仲間の高さ3~5mになる低木で、薄いピンクないし白色の気品のある花をつける(写真6)。このためたいへん人気があり、園芸用に栽培されることも多い。シデとは、神社などに張られたしめ縄や神棚から垂らす紙のことで、花がたくさんシデが垂れたように見えることから、名づけられた。開花はサクラとほぼ同時期の3月の下旬から4月上旬である。



写真6 渥美半島のシデコブシ

分布地は岐阜県南部と愛知県の瀬戸地方にほぼ限られていて、ヒトツバタゴやハナノキなども同じような分布を示すことから、あわせて「東海丘陵要素」などと呼ばれてきた。分布がなぜこの辺りに限られるのか、これまで納得のいく説明はなかったが、筆者は以下のように考えている。

この一帯には、300~100万年くらい前、浅い湖

が広がっており、そこに瀬戸物の原料となる粘土層(瀬戸陶土層、瀬戸層群)が堆積した。ところが80~50万年前になると、伊豆半島が本州に衝突したことの余波を受けて、中央アルプスや飛騨高原が隆起を始め、そのため、木曾川や飛騨川によってそこから運び出されてきた砂利が、粘土層を覆って堆積した。この堆積物を土岐砂礫層と呼ぶのである。いわば犬山付近を扇頂とする扇状地ができたわけである。その後、土岐砂礫層も侵食されて、丘陵化し、いくつも谷が入ったが、下が粘土層によって抑えられているために、水の浸透が妨げられ、谷間では湧水がきわめて豊かになった。それが水を好むシデコブシなどの生育を可能にした条件である(図1)。このような自然史的な背景をもつ地域は、日本列島では他にはないから、それが東海要素の分布を限定することになったと考えられる。

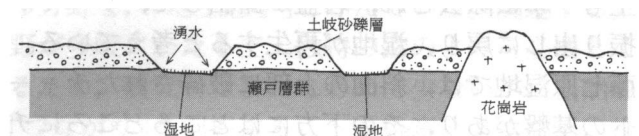


図1 土岐砂礫層からなる丘陵の形成と湧水

3.2 渥美半島のシデコブシ

シデコブシは、東海丘陵地域以外にも、三重県の一部や渥美半島の田原市に例外的に分布している。田原市の場合、分布地はいずれも水気の多い場所だが、ここには土岐砂礫層は分布していないで、分布を土岐砂礫層とからめて説明することはできない。しかし筆者はこれまでの調査で、渥美半島のシデコブシの分布地が大きく2つのタイプに分かれることに気がついた。以下、それぞれについて紹介する。

(1) チャートの基盤からなる山麓緩斜面上に成立したもの

藤七原湿地と「なぐさ」のシデコブシ分布地が



写真7 なぐさのシデコブシ群落

これに当たる。この2地区では、山麓に扇状地状に広がった緩斜面上にシデコブシの群落がある(写真7)。両地区とも基盤の層状チャートが露出し、その表面にチャートの礫と薄い土壌がまばらにのっけていて、その間を水が静かに流れている。

チャートは風化しにくく、地下に水を通さないため、基盤の表面を水が薄く広がって流れ、湿地ができやすい。この湿地に最初に入り込むのが、シデコブシやシラタマホシクサ、ヌマガヤ、ヤチヤナギなどの湿地の植物である。湿地には時間の経過とともに、さまざまな草本やイヌツゲ、ノリウツギ、アカマツなどの樹木が入り込み、ついには藪のようになってしまう。そのため湿地は乾燥しつつあり、湿地の植物はいずれ滅びてしまうのではないかと危惧されている。

しかし筆者は、200~300年に一回は必ず起こる豪雨の際に、浅く根をはった樹木も草本も薄い表土も一挙に除去され、岩盤が露出して、すべてが振り出しに戻り、湿地が再生すると考えている。藤七原湿地では、斜面の上部に破碎されたチャートの基盤があり、その下方にはところどころにチャートの岩塊がのっけていて、過去に豪雨による表土の除去があったことを裏づけている。

伊川津のシデコブシ分布地はこのタイプの変形で、山麓にあった海岸段丘の堆積物が水流によって除去され、基盤が露出したところに湿地が生じたものである。

(2) 海成段丘堆積物中の粘土層が湿地を形成したもの

黒河湿地がこれに当たる。渥美半島に広がる海成段丘は主に10数万年前に堆積した海の地層からなるが、隆起した台地の表面から5,6m下に粘土層があり、それが水の浸透を止めて湿地を形成することになった。湿地の表面は平らで、水がたまっており、イグサなどの湿地植物と一緒に生育している。ここは水が豊かなので、遷移が進んで藪になる可能性は小さいと見られる。

4. 変化する地形が植物分布に与える影響

地形が変化するという感覚は普通の人にはほとんどないものであろう。山が隆起するといってもそれは年に数ミリという、目には見えない程度のスピードだし、河岸段丘のような身近な地形にしても何万年もかかってできたものであるから、地形が変化するというのはなかなか理解されない。しかし時間のスケールを数10年から数100年にまで広げて考えると、地形が変化するというのは

比較的わかりやすくなる。たとえば西日本ではどこでも、数10年の間には集中豪雨が1,2回はあるのが普通だし、東北日本でも頻度は低下するもののやはり集中豪雨がおこる。

集中豪雨がおこれば、山の斜面では崩壊が発生し、谷間を土石流となって流れ、平野では洪水が起こる。これは人間にとっては災害だが、自然界においてはごく普通のできごとにすぎない。仮に200年に1回にしても1万年の間には50回も起こる計算である。この程度の頻度でおこる地形変化には植物の方にも当然、対策をもつものがあると考えべきであろう。ここではそうした例をいくつか紹介する。

4.1 三頭山のシオジ・サワグルミ林

谷筋の土石流に適応したと考えられる植物にシオジとサワグルミがある。三頭山ではブナ沢などの溪床に沿って分布していたが、1991年8月の台風に伴う集中豪雨で、沢沿いに土石流が発生したため、シオジを中心に直径30~40cmほどの大木までが根こそぎにされるという大きな被害を受けた(写真8)。原生林に生じた被害だったため、自然愛好の市民には大きなショックを与えたが、これも考えてみると、森林更新の一つのタイプともいえ、それほど深刻に考えなくてもよさそうである。もし土石流がなければ、森林の老化が進んでしまい、シオジやサワグルミの林は、いつかは他の樹種に置き変わってしまうであろう。100年か200年に一回程度の土石流はむしろシオジ・サワグルミ林の存続に役立っていると考えられるのである(赤松・青木, 1994)。



写真8 土石流によって流されてきたシオジ、サワグルミの流木 三頭山・大滝のそばの登山道に溢れた(1991年)

もう少し広い河原をもつ河川でも、土石流や洪水によってそれまでの森林が一扫され、代わりにヤナギ類やカンバ類の一斉林ができることが、報

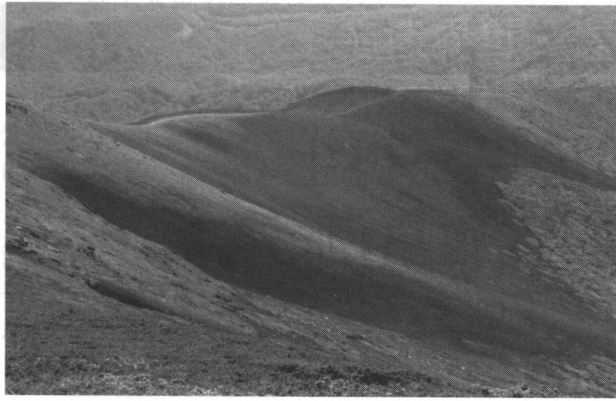


写真9 秋田駒ヶ岳の大焼砂 黒い色のスコリア(火山礫)が堆積している

告されている。

いずれの場合にしても、河辺をコンクリートで固めたり、砂防ダムで土石流を押さえ込んでしまったりすれば、こうしたタイプの植物は存続が難しくなる。河川環境の改変は極力少なくすべきであろう。

4.2 火山の植生

地形変化の一つに火山活動がある。火山は古いものになると、普通の山地と同じような垂直分布帯が発達するが、新しい火山活動があつて溶岩が流出したり、スコリアなどが大量に放出されたりすると、それ以前の植生は破壊され、広大な無植生地ができる。このような裸地には徐々に植生が回復していくが、数100年前までの噴火活動の影響は明瞭に残り、各地でそれを観察することができる。たとえば1783年の浅間山の天明の噴火で流出した「鬼押し出し溶岩流」上では、ガンコウランやコメススキなどの高山植物に加え、シラカバやアカマツ、サラサドウダン、カラマツなどの木本が入りつつあり、徐々に森林に変わりつつある。

これに対し、1719年に流下した岩手山の「焼け走り溶岩流」の場合は、植生の遷移は遅れており、侵入した植物はきわめて少ない。なぜこうなるのかは、まだ明らかになっていない。

同じ奥羽山脈にある秋田駒ヶ岳では、新期の噴火によってできた、「大焼砂」と呼ばれるスコリア斜面(写真9)にタカネスミレやコマクサが生育し、日本有数の群落をつくりだしている。ここは何年前に噴火したのか、記録がないため、よく分からないが、おそらく200年くらい前だろうと推

定される。

5. おわりに—地形・地質の保護と自然保護—

これまで紹介してきたように、地形・地質の役割は多岐にわたるが、とくに大切なことは、地形・地質は生物の分布を決め、生態系を支える基盤であるということである。このことから地形・地質の保護が自然保護の根幹であるということが理解できよう。優れた地形・地質はそれ自体貴重なものだが、それを壊してしまえば、そこに生育していた植物や動物もすべてがだめになってしまう。逆にいえば、地形・地質を保護すれば、植物や昆虫などを含めた自然全体を保護することができるのである。

地形・地質や自然史と生物の分布の関わりを探る分野を、「地生態学」と呼んでいる。関連する分野が多岐にわたる上、独特の勘のよさを必要とするため、研究者はまだきわめて少ないが、自然の「つながり」を把握することを得意とするため、社会的にもようやく認知されるようになってきた。地生態学的な視点は、これまでの生態学や自然保護の論議においてほとんど欠如していたが、今後重要性を増すことは疑いないであろう。地生態学がより広く認知され、関心をもつ人が増えることを期待したい。

なお地生態学や、ここで紹介した事例についてもっと詳しく知りたい方は、筆者の『自然を読み解く山歩き』(JTBパブリッシング)や『日本の山はなぜ美しい』(古今書院)、横山秀司編『景観の分析と保護のための地生態学入門』(古今書院)などをご覧ください。また雑誌『登山時報』にも、筆者の最新の調査結果が紹介されているので、ご覧いただければ、幸いです。

引用文献

- 1) 赤松直子・青木賢人：秋川源流域ブナ沢におけるシオジサワグルミ林の分布, 1994.
- 2) 構造の規定要因, 小泉武栄編：『三頭山における集中豪雨被害の緊急調査と森林の成立条件の再検討』29-77, とうきゅう環境浄化財団研究助成, No. 164.
- 3) 鈴木由告：カタクリの生態と分布, 採集と飼育, 49: 104-109, 1987.

農村景観・自然環境保全再生 パイロット事業の実施事例

佐藤 秀憲*

1. はじめに

人の心にやすらぎを与える水田、水路、ため池、里山等の農村の原風景や自然環境は、過去から現在に至るまで、地域のさまざまな活動により形成され維持されてきたもので、現在および将来における国民共通の資産です。

平成15年1月に自然再生推進法が、平成16年12月に景観法が施行され、農村景観や農村地域の豊かな自然環境の保全、再生等を推進していく必要性が高まってきました。また、平成17年3月に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」においても、良好な景観形成および農村の豊かな自然環境の保全・再生について、農村の振興に位置づけられました。

こうした農村の原風景や自然環境を維持し続けていくためには、地域密着で活動が行われている良好な景観保全に向けた取組みおよび自然再生活動が重要になっています。

また、経済財政諮問会議の「日本21世紀ビジョン」専門調査会報告書において、NPOなど幅広い非政府主体が「公」を担い社会的ニーズに対応すると謳われました。

このようなことから、今後は、行政主体のみならず、NPO等市民団体が活動を活発化させることが重要であると考え、農林水産省では、平成18年度から、NPO等による地域に根差した農村景観や自然環境の保全再生のための取組みに対して直接支援する「農村景観・自然環境保全再生パイロット事業」を実施することとしました。

2. 農村景観・自然環境保全再生パイロット事業の概要

農村景観・自然環境保全再生パイロット事業(以下「本事業」という。)はNPO等が作成した計画案について審査を行い、選定されたNPO等の活動に対して支援を行う公募方式により実施しています。

支援対象となる活動は、農村地域における景観や自然環境の保全のための活動で、さまざまな活動が本事業の対象となります。

具体的には、農村特有の良好な景観形成に資する活動として、耕作放棄田の草刈りや畔の維持、棚田の法面の保護や補修、古い土蔵や石碑などの農村の景観にとって重要な文化資源の保全、農村の豊かな自然環境の保全再生に資する活動として、多自然型水路の保全や維持管理、湿地の造成や管理、水田魚道の設置、動植物の調査、水質のモニタリングが対象となります。

これらは、一例であり、このほかにも、農村の景観と自然環境の保全に資する活動であると認められれば支援の対象となります。また、これらの活動と併せて実施する研修会や体験学習会など、普及啓発のための活動も対象とし、幅広い活動を支援することとしています。

3. 活動の内容

本事業は、平成18年から実施され、今年も各地で活動が実施されています。水田をはじめとする農地と野生生物の結び付きから農村の自然環境を守る活動、棚田の景観を守る活動など、これまでの2年間で、120を超える取組みに対して支援を行いました。

これらの中から、具体的な事例を紹介します。

* 林野庁森林整備部治山課(前農林水産省農村振興局整備部 地域整備課田園環境整備班整備指導係長)

① 特定非営利活動法人サロベツ・エコ・ネットワーク (写真1, 2)

北海道北部のサロベツ原野は、日本最北の国立公園「利尻礼文サロベツ国立公園」の一部で、貴重な動植物の宝庫となっています。サロベツ・エコ・ネットワークはこの自然環境の保全と環境教育を通して、自然と人間の共生の大切さを啓発し、サロベツの美しい自然を子供たちに引き継ぐことを目的に活動しています。



写真1 子供達と生き物調査



写真2 活動の中心となるビオトープ

主な活動は、海岸線の砂丘林の再生や海岸の清掃、サロベツ原野のボランティアガイドの養成、ビオトープなどの調査の実施です。本事業では、地域住民と協力し、牧草地から海に流れ込む土砂の除去を主目的としたビオトープの生き物調査や堆積物の除去などの活動を実施しました。

生き物調査では、希少種の生息が確認されるとともに、調査に参加した子どもたちにとっては、農地と海を結ぶビオトープの重要性を知る機会となりました。

② 特定非営利活動法人シナイモツゴ郷の会 (写真3, 4)

宮城県のため池では、60年ぶりにシナイモツゴが再発見され、このほかにも、絶滅危惧種の発見が相次いだことから、ため池を環境省が重要湿地



写真3 活動を実施したため池



写真4 シナイモツゴの放流

500に選定しました。シナイモツゴ郷の会では、貴重な環境とシナイモツゴを保護するため、ブラックバスの駆除やシナイモツゴの生息数の回復のための取り組みを実施しています。

本事業では、ため池の池干しによる魚類の生息調査とブラックバスの駆除や人工繁殖させたシナイモツゴの放流を行いました。180尾のブラックバスを駆除するとともに、以前ブラックバスの駆除を行った地点で、ブラックバスが生息しておらず、在来種が増加していることが確認されました。マスコミによる取材も多く、農業用のため池の持つ多面的機能を地域住民が知る機会となりました。

③ ナマズのがっこう (写真5, 6)

宮城県の伊豆沼と内沼はラムサール条約の登録湿地に指定されています。ナマズのがっこうでは、この周辺において、農村環境の復元と環境創造型農業の展開に取り組んでいます。具体的な活動としては、小規模水田魚道の開発や魚道への遡上調査、冬季湛水水田による冬鳥の保護、無農薬無化学肥料水稻栽培技術の確立、生き物調査、外来種の駆除のほか、シンポジウムや勉強会、自然とふれあい親しむ見学会の開催など、農村の生態系保全に対する普及啓発活動も実施しています。



写真5 冬みず田んぼに飛来した白鳥の取材



写真6 水田魚道の視察の案内

本事業では、生き物調査、排水路の垂直落差工解消の試験施工やナマズなどの大型魚類を対象とした水田魚道の開発等を行いました。生き物調査により、ゼニタナゴをはじめとする希少種が確認されるとともに、排水路の落差工の設計手法を確立し提案可能なものとすることができました。

④ 特定非営利活動法人棚田ネットワーク (写真7, 8)

棚田ネットワークは、棚田地域での米づくり体験や援農ボランティア等とともに、都市地域において棚田の多面的機能に関する普及・啓発活動などを行い、都市と農山村の人々が相互に理解し協力し、持続可能な循環型社会を創出することを目的としています。

活動は幅広く、新潟県や栃木県などでの棚田の復田作業や棚田ビオトープづくりなどの直接的活動のほか、都市地域での普及啓発活動、企業の社会的責任 (CSR) 活動のコーディネートなどの間接的な棚田の保全に関する活動を実施しています。

本事業の活動の場である栃木県の棚田は、かつては2haもの棚田が広がっていたものの、近年の過疎化と高齢化などにより、耕作放棄率が8割を越え、水路が崩壊し、笹や竹の進入やイノシシによる被害も発生し、棚田の多面的機能が低下して

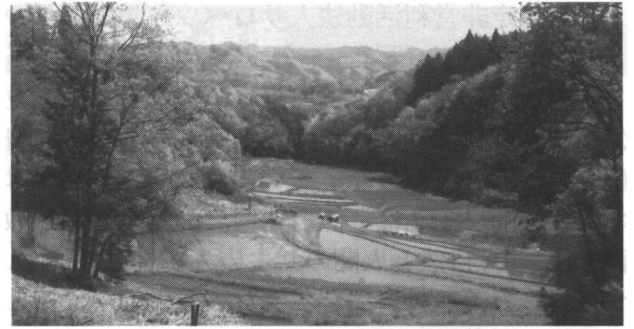


写真7 保全活動を行った棚田



写真8 里山の保全活動も実施

いました。このような棚田において会員と一般市民によるボランティアと地域住民との共同作業による耕作放棄田を含む棚田の維持管理活動や水生生物の定期的な調査などの活動を実施しました。活動参加者と地元住民の交流を通じて、地元関係者による地域活性化への意欲が高まるなど、棚田の復元以上の効果が現れました。

⑤ 特定非営利活動法人千葉自然学校 (写真9, 10)

近年の農村地域の過疎化や高齢化による農地の荒廃がすすむなか、農林水産業を活性化させる活動と自然との新たな結びつきによる暮らしを復活させようとする願いも強くなっています。このような中で、千葉自然学校では、千葉県内の地域資源や人材を活用し、人々に自然体験、農林漁業体験の機会を提供するとともに、環境保全と地域振興を図ることを目的として、社会教育の推進や環境保全を図る活動を実施しています。

具体的な活動は、千葉県の安房自然学校特区計画の本校機能を有する自然学校としてさまざまな自然体験学習の中心となっています。情報発信や交流などによる自然学校のネットワークの形成や自然体験活動指導者育成を行っています。本事業での活動は、遊休農地や里山の整備や茅葺の家の補修を行いました。

活動の結果、荒廃農地がイチゴやソラマメ畑に



写真9 茅葺屋根の補修



写真10 遊休農地の草刈



写真11 生きもの調査の様子

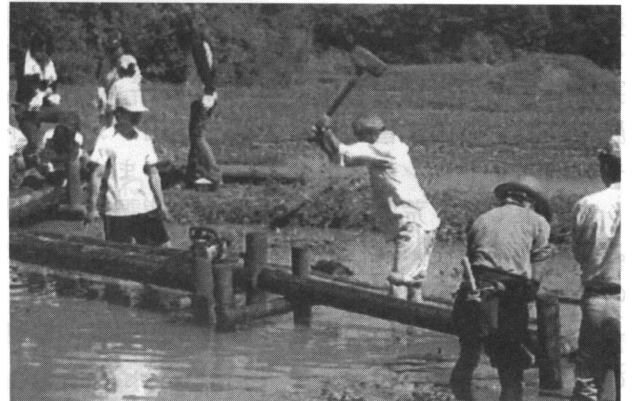


写真12 ため池ビオトープの木道づくり

なり、放置竹林が整備されるとともに、地元企業のCSR活動の場としての参加があるなど保全活動の意義が徐々に拡大しています。

⑥ 水辺と生き物を守る農家と市民の会（写真11, 12）

福井県越前市西部地域は小さな谷津田が里山や水路でつながり、多くの希少野生生物が生息する生物多様性に富む環境が整っています。しかしながら、耕作放棄による環境変化や外来種による環境への悪影響が懸念されていました。このような中で、アベサンショウウオの生息が確認されたことから、生き物調査や生活文化調査などの活動を開始しました。最終的にはコウノトリが舞う田んぼづくりを目指して活動しています。

市民の会の具体的な活動は、生き物調査の指導と実施、休耕田やため池を活用したビオトープづくり、エコキャンプによる都市と農村の交流、外来種の駆除、エコファーマーの育成と環境保全型農業の推進などさまざまである。本事業では、生物多様性のための整備計画づくりや休耕田の湿地化、ため池の草刈りや補修、土水路の整備、ため池の外来種駆除などを行いました。

ビオトープや土水路の整備が進むことにより、アベサンショウウオの産卵場所が確保されるとと

もに、産卵場所の調査により水田周辺の水路などに少し手を加えるだけで野生生物が生息しやすい環境が整えられることを普及しました。

⑦ 恵那市坂折棚田保存会（写真13, 14）

岐阜県恵那市の坂折棚田は、日本の棚田百選に認定された棚田で、百選認定を期に地域住民による棚田保全活動や棚田農業体験などの取組が開始されました。

棚田保存会は、坂折棚田に代表される自然豊かな里山の環境保全を進めながら、中山間地域農業の活性化や都市との交流を通じて豊かで潤いのある地域社会づくりを推進することを目的として活動を行っています。



写真13 放棄田の復旧



写真 14 石積みの修復

主な活動としては、石積み工法について学習と実体験する坂折棚田石積み塾、棚田オーナー制度、農業体験や棚田学習の受け入れ、棚田コンサートや棚田フォトコンテストを実施しています。

本事業では、荒廃田や石積みの実態調査、石積みや畦畔の修復、耕作放棄地の復旧など棚田本来の多面的機能を復活させる取組みのほか、棚田オーナーと住民の憩いの場となるよう、旧家の修繕活動を実施しました。

これらの取組みにより、地域住民に加え、都市住民にも棚田の景観形成に対する意識が高まるなど、地域の振興につながっています。

⑧ 特定非営利活動法人郷の元気(写真 15, 16)
徳島県上勝町の椋原の棚田は平安時代から形成

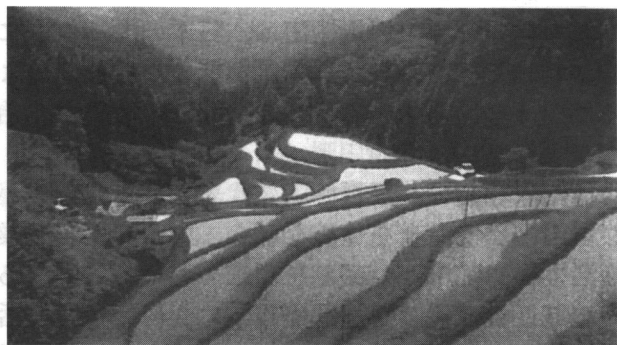


写真 15 活動を行っている椋原の棚田



写真 16 棚田の景観調査

されてきたとされ、棚田は傾斜の厳しい地形にあって、その石積みは、美しい景観を形成するとともに、斜面の崩壊を防ぎ続けてきました。しかしながら、過疎化や高齢化の進行による農地の荒廃により棚田は美しい景観を失い、斜面は崩壊の危険を増していました。

このような中で、郷の元気では、環境・経済・コミュニティ・文化を守り育て、持続可能な地域づくりに向け、ワーキングホリデーや棚田オーナー制度による棚田の保全をはじめとし、森づくり活動、環境教育、交流と定住を促進するための小集落懇談会の実施による都市農村交流による定住化の促進などに取り組んでいます。

本事業では、石垣の高さや勾配の情報を GIS を活用し収集し棚田保全のための基礎データを蓄積する棚田の景観調査、荒廃農地の草刈り、歴史的里道の保全のための草刈り、シンポジウムなどを実施しました。シンポジウムは新聞にも取り上げられ、棚田の保全について県内に情報を発信しました。

⑨ 特定非営利活動法人農と自然の研究所(写真 17, 18)

農と自然の研究所は、「農」が百姓仕事を通じてどのように豊かな自然環境を生み出しているかを、文化的、学術的に明らかにし、それを新しい角度から表現することにより、誰もが「農」を正



写真 17 田の中の草調査



写真 18 田の中の草の研修会

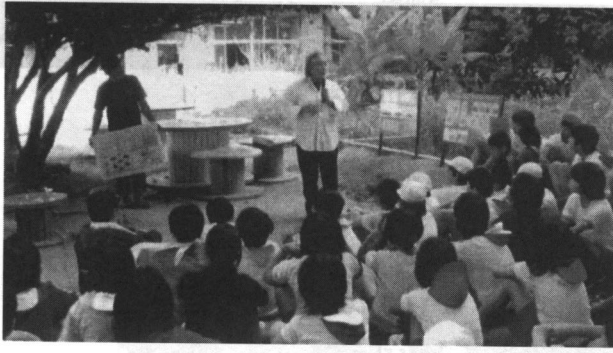


写真 19 外来種出前授業



写真 20 小学生の環境学習

当に評価し、農と自然が永続していく仕組みづくりを手助けすることを目的として活動を開始しました。田んぼの生き物調査の手法を開発し、虫を中心とした動物調査、畔や農道や水路の植物調査を農家が主体となって実施できるガイドブックや調査マニュアルの提案、環境保全型農業の指導等を行ってきました。

本事業では、福岡県内の 14 市町において、農家と地域住民の協力により、畦に加えて田の中の草花調査、畦の百姓仕事の実態アンケート調査・分析、畦の百姓仕事と野の花の関係を表現したポスターの作成やシンポジウムを開催しました。また、風景の調査では、「ただの風景」を「風景化」していくためには、風景のなかに百姓仕事を発見することが重要であり、仕事や暮らしの経験と記憶が重要であることが明らかになりました。

⑩ グループエコライフ (写真 19, 20)

グループエコライフは、「田んぼの学校めだかの学校プログラム」などの環境の保全・再生活動を通して自己の社会性を高め、循環型社会の醸成を図り、新たな文化の萌芽に寄与するとともに、もう一つの学校「総合的な環境学習・体験活動」の拠点となる「エコステーション」の整備に取り組んでいます。

本事業では、沖縄県国頭村において、地域農家や小学生、ボランティア等の協力により、動植物調査、ティラピアやオオサンショウモ等の外来種

の駆除、マルタニシを外来種から守るための防護柵の設置、稲刈り等の環境学習・体験活動プログラム、景観・緑陰植物の植栽などを行いました。

4. おわりに

田園地域や里地里山は、水田、水路、ため池のほか、雑木林や鎮守の森、屋敷林や生垣など、人の適切な維持管理により成り立った多様な環境がネットワークを形成し、持続的な農林業の営みを通じて多様な動植物が生息生育する豊かな自然環境や農村特有の美しい景観を持っています。

このように人の手が入ることにより作りだされた田園地域や里地里山は、人口減少や高齢化、農業の形態や生活様式の変化により、人間の活動が縮小し、田畑や里山林、野草地が放置され、かつて田んぼや里山、草原に普通に見られた多くの動植物が絶滅の危機に瀕しており、耕作放棄田をはじめとして、農村景観にも大きな影響を与えています。

このような状況から、田園地域や里地里山の景観や自然環境を保全再生するためには、地域住民による保全活動のほか、ボランティアや NPO など多様な主体による活動は重要であり、農村の地域住民のみならず都市住民の保全活動への参加が農村の景観や自然環境の保全に不可欠であると考えています。

複合化する自然環境問題と変貌する 首都圏の地震災害リスク

—丹沢山地の斜面崩壊の事例—

いしかわ まきひろ*
石川 正弘*

1. はじめに

神奈川県西部に位置する丹沢山地はその標高の割には急峻な山であり、大雨によって斜面崩壊がしばしば発生している。丹沢山地の南側の麓には本州プレートとフィリピン海プレートのプレート境界が地表に露出しており、伊豆小笠原弧の本州への衝突によって丹沢山地は隆起している。神奈川県から房総半島の直下には関東地震の震源断層が横たわっており、神奈川県西部は1923年の関東地震の震源域であると推定されている。関東地震が発生した際には、地震直後から発生した大火災もあり10万人以上の尊い人命が奪われ、また、斜面崩壊も甚大なものであった。将来的に神奈川県西部を震源とする巨大地震が再来すれば、1923年の関東地震同様に、大規模かつ広域的な斜面崩壊が発生する可能性が高い。当研究室GIS研究班(本多泰章, 込戸雄太, 林俊一郎, 内山崇)では、文部科学省21世紀COEプログラム「生物・生態環境リスクマネジメント」(代表: 浦野紘平)の一環としてまず、(1)神奈川県西部の斜面崩壊・地質・地形の各種空間データを地理情報システム(GIS)により統合、(2)GISデータを用いた1923年関東地震による斜面崩壊の分布特性の解析、(3)豪雨による斜面崩壊との比較研究、等を行った。本報告では、丹沢山地の斜面崩壊を取り上げることで、複合化する自然環境問題と変貌する首都圏の地震災害リスクを考察する。

2. 神奈川西部の自然環境問題

神奈川県の重要な水源地として知られる丹沢山

地では、大雨によって斜面崩壊がしばしば発生している。斜面崩壊は、われわれ人間の生命を直接脅かす自然災害であり、その災害リスクを評価することは重要である。一方、生態系にとって斜面崩壊は環境リスクと見なせるのであろうか。斜面崩壊が自然発生的な場合、あくまでもそれは過去に絶えず繰り返してきた自然現象の一部であり、生態系にとって敢えて環境リスクと見なす必要はないかもしれない。しかし、斜面崩壊の発生頻度が人間活動によって直接的・間接的に上昇してしまった場合、斜面崩壊は生態系にとってリスクと見なす必要があるであろう。例えば、近年、丹沢山地では過剰に繁殖した鹿の食害による林床植生の劣化が深刻となり、生態系そのものがすでに深刻な環境リスクに曝されている(鹿の食害によって次世代植物が育たにくいという問題など)。また、林床植生の劣化は土壌浸食という環境問題を引き起こしており、表層地質の力学的不安定性(斜面崩壊発生ポテンシャルの上昇)を招いている。さらには丹沢山地における保水力の低下などの水環境の変化が危惧される。現代の丹沢山地における自然環境は複合的に脆弱化しており、内在するリスクは生態系のみならず水源を丹沢山地に依存するわれわれ人間にとっても重大な問題として捉える必要がある。特に、神奈川県西部が関東地震の震源域であることを考慮すれば、この問題は地殻—地震—地質—土壌—水—生態系—人間—首都圏が複雑に絡み合う深刻な様相を呈してくる。

3. 東京-横浜大都市圏—関東地震震源域—

関東地震は大規模な災害を引き起こすリスク要因である。1923年9月1日に発生した大正関東地震は神奈川県直下で発生した大地震であり、東京-横浜大都市圏に甚大な被害を与えた(図1)。武村

* 横浜国立大学 大学院環境情報研究院 自然環境と情報部門 准教授

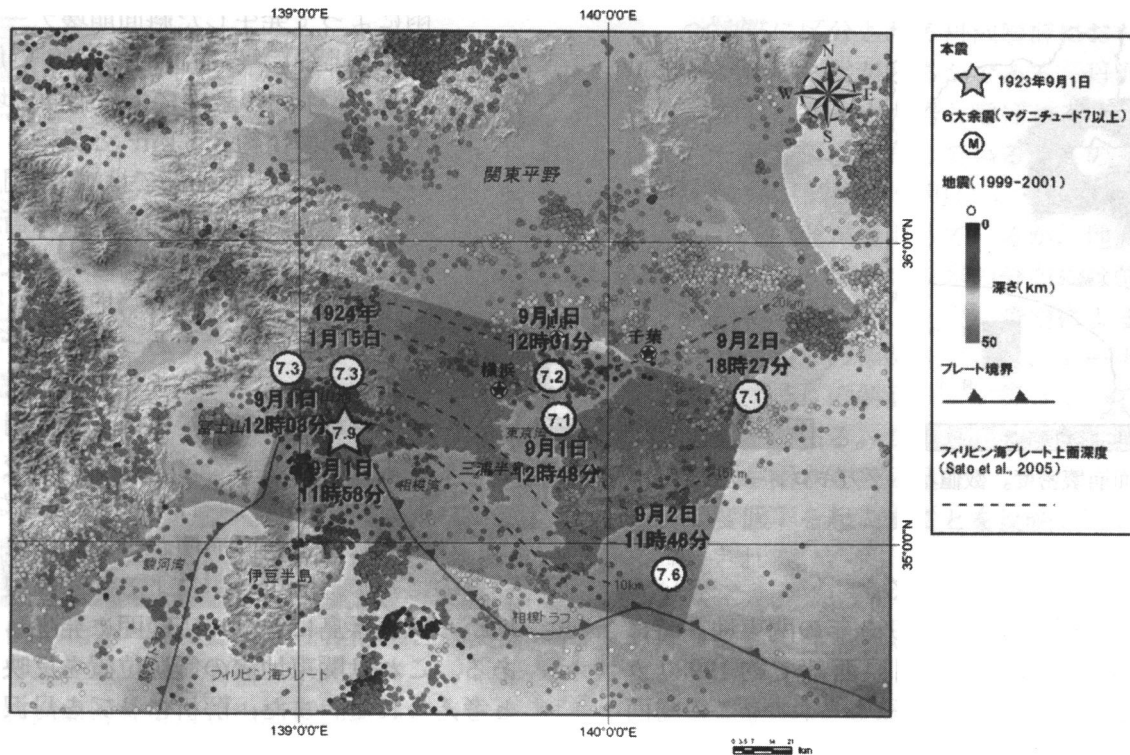


図1 関東地震の本震余震および震源断層の分布

雅之の著書「関東大震災」によると、被害状況は、地震直後から発生した大火災もあり10万人以上の尊い人命が奪われるものであったと推定されている（一般的に、「関東大震災」と呼ばれている）。東京-横浜大都市圏は地震によって壊滅的な被害を受けた最初の巨大都市であった。一方、都市部から離れた神奈川県西部の丹沢山地や箱根付近では大規模な山津波や斜面崩壊が多数発生し、800人近くが命を落とした。関東地震は土砂災害に関しても過去最大級の規模であったといえる。

関東地震の震源断層は神奈川県直下に東西に横たわっており、神奈川県西部の松田付近と三浦半

島の地下に専門用語で「アスペリティ」と呼ばれる強い固着域が分布していると考えられている。1923年に大正関東地震が発生して以来、首都圏では大きな地震の揺れを80年以上経験していない。しかし、大地震の再来は地震学の視点から見れば必然的な現象であり、次回の関東地震でも大規模な斜面崩壊が発生すると予想される。

したがって斜面崩壊による環境リスクを予測するには、まず斜面崩壊の発生確率を的確に見積もることが重要となる。関東地震によって実際に斜面崩壊が発生した事例を分析した上でハザードマップを作成することが必要不可欠であると考えている。

4. 関東地震による斜面崩壊

神奈川県西部を震源とする巨大地震が発生すれば、1923年の大正関東地震同様、大規模かつ広域的に斜面崩壊が発生するリスクは非常に高いと考えられる。当研究室では、1923年の関東地震によって発生した斜面崩壊の分布特性を明らかにすることを目的とし、神奈川県西部の斜面崩壊の時空間データを地理情報システム（ESRI社 ArcGIS）によりデータベース化した（図2）。研究で使用した斜面崩壊データは、国土調査による1/50,000土地分類基本調査の附

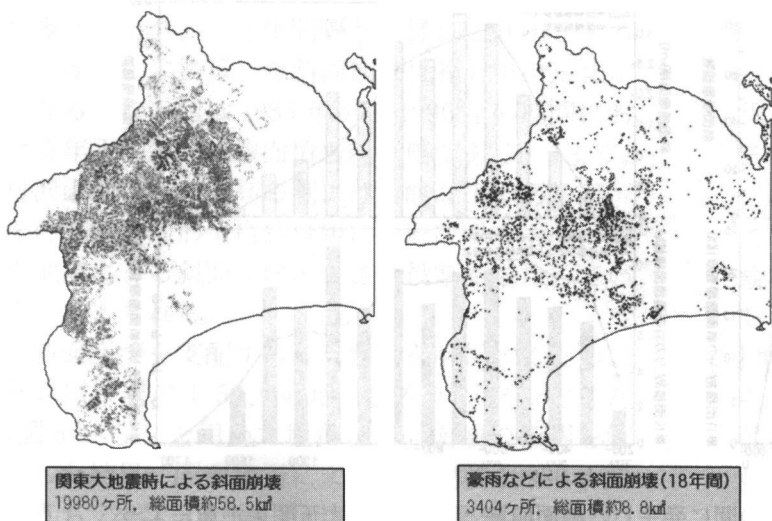


図2 斜面崩壊分布（左：関東地震，右：豪雨など）

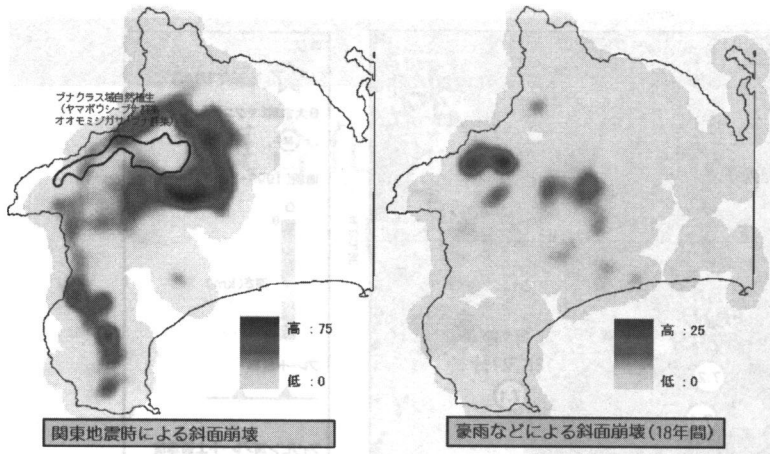


図3 斜上面崩壊密度。数値は1平方キロメートルあたりの斜面崩壊発生数

図「自然災害履歴図」である。

GIS解析を行った結果、1923年の関東地震時に発生した斜面崩壊は神奈川県西部で約19980カ所、総面積約58.5km²と見積もられた。この総面積は神奈川県の面積の2.4%に相当する。同様に、神奈川県西部で1968年～1986年の18年間に豪

雨によって発生した斜面崩壊データを自然災害履歴図から抽出してGISで解析した結果、18年間の豪雨による斜面崩壊は3404カ所、総面積約8.8km²と見積もられた。つまり、神奈川県西部では18年間に豪雨で発生した斜面崩壊の約5.8倍の箇所および6.6倍の面積が関東地震によって引き起こされたことになり、関東地震による斜面崩壊が桁外れの規模であったことを理解することができる。

つぎに、関東地震による斜面崩壊と豪雨による斜面崩壊の分布特性を比較した(図3)。その結果、両者における大きな違いは、豪雨による斜面崩壊が丹沢山地に集中しているのに対し、関東地震による斜面崩壊は丹沢山地から伊豆半島にかけて広範囲に発生したことがある。これは関東地震の震源位置を反映していると考えられる。また、解析エリアを丹沢山地に限って比較すると、豪雨による斜面崩壊は丹沢山地中央部にもっとも集中しているのに対し、関東地

A. 標高

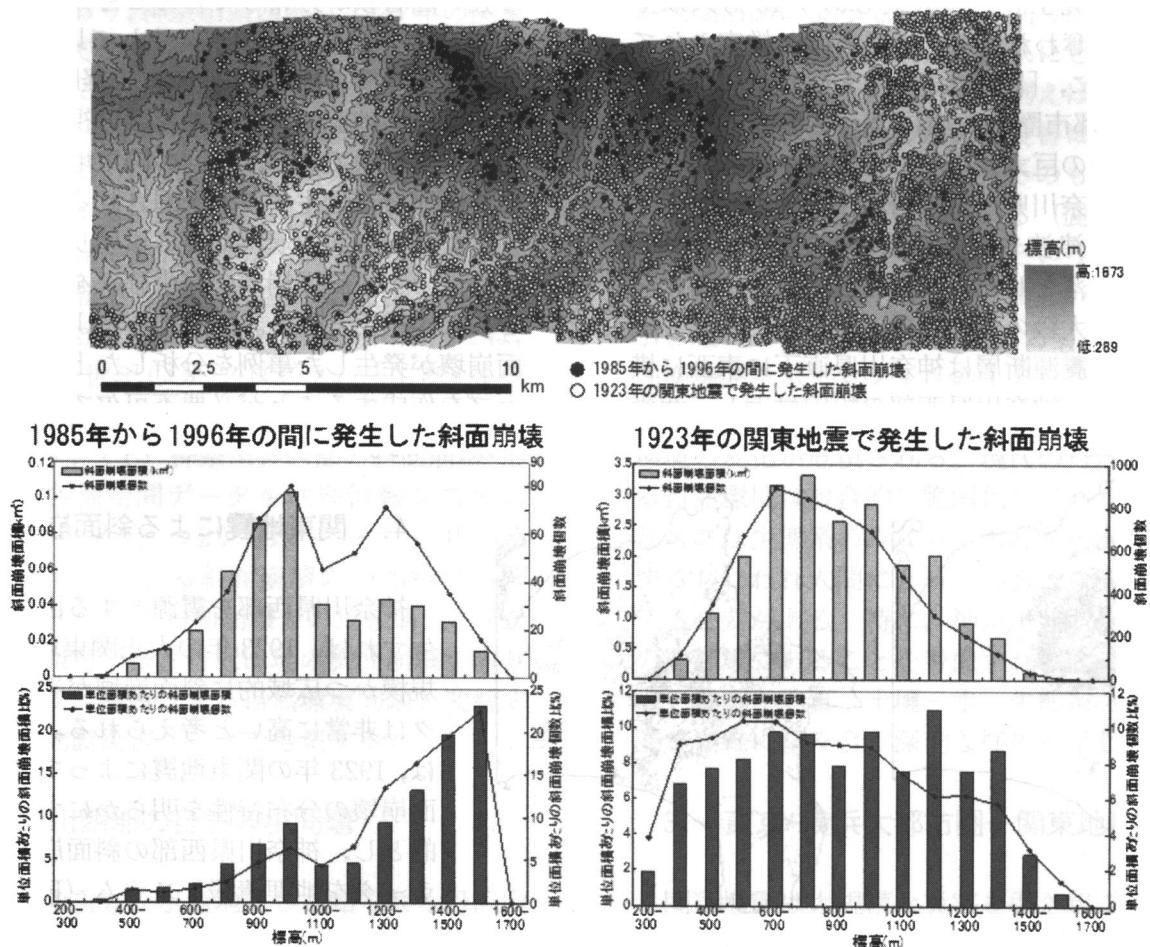


図4 丹沢山地における1985年から1996年の間に発生した斜面崩壊と1923年の大正関東地震によって同範囲で発生した斜面崩壊の分布特性

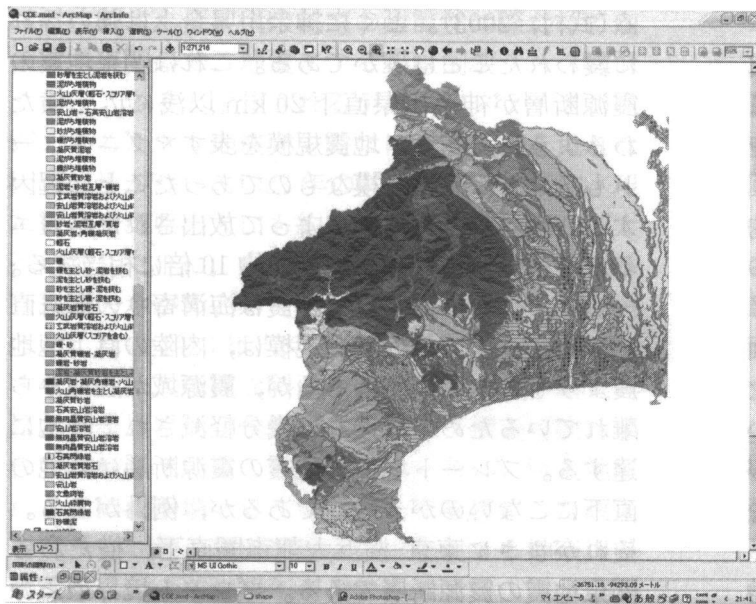


図5 GIS ベース上でデジタル化された地質図

震による斜面崩壊は東丹沢山地に比較的集中する特徴が認められた。

続いて、航空写真を用いた丹沢山地の斜面崩壊履歴に関する研究を紹介する。具体的には、1985年と1996年の航空写真を用いて丹沢山地の斜面崩壊を判読し、二つの年代間に発生した斜面崩壊を抽出した(図4)。1985年から1996年の間に発生した斜面崩壊は、182 km²の解析領域で計501カ所確認され、平均面積は996 m²、総面積は0.5 km²であった。比較のために、1923年の大正関東地震によって同範囲で発生した斜面崩壊の総面積を算出した結果、その総面積は約20.9 km²であった。つまり、丹沢山地では11年間に豪雨で発生した斜面崩壊の約40倍の面積が関東地震によって引き起こされたことになる。

関東地震の再来周期は正確には決定されていないので、仮に元禄関東地震(1703年)と大正関東地震(1923年)の発生間隔と同様に220年とすると、年平均に換算した斜面崩壊面積は0.095 km²となる。この値は1985年から1996年の期間における年平均斜面崩壊面積の約2倍である。つまり、丹沢山地はその標高の割には急峻な山であるが、その急峻な地形(自然景観)を形成する上で、関東地震による斜面崩壊が大きな役割を果たしていると考えられる。

斜面崩壊を支配する地質要因を解析するために神奈川県域の1/50,000地質図をデジタル化した(図5)。GISを用いて地質と斜面崩壊の相関を解析した結果、関東地震による斜面崩壊19980カ所のうち72%(また、斜面崩壊の総面積58.5 km²のうち81%)が中新世の火山岩類・火山砕屑岩類の

地質に区分される丹沢層群において発生していることが明らかである。丹沢山地中央部にはトータル岩と呼ばれる花こう岩類の一種が広く分布している。このトータル岩は化学的風化作用によってマサ化しており、強度が低下しているが、地震による斜面崩壊とトータル岩の分布には強い相関が認められない。一方、豪雨による斜面崩壊と地質との相関をみると、トータル岩分布域で多くの斜面崩壊が起きていることが明らかである。つまり、マサ化したトータル岩が雨水を吸い込むことによって著しい強度低下を起こすことを反映していると解釈される。

5. 生態系の環境リスク

将来、関東地震もしくは神奈川県西部におけるマグニチュード7級の地震が起こることは生物生態系にとって重大なリスクと考えられる。丹沢山地では鹿による林床植生の被害が深刻化しており、生態系自身がリスクを抱えている。斜面崩壊によるリスクの評価は次の手順に従って行われるであろう。まず、評価の対象となる斜面崩壊の発生確率を明らかにする。実際に関東地震の斜面崩壊が発生した事例を分析した斜面崩壊密度マップなどのハザードマップを用いるのが最も的確である。斜面崩壊発生の発生確率と生物生態系の分布を重ねあわせて、被災可能性が見積もられる。このようなリスク評価法は丹沢山地のみならず、地震活動が活発な地域に将来応用できると期待している。

6. 水源地としての複合的リスク

大正関東地震が発生した1923年と現在では、丹沢山地の地震に対する脆弱性は変化しているであろう。その理由は土壌浸食が危惧されているからである。表層土壌が脆弱な状態で次の関東地震がくれば、斜面崩壊は大正関東地震よりもさらに大規模になる可能性を想定しなくてはならないかもしれない。つまり、丹沢山地の斜面崩壊リスクは、「地震という自然現象」と「人間が間接的に関与したと思われる林床植生の劣化」が合わさった複合的リスクの様相を呈してきている。したがって、丹沢山地では、地震災害リスクと生態環境リスクを別々のリスクとして取り扱うのではなく、複合化したリスクとして捉え、人間と生物・生態系に

とってのリスク対策を取らねばならない。

まず私たちは、関東地震により、丹沢山地の自然環境が持つ水源地としての保水能力が下がることや人間が作ったダムの貯水能力が下がることを想定する必要がある。ひとたび関東地震が起これば、神奈川の水瓶である丹沢山地では表層の約10%が斜面崩壊する現象が待っている。地表面の保水能力は低下する可能性が高い上に、その後豪雨が来れば、水は浸透せず岩盤が露出した表面を直接流れ、土石流となって下るであろう。またダムに流れ込む土砂量も、豪雨では四百年以上かかるものが関東地震では一瞬で発生する可能性が高い。大量の土砂が流れ込んだダムは貯水能力をいったいどこまで失うのであろうか。残念ながら現時点では想像すらできないが、これら保水能力や貯水力の低下を見積もることは、将来の水源地リスクを検討する上で欠かせない。

7. 変貌するリスク

関東地震による被災可能性の特徴は広域的なことである。一般に、被災可能性は地震の震源断層からの距離、震源の深度および放出されたエネルギー量（マグニチュード）により左右される。兵庫県南部地震は野島断層が動いたことによる直下型地震であり、震度7の地域はこの活断層近傍にかざられた。一方、家屋倒壊率から見積もられた大正関東地震の震度7の地域は、兵庫県南部地震の場合と比較にならないほどはるかに広域的であ

る(武村, 2003)。とくに神奈川県全土は強い揺れに襲われたことは確かである。これは関東地震の震源断層が神奈川県直下20 km以浅に広く横たわるように分布し、地震規模を表すマグニチュードも7.9という大規模なものであったことに起因する。因みに関東地震によって放出された地震エネルギーは兵庫県南部地震の約10倍に相当する。一般に、プレート境界型地震は海溝寄りの海底直下で発生する。その地震規模は、内陸の直下型地震よりも大きい傾向があるが、震源域が陸地から離れているために、揺れは幾分軽減されて陸地に達する。プレート境界型地震の震源断層は陸地の直下にこないのが一般的であるが、例外がある。それがまさに東京-横浜大都市圏直下に横たわる関東地震の震源断層である。プレート境界型震源断層が大都市圏直下に横たわっているのは、東京-横浜大都市圏のみであり、神奈川県はまさにその多くの範囲を占めている(図1)。したがって、神奈川県の直下には震源断層が存在することは避けられない事実であり、神奈川県のごとく、多くの人々が直接的に地震災害の影響を受けると予想される。

次に、人間の生活圏も含めて地震災害リスクを考える(図6)。関東地震がくれば、巨大地震によって水道網などのライフラインが直接的に大きなダメージを受けることは避けられないであろう。そのみならず、丹沢山地の斜面崩壊によって、神奈川県の貯水能力は長期的に落ち込んでしまう危険性が高いことを忘れてはいけない。1923年当

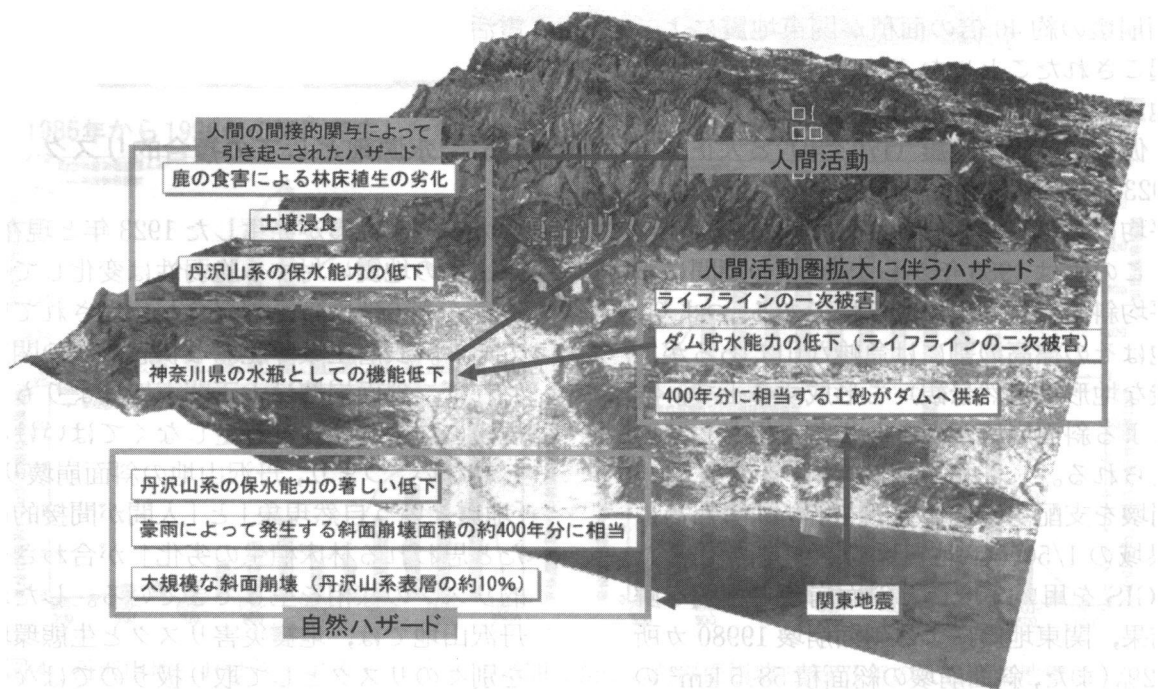


図6 複合化する自然環境問題と変貌する首都圏の地震災害リスク

時と比較すれば現代の住宅の耐震性は際だって向上しているのに、地震による家屋倒壊リスクは低くなっていると予想されるが、ライフラインが脆弱であるかぎり地震発生時には2次災害を免れない可能性が高い。1923年の関東地震時に比べ、現在は神奈川県の人々の人口も約140万人から約900万人へ増加した上に、自然環境豊かな丹沢山地には神奈川県の水がめとしての役割が著しく増大している。これは1923年当時と異なる社会状況である。すなわち、大規模な斜面崩壊が丹沢山地で起きれば、神奈川県民が水源を失うという被災可能性が極度に増していることにほかならない。巨大地震による斜面崩壊という環境リスクを想定した政策を行うことは、震源断層直上で生活する神奈川県の人々にとって必要不可欠である。

8. リスク評価に関する問題点

このリスク評価に関する問題点は、関東地震の再来周期は不確実性が高いために、100年以上先のリスクとしてとらえるのか、数十年以内のリスクとして認識するのかを判断できないことである。関東地震はプレート境界型地震と見なされており、相模湾海底では相模トラフがプレート境界にほとんど一致する。しかし、関東地震の震源断層は伊豆半島から丹沢山地直下ではフィリピン海プレートの上部地殻と下部地殻の境界に沿って分布することが明らかにされている (Sato et al., 2005)。つまり、神奈川県西部で陸上に現れる国府津松田断層や神縄断層などのプレート境界は、関東地震の震源断層ではなく、地下深部の関東地震震源断層から陸上に派生した断層と解釈される。実際、大正関東地震 (1923年) の際にはこれらの活断層は動かなかつたと考えられている。阪神淡路大震災を契機に日本列島の活断層において多くのトレンチ調査が行われ、その再来周期が次第に明らかになってきているが、関東地震の場合、震源断層は地表に露出しないために、その再来周期は房総半島の段丘形成時代から間接的に調べられているのが実態である。元禄関東地震 (1703年)

から大正関東地震 (1923年) 発生までの再来間隔が220年という非常に短いものであり、現在は大正関東地震からはすでに80年以上経っているという認識をもつ必要がある。実際の地震の再来期間は同地震の再来周期と開きがあるのが実態である。次の関東地震の発生が何年先かを予測することができない現状では、近い将来に関東地震が起こる可能性を考慮し、想定されるリスク、被災可能性、社会システムの脆弱性、災害対応を検討することが東京-横浜大都市圏では必要である。

次の関東地震がいつ発生するかははっきりしていないが、それ以前に神奈川県を大地震が襲い、大きな被害を与える可能性は高いと思われる。なぜならば神奈川県西部では、元禄関東地震 (1703年) 発生から79年後の1782年に天明小田原地震 (マグニチュード7級) が関東地震震源近くで起きている。その他、1633年の寛永小田原地震や1853年の嘉永小田原地震が神奈川県西部を震源としたマグニチュード7級の地震として発生している。マグニチュード6.9の新潟県中越地震 (2004年) では斜面崩壊が広域的に多数発生しており、マグニチュード7級の地震でも、かなり大規模な斜面崩壊が発生した。丹沢山地で斜面崩壊リスクを評価する際、マグニチュード7級の地震も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 石川正弘・込戸雄太・西本壮志：関東地震による斜面崩壊，地理情報システム学会講演論文集，14：199-202，2005。
- 2) 武村雅之：関東大震災一大東京圏の揺れを知る，鹿島出版会，2003。
- 3) Hiroshi Sato, Naoshi Hirata, Kazuki Koketsu, David Okaya, Susumu Abe, Reiji Kobayashi, Makoto Matsubara, Takaya Iwasaki, Tanio Ito, Takeshi Ikawa, Taku Kawanaka, Keiji Kasahara, and Steven Harder: Earthquake Source Fault Beneath Tokyo, Science, 309, 462-464, 2005
- 4) ジェイムス・K. ミッチェル：巨大都市と変貌する災害 (中林一樹監訳)，古今書院，2006。

世界遺産バーミヤーン遺跡を守る

やま うち かず や
山内 和也*

1. はじめに

アフガニスタンの首都カーブルから飛行機で西へ約30分、アフガニスタン中央部をほぼ東西に横断する高峻なヒンドゥークシュ山脈の山並みの中に、ひとときわ明るく輝く谷が見えてくる。この谷こそがバーミヤーン渓谷である。

世界遺産バーミヤーン遺跡(図1)は、アフガニスタンの中央部のやや東より、首都カーブルの西北西約120km、ヒンドゥークシュ山脈のほぼ西端、標高約2500mの山岳地帯に位置する(図2)。この地には、紀元後5~9世紀にかけて華やかな仏

教文化が栄えていた。バーミヤーン渓谷の北側に位置する大崖には東西2体の大仏をはじめ、数体の坐仏、そして艶やかな壁画で彩られていた750を超える仏教石窟が開鑿された。これは、アフガニスタンにおける仏教文化、仏教芸術の最後の輝きとも言うべきものであった。

中国の求法僧である玄奘(三蔵法師)がこの地を訪れたのは、バーミヤーン最盛期と考えられている7世紀の初めであった。玄奘は、「伽藍は数十か所あり、僧徒は数千人いて、小乗の説出世部をたっとび学んでいる」と述べるとともに、大崖に彫り込まれた2体の大仏、そしていまだその所在が明らかとなっていない「王城」、「先王の伽藍」、「大涅槃仏」について書き記している。

仏教が衰退し、イスラーム教が広まるにつれ、この類まれな仏教芸術は幾多の破壊の危機に晒されることとなった。特に、偶像崇拜を禁ずるイスラーム教にとって、仏教壁画や大仏の顔は破壊の格好の標的であった。今に残る壁画の仏陀の顔、特に目のほとんどが潰されており、また大仏の顔は顎に至るまで削り取られてしまっている。

幾世紀にも亘るこうした危機を乗り越えてきたバーミヤーンの仏教芸術に大きな悲劇がもたらされたのは、2001年3月のことであった。2001年2月にターリバーン政権の宗教的指導者であったムッラー・オマルが発した偶像破壊の教令に基づき、東西両大仏が爆破され、破壊されてしまったのである(図3)。大仏のみならず、坐仏、そして石窟に残されていた壁画の多くもこのとき失われてしまった。

2001年9月の「同時多発テロ」、そしてアルカーイダ及びターリバーンに対する国際社会の非難、10月のアメリカによる空爆の開始を経て、11月に入るとターリバーン政権はもろくも崩壊してしまった。このようにして、1979年のソ連軍の侵攻以

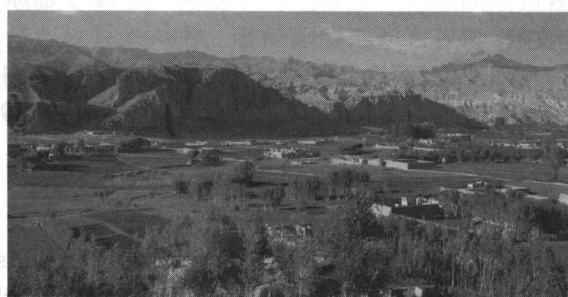


図1 バーミヤーン遺跡全体、及び周辺地域の景観

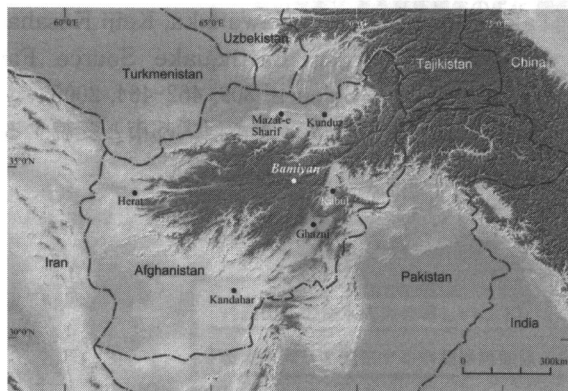


図2 バーミヤーンの位置

* 独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所
文化遺産国際協力センター 地域環境研究室長

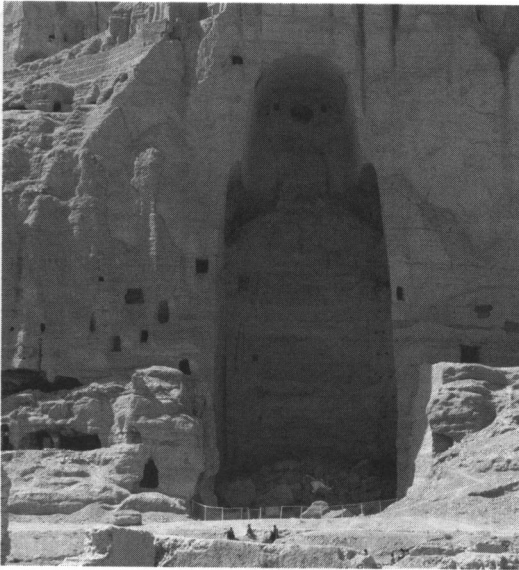


図3 破壊された大仏，破片が散乱している状況（2003年）

来、20余年に亘って続いていた戦乱にも一応の終止符が打たれ、アフガニスタンの再建に向けて、新しい時代が訪れたのである。

2. バーミヤーン遺跡の保護へ

2002年5月、戦後間もない首都カーブルで一つの国際会議が開催された。「アフガニスタン文化遺産復興セミナー」である。戦乱はアフガニスタンの国土を荒廃させたのみならず、人々の心、そしてその拠り所である文化をも完膚なきまで破壊してしまった。長く果てることのないと思われた戦乱の終りは、人々の心に平和への小さな希望をもたらし、それと同時に、自分たちの文化を復興しようという機運が生まれたのである。

再興間もない国立カーブル博物館の入り口には、「文化が生き続ければ国も生き続ける」という垂れ幕が掲げられていた。厳しい時代に自分たちの文化を守ろうとして危険を覚悟で尽力してきたアフガニスタンの人々とともに、文化を復興しようという試みが、このセミナーを機に始まったのである。セミナーではアフガニスタンの文化復興全般について様々な議論が行われたが、その中心はやはりバーミヤーン遺跡であった。そこで日本政府がユネスコに対して、遺跡の保存・修復のための資金を提供することを表明したことが、バーミヤーンの文化遺産の保護に日本が係わる大きな契機となったのである。

こうした国際社会の動きの中、2003年7月、バーミヤーンは「バーミヤーン渓谷の文化的景観と考古学的遺跡群」の名称で、世界遺産リスト及び

危機にさらされている世界遺産リストに登録された。その登録にあたっては、バーミヤーン大仏の東西両大仏と仏教石窟群のほか、カクラク谷とフォーラーディー谷の仏教石窟群、都城址であるシャフリ・ゾハーク及びシャフリ・ゴルゴラ、望楼であるカラ-イ・カーファリーの各遺跡とそのバッファゾーン、そしてこれらの考古遺跡を内包する景観全体が指定されている。

同年には、「ユネスコ文化遺産保存日本信託基金」によってバーミヤーン遺跡保存事業が本格的に開始されることとなった。この事業には様々な国から専門家が参加し、アフガニスタン人の専門家と共にバーミヤーンの文化遺産の保護のために活動している。この活動の中心となっているのはドイツ、イタリア、そして日本の専門家である。日本は、当初から独立行政法人東京文化財研究所・奈良文化財研究所が中心となってこの国際的な事業に参加し、2003年度から2007年度に至るまで、計8回の調査団を派遣している。

世界遺産バーミヤーン遺跡は、20余年にわたる戦乱の間、人の手が差し伸べられるとなく、打ち捨てられていたこともあり、自然の要因による劣化、つまり崖面の風化や崩落が進んでいた。また、それに加えて、爆破といった破壊行為のみならず、美術品として売買することを目的として壁画の切り取りが行われた結果、多くの壁画もまた失われることとなった。このように、様々な要因によって被害を被ったバーミヤーン遺跡のすべてを保存・修復、そして保護することは、到底不可能であることから、活動の開始にあたっては、いくつかの優先事項が定められることとなった。

3. 遺跡保護のための様々な取り組み

(1) 大仏龕の補強

もっとも優先順位が高いものとして挙げられたものの一つが、爆破の影響で大きな亀裂が生じ、崩壊の危険がある両大仏龕の補強である。そもそも、大仏が掘り込まれた大仏龕及びその周辺の崖には、崖面と平行に亀裂が生じていたが、爆破の振動や爆風によってその亀裂がさらに広がったのみならず、新たな亀裂が生じてしまった。東西両大仏が彫り込まれていた大仏龕の周辺の崖面を補強し、その崩壊を防ぐことが緊急かつ重要であることは至極当然のことであった。

この大規模な土木工事を担ったのは、マルゴッティニ・モデナ大学教授とイタリアのロディオ社である。崖面の補強にあたっては、崖の上方か

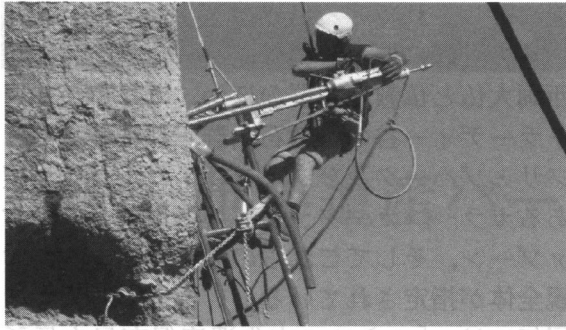


図4 大仏崖面補強、アンカー打ち作業



図5 ドイツイコモスによる大仏破片の回収作業

らぶら下がり、削岩機で穴を穿ち、アンカーを打ち込むという工法が採用された(図4)。脆弱化の著しい崖面では、常に岩の崩落の危険性があり、下方からアプローチすることを困難であったためである。イタリアの専門家は、このようなユニークな工法を用いて、最も危険であった東大仏の仏龕の補強を成功裏に完了したのである。

(2) 大仏の破片の保護

爆破された大仏に関しては、大仏の破片の保護もまた大きな課題であった。破片は依然として大仏龕の床の上に大量に堆積していた。礫岩やシルト岩からなる破片は水に弱く、雨や雪が降りかかると、容易に崩壊し、細かい土砂になってしまうため、できるだけ早くそれらの破片を回収し、しかるべき場所に保管する必要がある。時にはクレーン等の機材にもこと欠く中、ドイツの専門家は、東西両大仏の仏龕の中に残された破片の大部分を回収し、一時的な収蔵庫に保管している(図5)。

またドイツは、これらの破片と大仏が彫り込まれていた崖面の地磁気を調査することによって、それぞれの破片のもともとの位置を特定しようという試みも開始している。これは破壊された大仏の将来にも係る重要な試みである。というのも、こうした調査・研究は、いわゆる大仏の再建に直接関係してくることであるからである。爆破の当初より、大仏再建を期待する声は高かったものの、時期尚早として、今のところ大仏再建の是非を論じることは控えられている。しかしながら、このドイツの調査・研究が有用であり、破片の原位置を特定できることが明らかになれば、これが新たな大仏再建の論議の火種になる可能性がある。いずれにしても、現時点では、このドイツの調査・研究の成果を待つという状況にある。

なお、ドイツは現在、破片の回収をほぼ完了し、大仏龕の中に足場を組み上げており、足場の設置が終了しだい、大仏龕の奥壁の補強を実施することとなっている。

(3) 壁画の保存修復

壁画の保存修復もまた、大きな課題として取り上げられた。壁画の損傷に関しては、経年劣化による剝落もさることながら、人為的な行為による破壊の痕跡が、壁画が残されていた大部分の石窟で観察された。偶像破壊の一連の行為の中で行われた破壊では、壁画に銃弾が打ち込まれたものもあれば、刃物で刻まれたものもあり、また、靴跡で汚されたものもある。実は、こうした宗教的な破壊行為にもまして壁画に甚大な被害をもたらしたのは、売買を目的とした壁画の切り取りや剥ぎ取りである。石窟の壁に描かれた壁画を無理に剥ぎ取ろうとしたのであろうが、おそらく多くの場合は失敗に終わってしまい、その結果、大部分の壁画は小さな断片となり、床に散乱することとなってしまった。このようにして、戦乱の開始以前に確認されていた壁画の約80%が失われてしまったのである。

2002年10月に派遣された日本・ユネスコ合同ミッションでは、床面に散乱する壁画の断片が確認されている。このような破壊されて床面に散乱している壁画を回収して、安全に保管すること、そして、依然として石窟の壁面に残される壁画を保存することが重要な課題となったのである。

このバーミヤーン遺跡の仏教壁画の保存修復を担当しているのが東京・奈良文化財研究所である。床面に散乱している壁画を回収し、安全な場所に保管するという作業を完了し、現在では、石窟内に残されている壁画の保存修復に取り組んでいる。

仏教石窟は、仏教が衰退し、その本来の機能を失った後も、一般の住居として現在に至るまで利用されてきた。そのため、新たに壁土が塗り重ねられたり、煮炊きの煙によって壁画の表面が厚い黒色の付着物で覆われたりしている。

特にスス状の黒色物質は、壁画を見えにくくするだけでなく、化学的に見れば、多糖類などの



図6 N(a)窟，壁画修復作業風景（2006年～2007年）

水溶性の有機物を多く含むことから、空気中の湿度変化に応じて膨張と収縮を繰り返すため、壁画の彩色層に負担がかかり、微細な剝落の一因になると考えられている。そのため、そうした損傷を防止するため、スス状の黒色物質のクリーニングが必要であり、パイロット事業としてN(a)窟で壁画のクリーニングを実施している(図6)。その過程で、新たな図像が見つかるなど、大きな成果が挙げられている。また、保存修復の方法を検討するために実施している技法・材料の調査・分析においては、バーミヤーンのいくつかの仏教壁画には油彩画の技法が用いられているという大きな発見もあった。

(4) 保存管理活用計画の策定

破壊されたバーミヤーンの文化遺産を保存・修復するだけでなく、それをどのようにして保護し、活用していくかということもまた大きな課題である。前述のように、バーミヤーンは「バーミヤーン渓谷の文化的景観と考古学的遺跡群」という名称で世界遺産に登録されている。つまり、大仏や壁画といった、どちらかといえばわかりやすい考古遺跡を保護するだけでなく十分ではな

く、それを取り巻く景観全体を保護していくことが求められるということである。北側に位置する大崖に掘り込まれた大仏や坐仏、そして仏教石窟のみならず、それを取り巻く景観そのものを保護していくということである。こうした包括的な保存を推進するために、保存修復・管理・活用計画の作成が求められており、東京・奈良文化財研究所とドイツのアーヘン工科大学が共同でこの計画案の策定にあっている(図7)。

(5) 考古学調査

こうした保存修復・管理・活用計画の基礎的な資料となるのが、バーミヤーンの文化遺産を構成する一つ一つの要素の調査である。このために、谷に点在する石窟や望楼といった考古遺跡の分布調査、さらには地中に埋もれているいわゆる埋蔵文化財の調査といった考古学調査が実施されている。玄奘は、『大唐西域記』の中で、2体の大仏のみならず、「王城」、「先王の伽藍」、「大涅槃仏」の存在についても記しているが、これらはいずれも未確認であり、バーミヤーンにおける大きな謎となっている。

こうした謎を解き明かす鍵を見つけることも重要であるが、地域開発から埋蔵文化財を守るためにも、考古学調査は不可欠である。これまでの調査では、シャフリ・ゴルゴラ近くの仏教寺院、東大仏の南西側に位置する巨大な建造物の「掘込地業」、そして西大仏の南西側では「王城」と関連する可能性がある壁の一部が見つかっている。

特に埋蔵文化財の調査に関しては、東京文化財研究所と応用地質株式会社が共同研究の一環として地下探査を実施している(図8)。現在、バーミヤーン地域では地域開発に伴う社会基盤の整備が急速に進められており、遺跡の保護区域もまた開



図7 歴史的景観保存に向けたマスタープラン（2005年）



図8 ジュー・イ・シャフル地区の地下探査

発の対象となっている。その開発に先立って、考古学的な調査に基づく保護ゾーンの確定は急務の課題となっている。開発から保護されるべき遺跡範囲に関しては、すでに提案された保存計画案を基に、石窟や歴史的建造物を中心とする「考古遺跡保護ゾーン」が策定されたが、これは暫定的なものであるため、継続的に詳細な調査を行い、改訂していく必要がある。

遺跡調査は広範囲にわたって行われる必要があるが、発掘調査では多大な費用や時間を要するにもかかわらず、部分的な遺構の確認にとどまるため、早急な対応には適切ではない。それに対して、地下探査では、非破壊的手法により埋蔵文化財の存在を確認することができるため、短時間かつ低コストで広範囲にわたる調査が可能となる。

また、地下探査によって得られたデータの解釈には、地盤物性などの情報が不可欠であるが、対象地域におけるこれらの情報はほとんどない。したがって、地下探査と併せて試掘調査を行い、両者の結果を比較することで、地下探査による結果の評価を行う必要がある。地下探査による必要な物性データの収集や、解析結果の評価などの成果は本対象地域のみならず様々な類似する地盤地域における研究技術の向上にも寄与するものであり、学術的にきわめて有効であると考えられる。

4. 大崖の保護に向けての新たな試み

東京文化財研究所と応用地質株式会社は、上述の埋蔵文化財の地下探査に加え、遺跡の保護のための新たな共同研究事業を開始している。それは、「バーミヤーン遺跡保存のための崖の崩壊予測に関する研究」である。

世界遺産バーミヤーン遺跡を構成する大仏籠や石窟群が穿たれた大崖は、きわめて脆い礫岩やシルトの堆積層からなっている。現在、この大崖は、地震や環境的な風化要因による自然劣化のほか、石窟の開盤による岩盤の力学的な（加重構造

的)変化、2001年のターリバーンによる爆破など的人為的破壊による岩盤の脆弱化が加わり、その崩壊が加速的に進んでいる。2003年より行われてきた国際的なバーミヤーン遺跡の保護活動では大仏籠の補強が優先課題として進められてきたため、大仏籠周辺を除き、崖全体の構造や現状を理解するための地質学的調査・研究はいまだに実施されていなかった。

遺跡の保護活動は、現在、主要な石窟の分布域における地雷撤去がほぼ完了したことが確認され、先の優先課題への対応が一定の成果をおさめ、遺跡保護のためのより包括的な計画を行う段階を迎えている。大崖に分布する石窟遺構や壁画の保護計画の作成・実施にとっては、日々進行している大崖の崩壊が重要な問題であり、その崩壊危険部位の予測と、緊急に対策を要する箇所を特定した上で、適切な処置を提案していく必要がある。そのためには、大崖の地形上の特徴を把握し、岩盤工学的的手法を活用して、現状での大崖の力学的強度や今後の強度変化予測を行うことが不可欠である。同時に、石窟の開盤という人為的要因による崖構造の変遷やバーミヤーン谷の景観形成過程のシミュレーションにも応用が可能である

このような視点からの研究は、千年以上にもわたり変遷してきたものの価値や、その保護、自然の摂理で変化するものに対して手を加えることの是非など、自然とともに存在する遺跡保護の際に直面する倫理的問題を、より学術的に捉える上でも重要であると考えられる。

2007年には、崖の周辺斜面の地質状況の把握ならびに崩壊の原因となる風化の進行状況の定量化を通じて、保全対策の方針を検討できるデータを得ることを目的として現地調査を実施した。この調査では、地質分布図の作成(図10)、大判カメラによる写真撮影と写真解析、分光反射強度計による分光反射率の計測(図9)、シュミットハンマーによる岩盤強度の測定を実施した(図11)。バーミヤーンには依然として戦乱期に埋設された地雷が残っているため、地質情報の収集が自由にできなかったものの、重要なデータが得られた。

これらの調査結果を踏まえて、岩盤斜面モデルを構築した上で、これまでの掘削による斜面の不安定化や現状で崩壊の引き金となる部位の抽出など、対策の方針を検討するため不連続変形法解析(DDA解析)を実施していく予定である。

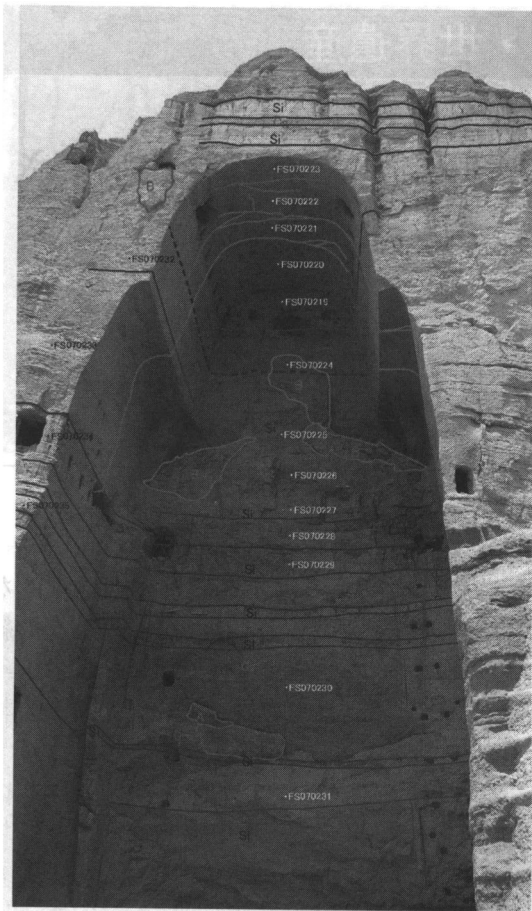


図9 西大仏龕の地質分布と分光反射率測定的位置

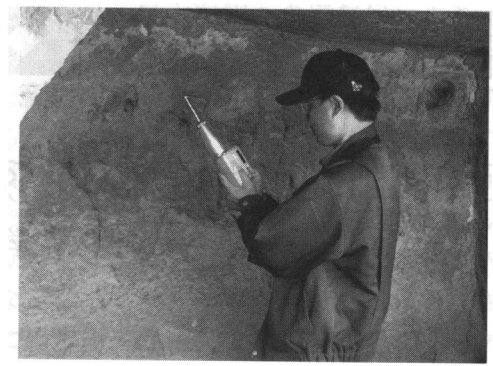


図11 シュミットハンマーによる岩盤強度測定状況

動が行なわれてきた。現在、バーミヤーンの文化遺産の保護はもう一つの新たな局面を迎えつつある。それは、地域の開発や発展、人々の生活の向上と文化遺産保護の兼ね合いである。戦乱終了後、ほぼ8年を経て、バーミヤーンの人々は平和というものを実感できるようになっている。それと同時に、バーミヤーンには、今、開発の波が押し寄せようとしている。バーミヤーンが「バーミヤーン渓谷の文化的景観と考古学的遺跡群」として世界遺産として登録されてことにも端的に示されているように、バーミヤーンの世界遺産は、崖に掘り込まれた大仏や石窟のみならず、人々が生み出してきた景観そのものにある。これこそが、バーミヤーンの人々にしか持ち得ない財産である。アフガニスタン、そしてバーミヤーンの人々と共に、この文化遺産を守り、生かしていくことによってバーミヤーンが発展していく方策を模索していくことが求められているのである。

5. おわりに—文化遺産保護と地域開発—

これまで述べてきたように、バーミヤーンの世界遺産の保護をめぐるには、これまでも様々な活



図10 写真上に記載した地質境界線

白神山地に見る地すべりと森林植生の結びつき

—地生態学的視点で見る地すべり—

ひがき だいすけ
檜垣 大助*

1. はじめに

平成20年6月に発生した岩手・宮城内陸地震では長さ1400mにも及ぶ巨大な地すべりが過去の大規模地すべり地形を拡大する形で起こり¹⁾、改めて地すべり地形箇所の判定が、地すべりのハザードマネジメントに重要であることを示した。実際、東北地方には非常に多くの地すべり地形が分布していることは、山地での開発や流域保全で注意すべき点である。

一方、地すべりでできた土地は凹凸のある複雑な地形をなすことが多い(図1)。その中に、池や湿原、高木がなく雪崩の起こる急斜面、崩壊地、湧水など変化に富んだ景観が現れる。このような多様な土地環境が見られることから、岡村・磯貝²⁾は、地すべり地の存在がエコロジカルな意義を持つことを指摘した。また、地すべりでできた緩斜面には、棚田の間に集落が点在することも多い。地すべり地は生活の場、食料生産の場として昔か

ら人間と深いかかわりを持ってきた。

ところで、地形や土壌・気候などの地学的な土地自然条件とその上の人間も含む生態系との結びつきを捉える地生態学という分野がある。近年、この見方が、自然環境の把握や保全、自然を相手にするさまざまな土木計画などに活かされてきている。地すべりは、まさに土地自然条件が原因となる起災現象なので、その対策においても、地下水排除や地形改変など土地の自然条件を変化させる工法が多用され、対策計画に当たっては、地形・地質・地下水などの地盤の総合的な調査が行われる。これらの調査データを結びつけ、その上の人間の自然資源利用や動植物生態と関連させれば、環境保全と防災対策を両立する地すべり対策が提案できるはずである。しかし、そのためには、地すべり地の地生態学的特性を知る必要がある。

ここでは、山地の1/3以上が地すべり地形からなり世界自然遺産にも指定されている白神山地で、森林植生土地すべり地の結びつきについて述べ、それをベースに環境保全型地すべり防災への課題について触れたい。

2. 白神山地の自然と地すべり

白神山地は、青森県から秋田県にまたがる約13万haに及ぶ広大な山地(図1)で、海拔1243mを最高点とし高度は低いものの、隆起が激しく急峻な地形からなっている。地質は、主に新第三紀の凝灰岩、砂岩、泥岩などの堆積岩や火山岩などからなる。

この地域を代表する植物群落はブナ・チシマザサ群落である(写真1)。その中に、河畔林や土砂堆積地などを中心にサワグルミ群落が存在する。これらが広く原始的な姿で残っているのが世界自然遺産に指定された理由の1つである。

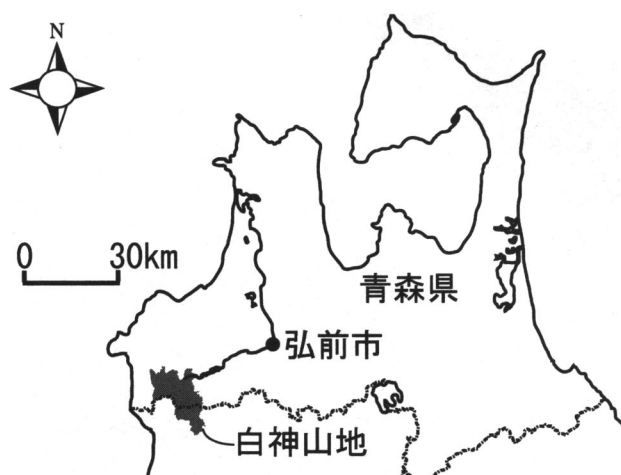


図1 白神山地の位置

* 弘前大学農学生命科学部教授



写真1 白神山地のブナ林

気候的には、日本海側の多雪気候にあり、12月から5月頃まで山地を積雪が覆っている。このため、急斜面では雪崩が多く、そこは低木や草本からなることが多い。

地質・地形特性や積雪が多いことから、地すべり地形は至るところに存在し、最近動いている地すべりもしばしば見られる。とくに凝灰岩や泥岩の所などに地すべりが集中しているようである。図2に岩木川上流部の地すべり地形の分布を示した。そこには、延長1kmを越える大規模な地すべりブロックの中に小さなブロックが存在し、緩急入り交ざった地形であることがわかる。写真2に、地すべり滑落崖の40度を越える急峻な斜面とそ



写真2 白神山地の地すべり地形 (写真中央から左)



写真3 凹凸に富んだ地すべり移動体の地形

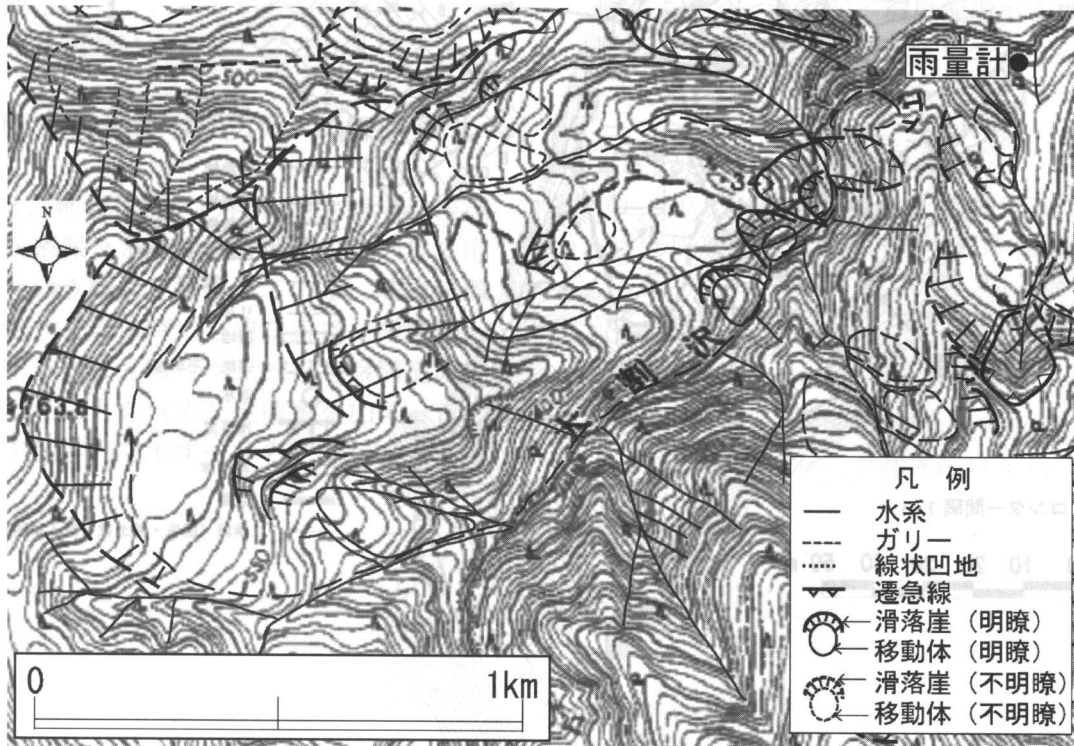


図2 密集する地すべり地形 (1/25,000 地形図「川原平」上に中村朝日原図)

の下の傾斜の緩やかな移動体（移動地塊）からなる現在は安定した地すべり地を示す。滑落崖では、積雪も滑り落ちるので高木が育たず、雪崩斜面となっているが、傾斜の緩い移動体は、径 80 cm を超えるような立派なブナ林が覆っている。そして移動体の中を歩くと**写真 3**のような凹凸ある地形が見られる。このような総観的な植生と地形の対応だけを見ても、地すべり地の存在が多様性のある自然環境を作り出している印象を受ける。

3. 地すべり地での微地形と植生の関係

白神山地の森林植生や多様な植物種の成立が地すべりと関係していないか、そのような観点から小規模な地すべり地で植生調査を実施した（場所は**図 2**の雨量計と記した所：雨量計地すべりと呼ぶことにする）。**図 3**は光波測量によって作成した調査地の地形図であるが、円弧状の平面形を持つ北～北東向きの滑落崖（傾斜 40～45 度）と移動体（傾斜 20～25 度）からなる 3 つの単位地すべり地形が認められる。滑落崖の比高は 10～15 m 程度で、地すべり頭部から末端まで比高約 30 m である。滑落崖の南側は平坦な尾根となっている。

断面 I の線（**図 3**）に沿って幅 5 m の帯状の範囲を設定し、ベルトトランゼクト法によりその中に

現れる高木の種類と位置を地形縦断図に示した（**図 4**）。ここでは、11 種の樹木が見つかったが、滑落崖背後の尾根上はブナが主体の単調な林である。さらに、**図 3**の四角形の範囲で、低木や草本も含めてすべての出現植物種を調査した。滑落崖上部から尾根にかけては、ブナ林に特徴的な種が存在し、ホツツジ・アクシバ等の乾性であったり急傾斜で不安定である場所に生える植物も認められた。また、移動体末端部には湧水があって 1 m 深の土壤調査でも地下水位が高く、その周辺にはサワグルミをはじめとして湿性の環境を好む植物が生えていた。

地すべり滑落崖では急で表層が不安定になりやすく雨水は流出しやすいが、反対に末端部では、移動地塊が旧地表上に堆積し、すべり面上を流れる地下水が集中して湿潤な環境ができる。地すべりが狭い範囲にいろいろな水分条件や土層条件そして表層安定性条件の場所を作り出し、その結果、上記のようなさまざまな植物種が現れていると考えられる。

規模の大きい地すべり地や多数のブロックで構成される地すべり地では、もっと微地形条件は複雑になる。また、地すべりによる地表変形の違いによっても現れる微地形は違ってくる。平板状のすべり面を持つ岩盤すべりでは、頭部に溝状凹地

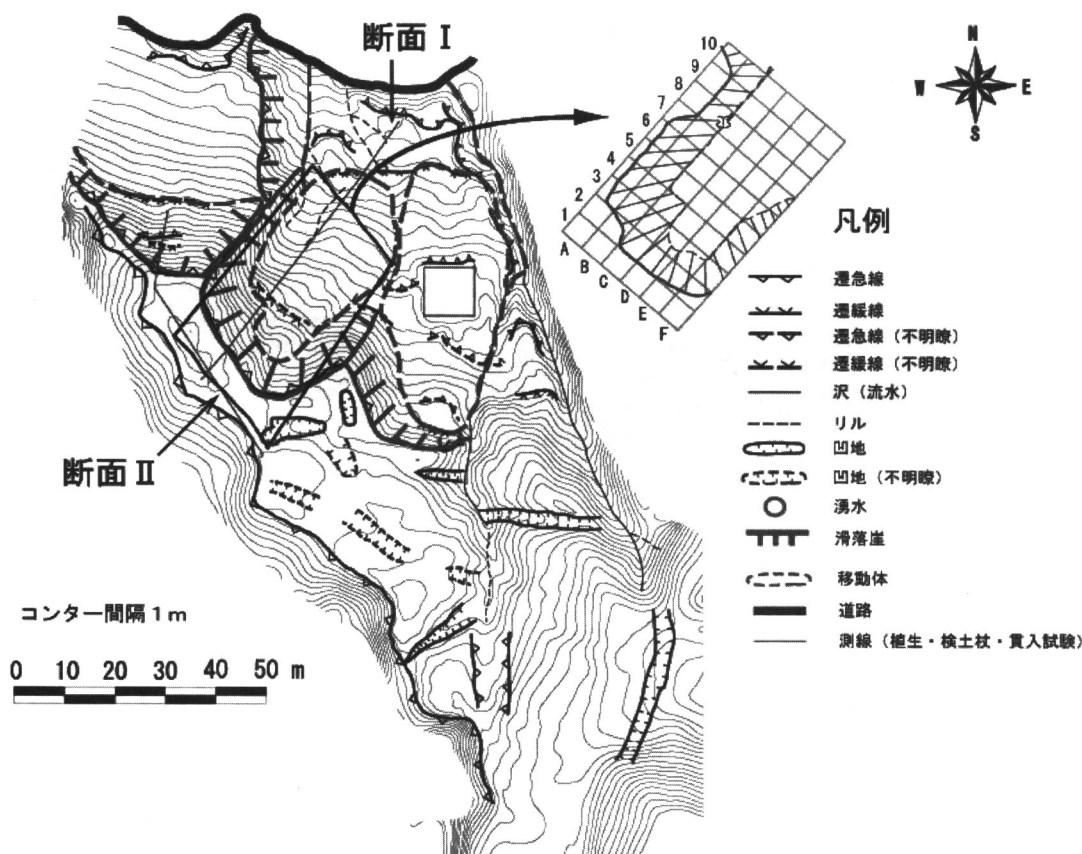


図 3 雨量計地すべり地の地形

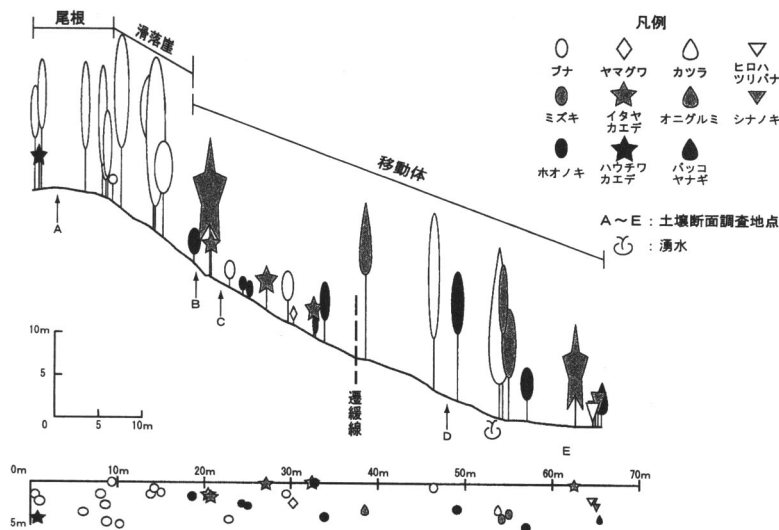


図4 雨量計地すべり地の断面Iに沿った高木の分布(上:縦断位置; 下:平面位置)

ができそのまま安定すると、池や湿地ができやすくなる。また、地すべり運動による引張・圧縮応力のもとでできる小丘や小崖では土地は乾燥する。このように地すべりは非常に多様な地形・土層・水文条件を作り出すので、その上に成り立つ動植物種も多様になることは容易に想像できる。

もう1つ留意すべきなのは、現在見える森林は、時間的な植生遷移の一断面であるとする見方である。地すべりは、反復する滑動や新たな移動ブロックの形成などを通じて地形変遷を進める。そのたびごとに植生遷移が寸断される。結果的に、これらの組み合わせとして地すべり地形の所が多様な植物種構成となっているのかもしれない。しかし、そのような調査はほとんどなされていない。

4. 環境保全型地すべり防災への課題

佐々木³⁾は、地盤技術者の目と地生態学の視点に立った生態系保全と持続的土地利用に向けて応用地生態学という概念を提唱している。防災・環境面で地すべりを見る時に必要なのは、微地形・地質・地下水分布などの3次元的な地盤構造の把握である。これに人を含めた生態系を加えることで、応用地生態学的な地すべりの把握ができるはずである。

例えば、地下水・地表水の分布・経路については、ボーリング孔内水位や流動層の把握はもちろんのこと、流動層(脈)ごとの地下水水質調査や層別に地下水追跡を行うなどによって、湿原や池への水の供給経路、生活利用水の流動経路などの把握を行うことができる。その結果から保全すべき池や湿地、森林の基盤となる土壌中の水、生活用水などへの影響を最小限にする地表水・地下水排除工の提案ができよう。切盛土やアンカー工などに伴う人工法面発生では、最近の法面緑化技術進展に委ねるところが大きいですが、現存植生種や現斜面の土層状態を調査し、土壌の仮置き・覆直しによって在来植生の復旧を図ることも考えられる。周辺の植生や微地形条件によっては、最小限の緑化基礎工によって地すべりでギャップの生じた森林の自然回復が図れる可能性もあるのではないかと。

5. まとめ

地すべりは、狭い範囲にさまざまな微地形を生じさせることが特徴である。高度化した測量・地図化技術や地盤探査技術も活用して地すべりの持つ土地自然条件を把握し、動植物に関する既往の調査データとつぎ合わせることや実際に生物調査を行って、地すべりの地生態モデルを構築する必要がある。それが、環境配慮型の地すべり対策計画や工法開発に繋がっていく。

参考文献

- 1) 岩手・宮城内陸地震4学会合同緊急調査団第4班：平成20年岩手・宮城内陸地震緊急調査団報告，日本地すべり学会誌，45-2，pp. 61-62，2008.7.
- 2) 岡村俊邦・磯貝晃一：地すべり地の自然の多様性とその環境的意義，日本地すべり学会誌，39-3，pp. 351-355，2002.
- 3) 佐々木靖人：応用地生態学—生態学と応用地質学のコラボレーション，応用地質 43-6，pp. 346-358，2003.

遺跡の調査と保全

たなか やすし*
田中 保士*

1. はじめに

当社は、1965年創業、18名の地方地質調査企業。一企業として、これまで取り組んできた遺跡の調査と保全、研究開発、社会貢献活動を振り返り、所見を述べる。

2. ポンペイ遺跡調査

1993～94年、イタリア・ポンペイ遺跡発掘調査隊に考古探査班として加わった。1960年代以降イタリア政府は「国家的遺跡」とし、外国人の調査を制限してきた。今回日本の技術と経済力に期待し、日本人調査隊が初めて許可された。

ポンペイの街は、紀元79年北西10kmのベスビオ火山が大噴火、火山灰に埋もれてしまった。その後約1700年を経て始まった発掘調査によって、古代ローマの都市遺跡がタイムカプセルで出現した。ポンペイには、9箇所の城門があったと伝えられている。8箇所の城門は発掘されたが、カプア門は「幻の城門」といわれ未確認だ。日本人調査隊の発掘場所である。

海外考古探査は、少ない事前情報で現地に入る場合が多い。未知の探査環境を想定、あるかぎりの条件に対応できる機材を一通り持ち込む。現地で工夫して間に合わせることも想定し、仇のように完ぺきに準備する。現地では、最初に地下遺構の情報、探査環境、考古地盤・地質など手分けして調べる。測線とグリットを設定したら、探査方法の順位、測線順番をきめる。考古探査は、絞り込みから精査の順の掟を守っている。私はエキサイトしやすく、闇雲に探査し、測線が混乱して整理に大わらわという失敗をたくさん体験した。解

かれぬ謎を解いてやろうという逸る気持ちを抑えることだ。考古探査は、地下の異常箇所を見極める考古地盤技術だ。その分布や領域の絞り込みができれば成功だと私は思う。しかし、考古探査に探検ロマンを感じない人には退屈な作業だ。写真1は、ベスビオ火山を背景にEM 31電磁誘導探査器で地下の導電率をマッピングしている。この直下に幻の城門「カプア門」が存在するという。



写真1 電磁考古探査

ポンペイ遺跡は、降下浮石および火山灰流、火砕流堆積物に埋められている。降下火砕物は、Mantle Beddingを示し、地形を良く反映することで知られている。火山灰の堆積構造から、旧地形や構造物の存在を推定するヒントにするため露頭調査をした(図1)。

群馬県子持村に「日本のポンペイ」といわれる

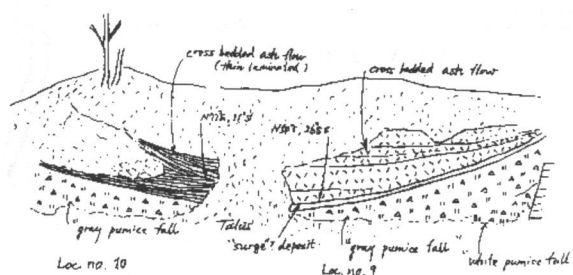


図1 露頭スケッチ

* (株)田中地質コンサルタント 代表取締役

田尻遺跡がある。榛名山の噴火によって、1500年前の集落農地、古墳群が軽石で埋没した。役場の許可を得て、古墳跡を試験フィールドに事前の予習をした。地下レーダ、電気探査、電磁探査の有効性が確認できた。この経験が生かされ、ポンペイで地下レーダの顕著な反射パターンと電気比抵抗分布の組み合わせによって多くの遺構推定箇所の報告ができた。周波数 25 MHz の地下レーダ探査は、深さ 10 m までの遺構と旧地形を反映させることができた。

ポンペイ遺跡は、世界の学者から「考古学の女王」といわれる世界遺産だ。19世紀の初めに慌ただしく発掘調査が行われてから現在すでに3分の2が発掘された。発掘調査が先行し、所々に保存整備を待つ遺構が見られる(写真2)。遺跡の保存技術の研究開発は急務であり、私たちの役割と実感した。

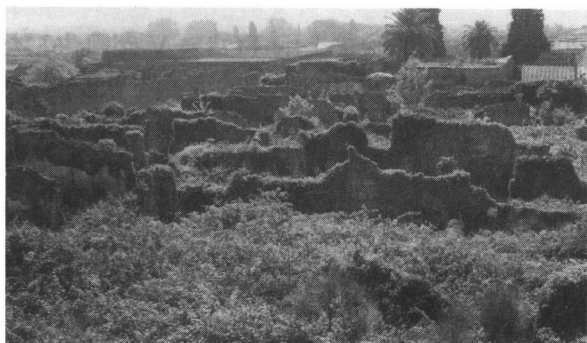


写真2 発掘後保存整備を待つ遺構

3. ホヤデセレン遺跡調査

1995~96年エル・サルバドル学術調査プロジェクトに参加した。ホヤ・デ・セレン遺跡は、サン・サルバドルの北西 36 km にある。遺跡は 1993 年世界遺産に登録された。

紀元 590 年前後、ラグナ・カルデラ火山の噴火によって 5~7 m の火山灰にすっぽり埋もれた古代集落遺跡だ。1976 年工事中に偶然発見された。火山噴火という突発的な災害によって放棄されたため、集落全体時間が止まったように埋もれている。全面発掘すれば、紀元 600 年代マヤ文明の地域社会の全容をほぼ完全に復元できるという。「新大陸のポンペイ」といわれている。

私は幸運にも子持村の「日本のポンペイ」を体験し、「ポンペイ遺跡」に続いての火山災害遺跡に巡り会った。

3名で測量、土壌・地盤・地質調査、物理探査の作業に当たった。地下レーダと電気探査、火山灰の堆積調査、遺跡の保存環境データ収集等である。

ポンペイの調査経験を活かし、火山灰堆積遺構の露頭調査を行った。発掘された建物の壁面には 1000 度以上という火山灰の熱によって焼かれ、火山灰の堆積構造が縞模様になって遺された。珍しく貴重な遺跡だ。考古火山研究にはポンペイに劣らぬ絶好のサイトだ。

発掘された遺構は、鉄板屋根で覆い保存整備が進んでいるが、畝のある畠の遺構に劣化がみられ散水していた(写真3)。



写真3 遺跡を保存するため散水している

土の建造物は、発掘と同時に風化劣化が始まる。ここでも遺跡の保存研究の必要性を強く感じた。

4. 交河故城遺跡

1994年早稲田大学シルクロード調査隊に参加した。トルファンから北西 10 km にあり、南北約 1600 m、東西 300 m のトルファン盆地で最も古い都市国家の広大な遺跡だ。建設されたのは今から 2000~2300 年前、当時の大道、住居、官庁街、大寺院、仏塔などの跡が遺されている。私には建物遺構を見分けられないが、風化がひどく瞬く間に消滅してしまうのではと思った。

2000 年も放置されているというのに樹木も雑草も生えていない。

遺跡が風化していく過程も、歴史の事実である。しかし、先人から引き継がれた文化遺産を、次の世代に受け継いでいく過程で、古環境を調査研究し、保存科学に知恵を出していくことは私たちの



写真4 交河故城遺跡

使命であると思った。

5. 土造り遺跡の強化保存研究開発

1996年、福井工業高等専門学校およびメソアメリカ学研究会と共同研究をはじめた。土と石造り遺跡の強化保存剤の研究開発だ。土や石造の遺構は、風雨、地下水、乾湿温度変化、塩類、微生物、動植物による風化を受け劣化していく。文化財の重要なことは、処理後変色や照りがあるてはならない。さらに浸透性・通気性を保ち、耐抗性に優れ安全なものでなければならない。研究の成果強化保存剤TOTを開発した。

TOTは、ケイ素を主成分とするアルコキシドアルコール溶液からなる。土や石になじみが良く、処理に伴う色の変化がない。エチルアルコール等を使用したクリーンマテリアルタイプだ。

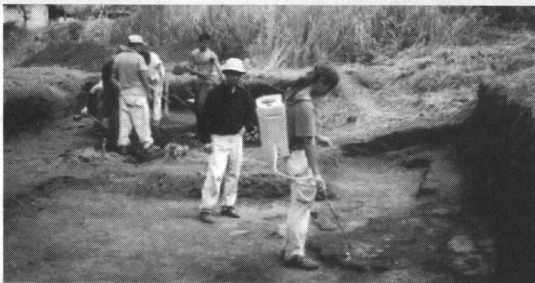


写真5 土の神殿ピラミットでTOT処理実験

1997年開発したTOTは、エル・サルバドルチュアルチュアパ遺跡において、エル・サルバドル学術調査隊によって保存研究実験に使用された。

遺跡は、サン・サルバドルの北西約80kmにある。紀元前4世紀から後6世紀ごろ栄えたマヤ文明遺跡で、土の神殿ピラミット遺跡の調査、発掘、復元、保存が目的である。

ユネスコの世界遺産条約の広まりに伴い、遺跡調査は発掘するだけの対象ではなく、発掘後の保存も研究する方向へと転換が迫られてきた。調査隊は、これまでの考古学班・歴史民俗学班、民族学班に、コンピュータ考古学班、考古探査班、保存科学班を加えた。

1999年、JST(独立行政法人科学技術振興機構)独創モデル化事業の委託を受け本格的な研究開発に入った。

遺構には、風化しやすい砂質土、砂質岩の建造物が多い。従来のTOTは、浸透性に重点を置いたので、空隙が大で浸透性が高い遺構では粒子間での結合強化が望みにくい。強度を上げるには、処理を重ねてTOTの使用量を増す必要があり費用がかさむ。写真6の地震断層のような砂礫や砂質

土用の保存液の開発が望まれた。

アルコキシド溶液と無機高分子、あるいはエポキシ樹脂のような高分子材料と組み合わせることにより、無機-有機ハイブリッド剤を合成する。それらの粘稠溶液を使用することで、空隙を埋め強度を高める砂礫、砂質土用の強化保存液の開発を試みた。



写真6 TOT処理した地震断層

2002年、砂礫、砂質土用TOT-Vが誕生した。現在粘性土用TOTと2種類の商品販売している。遺跡の強化保存剤TOTは、新技術情報提供システム(NETIS)KK-980071に登録された。また福井県の「実は福井」の技No.119にも登録された。特許申請中。

6. 考古探査器機

1988年6月イギリスの考古探査の第一人者アンソニー・クラーク博士を訪ねた。イギリスではバージントン社長、ジオスキャン社のロジャー・ウオーカー博士、アリスバートレット氏たちが考古探査用の装置を開発販売し、実験や請負もしていた。現在世界各地で活用されている電気比抵抗マッピング装置RM15、磁気探査装置FM38、帯磁率探査装置MS2などの考古探査器機は彼らによって開発された。

1989年クラーク博士は「Seeing Beneath the Soil Prospecting methods in archaeology」を出版した。これを機にイギリスでは、考古学調査に考古探査手法が重要視されはじめた。1996年第2版が出版され、国際電子の北島功氏が日本語翻訳版「考古学のための地下探査入門」(雄山閣)を出版した。考古探査を始める人、遺跡調査に興味のある方には解りやすく参考になる図書だ。

考古探査用の器機や装置は、カナダ、中国でも開発販売している。また、日本の大学でも考古探査用電気探査装置の開発研究が行われ、学会で発表されている。

私たちの使用している器機を紹介する。

地下レーダは、軽量で小型化されたカナダの Sensors & Software 社製である。周波数に応じた多種類の装置があるが、写真7の Noggin Smart Cart System を推薦したい。



写真7 スマートカートシステム地下レーダ

Noggin は、デジタルビデオ記録装置とカートビューソフトウェア、走行距離計、バッテリーを搭載している。自由に押して歩きながら、スムーズに考古探査ができる。

解析ソフトも進歩し、3D解析技術で詳細に地下の異常を探ることができる(図2)。

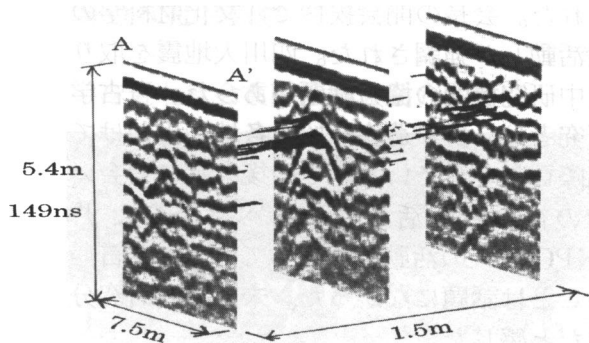


図2 地下レーダ3D解析図

電気探査は、中国 GeoPen 社製の比抵抗2次元探査装置 E 60 C を薦めたい。小型軽量、リアルタイムでイメージ画像が見られる。

写真8は、測線テープに沿って20cm間隔に電

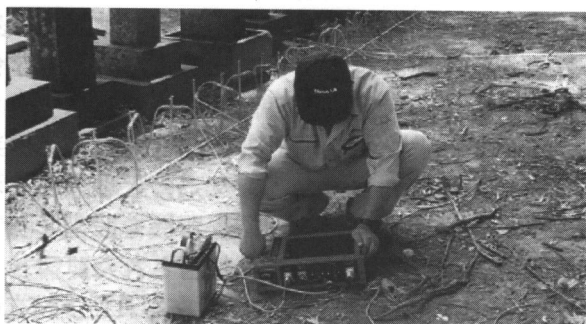


写真8 E 60 C による比抵抗二次元考古探査

極を刺し1本のリレー線に繋ぎ、短時間で設置測定できる。作業効率がかわめて良い。電極数は理論上65000本可能。遺跡探査から土木探査まで応用できる。両方とも普通車で運べ、海外調査には特に便利だ。その他、電気比抵抗マッピング、磁気探査、帯磁率探査、電磁誘導探査などの器機や装置も装備している。

7. 研究開発中の探査機器とシステム

自社で使用する目的から製作を始めた探査機器を紹介する。中国で委託製作の携帯用「帯磁率計 WSL-C」は、考古探査必携の装置だ。地表地質の構造調査、岩石分類、さらに考古探査として、炉跡、遺物など帯磁率探査に応用できる。便利な軽少探査装置で、私は常時携帯している。研究機関・大学、高校の学習などに人気だ。手作りなので量産していない。

同じく中国で「電気探査装置 DZD 10」を少量製作した。使いやすく低価格なので完売してしまった。特に大学で多く使われたので満足している。完ぺきなマルチシステムより研究による改良の余地を持った少し古典的な器機が学生や研究者に人気があった。

現在開発中の探査機器は、2000年JST委託研究の「電場探査器 GeoRep」である。1Hz~50KHzの自然電場、人工電場を利用した簡単な方法で、断層や地下の異常構造を絞り込む予備調査の装置

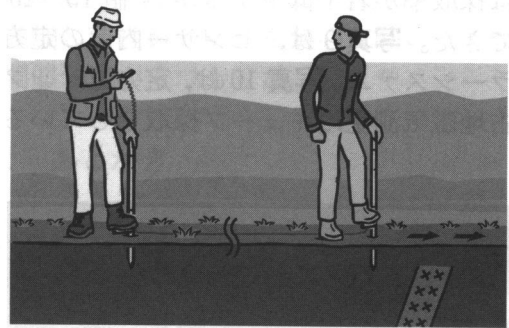


図3 GeoRep 電場探査のイメージ図

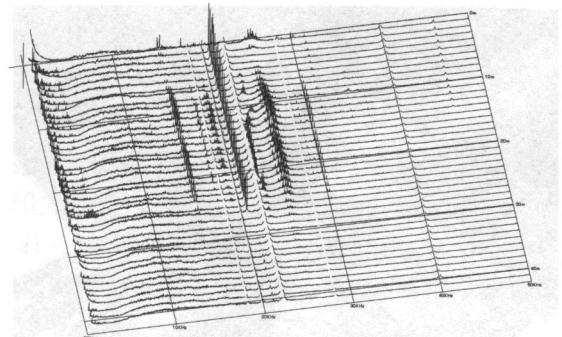


図4 測定距離一周波数—電場強度曲線

だ (図 3)。

特定の周波数に依存せず、ELF、VLF 帯全域の測定を同時に行うことが可能である。1 測定点ごとに全周波数ごとの電場強度を得ることができる。データ処理に小型 PC を用いるので、測定と同時にデータの解析、保存等を行うことが可能。測定しながらリアルタイムに距離-電場強度曲線を見て異常地点を指定できる (図 4)。活断層の位置や方向の予測を目的に開発したが、考古探査、土木地質に応用できる。JST と共同特許申請、商品化開発中。

もう一つの研究開発は、「定方位サンプリングシステム GeoCom」だ。

湖沼や湿地などの静水域で堆積した細粒堆積物は、堆積残留磁化として堆積時の古地磁気を保持している。古地磁気測定は過去の地磁気変動を復元できる。このように詳細古地磁気年代測定を行うためには、その前段階として、古地磁気情報を保持した定方位試料を地下堆積物から自由に採取できるサンプリング技術が必須である。こうした現状と各種の堆積物に適用できる汎用性を踏まえて、定方位サンプリング技術の開発を行った。

2002 年からアナログ方式のサンプリング試作機を開発、兵庫県で試験使用した。2006 年には、デジタル非磁性方位センサーシステム方位精度 1° rms (分解能 0.1°) の試作に成功し、福井県で深さ 40 m までのサンプリングを行った。

採取できた粘土層は N 値 12 程度まで、砂質シルトは採取率が若干低下するが N 値 15~20 まで採取できた。写真 9 は、センサー内蔵の定方位サンプラーシステム。写真 10 は、定方位サンプラーから古地磁気測定用キューブ採取をしているところ。

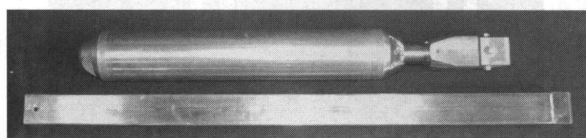


写真 9 GeoCom 定方位サンプラーシステム



写真 10 サンプラー試料

定方位サンプリング技術の開発は、堆積物の古地磁気年代や堆積構造解析を可能とする点で、年代情報を必要とする古環境研究に貢献できる。また、活断層調査や津波堆積物調査による地震・津波発生間隔の高精度推定に役立つ。これらの調査で得られた地震・津波発生間隔は長期確率予測やそれを用いた強震動マップなどの精度向上につながり、最終的に防災に役立つと考える。さらに、過去の堆積物から数 10~数 100 年オーダーの気候変動を解明し、それを地球気候システムモデルのシミュレーション結果と比較することから近未来の地球温暖化の影響を予測しようとする研究にも貢献できる。特許申請中。

8. 関連学会・協会の動向

1982 年、日本文化財科学学会が設立された。文化財に関する自然科学・人文科学両分野の学際的研究の発達と普及を図ることを目的としている。

研究発表テーマは、全般、年代測定、動植物・人骨、地形・地質・土壌、人工遺物、保存科学、調査法、探査、考古学的考察に関する関係文献の 9 つである。

今年 6 月、第 25 回大会が鹿児島国際大学で開催された。会長の開会挨拶で「文化財科学の社会貢献活動」が強調された。四川大地震を取り上げ、日中研究機関の協力話題があった。考古学関連の研究者は、世界遺産を始め各地に出かけて活発な国際貢献をしている。その後会長にお会いし、企業の社会貢献活動のあるべき姿をたずねた。「NPO 法人の活動に期待している」と言い、企業のことは話題になかった。未だ学問研究分野の世界だと感じた。

研究発表は口頭発表 52、ポスターセッション 160 あった。ほとんどが大学および研究機関である。そのなかわずかに地質調査企業 2 社、文化財サービス会社が 2 社であった。研究テーマの約半分は地質調査業に関連している。

日本文化財探査学会は 1998 年に設立した。各種の物理探査機器を応用して地下遺構や地盤の異なる性質を地上から推定する考古探査だ。この学会は地質調査業の得意とする研究分野だと思う。

今年は 11 回大会が開催されたが、地質調査企業は 2 者の参加であった。一方文系の天理大学と琉球大学考古学研究室が物理探査器機を設備し考古探査研究に取り組んでいると報告された。

2003 年には日本遺跡学会が設立された。設立の要旨に、「われわれは今一度初心に戻り、現代社会

における遺跡とは何か、遺跡をどのように保存・活用するかを、学際的、国際的なレベルで研究し、ひいては遺跡の本質と、現代あるいは将来におけるあるべき姿を体系化していく必要がある」。さっそく入会し、初回の大会で発表した。テーマは「福井県今庄町における明治の砂防堰堤群を活用したフィールド・ミュージアムづくり」。会社で蓄積した文化財の調査と保全、活用および砂防技術の経験を生かした地域活動発表だ。

近年考古学という学問分野に、自然科学、文化財科学が加わり地域資源としての利活用まで学際的拡大の方向だ。遺跡に地質調査企業の関わりやすい環境ができてきた。これらの学会に企業が多く参加し、研究者とともに研究開発を競っていくことが必要と思う。

2005年、民間企業87社による「日本文化財保護協会」が設立した。文化財の調査、分析、保存活用など専門性と技術力を育成し、行政機関との連携・協力を進め、文化財保護の推進を目的とした。埋蔵文化財発掘調査に関わる専門資格「埋蔵文化財調査士」を117名誕生させた。現在は発掘調査に重点を置いているが、遺跡調査・保全市場を育む方向性が見える行動だ。

9. 身近な社会貢献

当社の身近な社会貢献活動を紹介する。



写真11 日野川でのEボート体験

当社には、地域活動を支援する「環境文化研究所」を設けた。1997年設立、社員がメンバーで自由参加。会社で蓄積した経験や知識を得意技として、地域活動に参画、支援している。社屋には市民と会社の交流スペース「オープンハウス」を設けてある。活動の案内や報告など展示、会合もできる。「日野川流域交流会」「ふくい里地里山ネットワーク連絡会」の事務局支援も行っている。

全国組織RACの構成員として「川に学ぶ体験活動」「プロジェクトWET」「ネイチャーゲーム」など環境教育、自然保護活動も持続している。写真11は、少年達にEボート体験活動を指導する社員（右端）。

福井県の今庄南山地には、明治の石積砂防堰堤群が点在する。当研究所は、古老の記憶の収集、地域の遺産探し、砂防ハイク等行いながら歴史的砂防施設の保全と利活用住民活動を支援してきた。

登録文化財に登録され、歴史的砂防施設を核としたエコミュージアムができた。現在、山地一帯に点在する砂防文化財を巡る「砂防パーク」づくり活動に取り組んでいる。今年6月、全国土砂災害防止月間イベント「砂防文化を語る会」を開催した。テーマは、「巨石積み砂防文化の歴史と登録文化財一岐阜と今庄山地砂防の交流」。砂防ハイクとフォーラム、住民都市住民の交流会を楽しんだ。

写真12は、明治の石積砂防堰堤での砂防ハイク集合写真、子供も含め県内外から40名参加した。



写真12 砂防ハイク集合写真

今年の5月11日、地質の日「ふるさと越前の地盤と地質を学ぶセミナー」を開催した。地形地質の生い立ち、地盤から学ぶ災害予測など身近な地質・地盤など実験を交えながら学習した。市民30名が参加し、社員の解説を熱心に聞いてくれた。毎年開催していくつもりだ。

10. あとがき

学問研究分野といわれる「遺跡の調査と保全」に、市場性があるだろうか。

昨年、アフガニスタンの遺跡で大規模な考古探査が行われ、地質調査企業が受注した。遺跡の修復保存研究に、以前から大手ゼネコンが参入している。最近上場会社が文化財会社を設立した。ユネスコの広報活動も活発だ。学会では考古探査研究学生が増えてきた。日本文化財保護協会の活動も注目される。遺跡の空中写真測量図化はすでに市場化している。

これらの動向を見ると、遺跡市場は期待できる方向にあると思う。まずは、学会等への地質調査企業の参入と、遺跡にロマンをときめかす若い地質調査技術者が増えることに期待している。

地球温暖化と生き物の暮らし

たけ なか あき お
竹 中 明 夫*

今、環境問題といえども地球温暖化が話題になる。人間が石油や石炭を大量に燃やし、大昔に植物が大気中から吸収した炭素を二酸化炭素にして大気に放出している。太陽からの光のエネルギーは二酸化炭素の分子に吸収されることなく地表面に届くが、温められた地面から放出される赤外線は一部が二酸化炭素に吸収されてしまい、宇宙へと逃げていかない。そのために地球の温度が上昇してしまうのが地球温暖化である。過去百年で、地球表面の平均気温は0.7度あまり上昇したとされている。このまま気温が上がり続けると、現在の気候を前提に作られている人間社会は困ったことになるだろうし、自然もさまざまな影響を受けざるをえない。なんとか対策を講じなければという認識が広まっている。

温暖化の対策は、大きく2種類に分けられる。二酸化炭素をはじめとする原因物質の放出を減らしてなるべく温度上昇を抑えるための“緩和策”と、温暖化してしまった時の悪影響を軽減するように社会や産業の構造などを調整する“適応策”である。いずれにせよ、まずは温暖化の影響にはどのようなものがあるのかを考えることが対策の出発点となる。

本稿では、とくに予測がむずかしい自然の生態系への影響を考えるときのポイントを簡単に紹介したい。生物がかかわる現象はさまざまな不確実性をはらんでおり、正確な予測は困難だ。それだけに、安易なメッセージに流されてしまう危険も大きい。本稿を、不確かさを前提にしつつ必要な対策について考える際の参考にしていただければさいわいである。

1. 温度と生物

「暑い日が続きますねえ」「やっと涼しくなりま

したねえ」など、温度の話題は挨拶の定番である。人間にかぎらず、自然の中での生物の生活は温度と深くかかわっている。熱帯では一年を通じて温度の変化は小さいが、温帯や亜寒帯、寒帯と、緯度が高いところほど温度は季節とともに大きく変化する。生物も、それに合わせて暮らしている。植物は冬が近づくと葉を落したり冬芽を作ったりして寒さに備える。種子となって冬を越すものも多い。動物も、地中で冬眠するもの、卵で冬を越すもの、暖かいところに移動するものなど、それぞれに冬を越す工夫をしている。そして春、暖かくなると様々な生物が活動を再開する。

温度は季節とともに変わるだけでなく、緯度や標高によっても寒暖の違いがある。低緯度地域は暖かく、高緯度では涼しい。また、高い山に登れば寒くなる。人間は、衣服や住居、冷暖房の工夫によって、マイナス50度以下にまで下がるシベリアの地にもプラス50度になる灼熱の沙漠にも生活の場を広げている。しかし、人間以外の生物は、それぞれ限られた気候の範囲内で暮らしている。沖縄にはハイビスカスが咲くが、知床の冬は越せない。熱帯の森に暮らすオランウータンにとっても北海道は寒すぎるだろう。一方、溪流の魚であるイワナは水温が15度以上になるところは苦手である。生物を本来の生育環境よりも暑すぎたり寒すぎたりするところに連れていくと、ただちに死んだり枯れたりしてしまうこともあるし、死にはしなくても元気がなくなることが多い。元気がなくなると病気にかかりやすくなるし、エサがとれなくなる、天敵に捉まりやすくなるなど、自然のなかで生き延びるのはむずかしくなる。

ところで、地球温暖化が自然に与えている影響というと、桜の開花が早くなったとか紅葉が遅くなったといったことがよく話題になる。“生物季節”とよばれる現象のタイミングの変化である。こうした生物現象の温度依存性はよく知られてい

* 国立環境研究所 生物圏環境研究領域 領域長

る。桜は暖かい春なら早く、寒ければ遅く咲く。気温のデータがあれば、いつごろに桜が咲くか、かなり正確な予想ができる。

生物季節は、その年、その年の寒暖の影響をそのまま受ける。長い目で見たときに温暖化が徐々に進行しているとしたら、長い目で見たときに桜の開花も徐々に早まることになるだろう（そして実際にそうなっている）が、ある年の開花が早いことは、温暖化傾向が続いてきたことの反映ではない。その年が暖かいことの反映にすぎない。

このように年ごとの気温が一過性の影響を与えるケースのほか、温暖化傾向が長期にわたることによって現れる現象があれば、まさに典型的な地球温暖化の影響と呼ぶべきだろう。それにはどのようなものが考えられるだろうか？第一にあげられるのは生物の分布範囲の変化である。次の節ではこの点について考える。

2. 気候の変化と生物の分布

本来、生物は一カ所にとどまり続けるものではない。足や翼、羽根やひれがある動物は自分で動き回る。時速 100 キロ以上で走る動物もいれば、何千キロもの距離を飛ぶ渡り鳥もいる。また、植物も種子や胞子を散布する。動物に運んでもらったり、風に乗っていったりと、それぞれに移動のための工夫をしている。十分に時間をかけさえすれば、物理的に超えられない障壁に遮られるまでどこまでも生物は分布を広げていくはずである。

しかし、すでに触れたように、生物は種類によって好む気候というものがある。好適な環境の限界近くにいるものが適地から遠ざかる方向へと移動したり種子を散布しても、そこにあらたな生活の場を得て定着できず、分布は一定の範囲内にとどまっているのが通常の状態である。たとえば北半球で分布の北限からさらに北に移動したり、山の場合なら上限よりもさらに高いところに種子を散布しても、気温が低すぎて安定して生存することができなければ、分布は広がらない。

ところで、現在問題になっている地球の温暖化により、過去 100 年で地球全体で平均 0.7 度あまり気温が上昇したことはすでに紹介した。1 年あたりになると 0.007 度である。一方、こうした長期傾向とは別に今年の冬は寒いとか暖かいとか、あるいは猛暑の夏だとか過ごしやすい夏だというように、年ごとのランダムな変動もある。たとえば筆者が住む茨城県つくば市の、1920 年から現在までの年平均気温の変化を見ると、たしかに全体

として上昇しているように見えるが、それに加えてのランダムな変動は大きく、一年ごとに見ると、前年と比べて 0.5 度ぐらい高かったり低かったりするのとはごく普通のことである（図 1）。

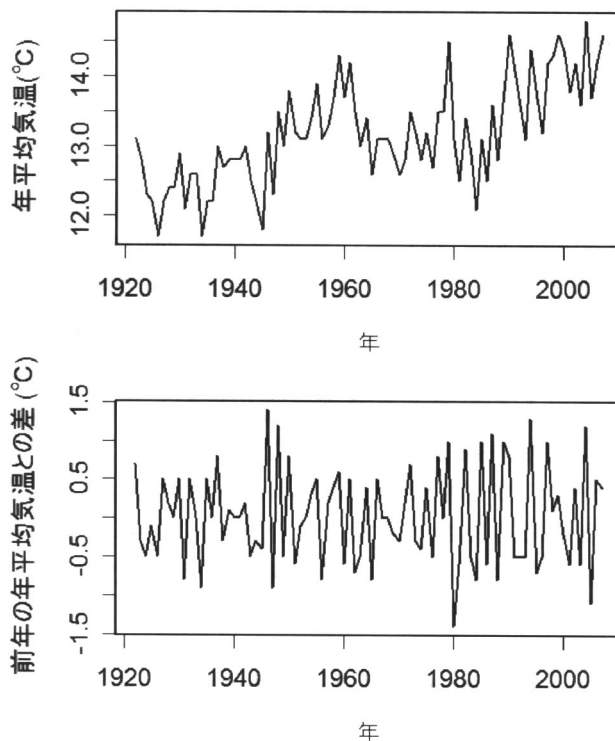


図 1 茨城県つくば市の 1920 年から 2007 年までの年平均気温の変動（上）、および各年の平均気温と前年の平均気温との差（下）。

分布限界近くの生物の分布は、当然こうしたランダムな気候変動の影響を受ける。分布の北限近くの生物がさらに北へと移動したとき、たまたま暖冬ならばそこに定着できるかもしれない。その翌年も暖かければ、前年に拡大した分布域を踏み台に、さらに北へと拡大できるだろう。けれどもさらに次の年の冬が寒かったなら、せっかく新天地に進出した個体も冬が越せず、分布の最前線は押し戻されてしまうかもしれない。だが、もし長期の温暖化によって分布を南へ押し戻すような寒い冬が来なくなれば、分布範囲は北へと拡大し続けることになる。これこそが温暖化による生物の分布の移動のプロセスである。それまで移動しなかったものが移動するようになったのではなく、移動したものがそこで生き延び、定着できるようになるのである。

分布を北に拡大した生物は、進出したところにもともと生息していた生物との相互作用にさらされる。それが、それぞれの生き物にとってプラスとなるかマイナスとなるか、予想は難しい。気候は進出を許しても、既存の生物との競争などの結果、ふたたび南へ押し戻されることもあるだろう。

逆に、分布を拡大した生物が要因となって既存の生物が排除されてしまったら、後者の生物の分布範囲が影響をうけることになる。

ところで、地球は過去において何度も暖かくなったり寒くなったりを繰り返してきた。地球の歴史のなかで、少なくとも4回は氷河時代と呼ばれる寒い時代があった。実は現在もそのような時代である。ただし、氷河時代のあいだに特に寒冷化した氷期と、寒冷化がゆるんだ間氷期が繰り返されており、現在は1万年前まで続いた氷河期のあとの間氷期にあたる。氷期と間氷期の温度差は7~8度ぐらいだったとされる。これは山の高度なら千数百メートル、南北方向なら千数百キロに相当する。

このような過去の温度の変化に対し、生物は生息場所の移動で対処してきたと考えられている。しかし、すべての種が新しい生息場所を見つけることができたわけではなく、絶滅に至ったものも少なくないだろう。次の節では環境の変化と生物の絶滅について考える。

3. 環境の変化と生物の絶滅

地球の歴史のなかで大きな環境の変化という、まずあげられるのは光合成をする生物の誕生によって大気中に酸素が蓄積したことである。酸素の蓄積は、酸素呼吸をする生物が進化する土台となったし、陸上に生物が上がる必須の条件でもあった。大気中の酸素がオゾンに変化し、太陽からの有害な紫外線を吸収するようになったので、それまで水中にしかいなかった生物が陸上に進出できるようになった。そのほか、巨大隕石の衝突もまた大きな環境変化だったし、氷河時代の訪れもまた大きな変動である。最近の数百年は、氷期・間氷期が数万年の周期で繰り返されてきた。環境が変化すると、それによって増える生き物もあれば減るものもある。短期間に大量の絶滅が起こったこともあった。隕石の衝突後の恐竜の大量絶滅はその例である。

過去数百年、環境変化の最大の要因は人間の活動である。自然の森を切り開いて、地上の様相を大きく変えた。現在は地球全体の気候にまで影響を及ぼしつつある。そうした変化もまた、ある生物にとってはプラスに、またほかの生物にはマイナスに作用する。個体数を減らした生物の中には、絶滅するものもあるだろう。何が増えて何が減り、さらには絶滅に至るのか、予測することはむずかしい。ともあれ、人間の活動が原因で大きな変化

が引き起こされつつあることは確かであり、現在もまたあらたな大量絶滅の時代となりつつある。

さまざまな人間活動の影響のなかで、地球温暖化はどれだけの種の絶滅を招くのだろうか。きわめておおざっぱな見積りがある。まず、それぞれの生物種が現在生息している範囲の環境が、その種類の生息可能環境にそのまま対応していると考えられる。次に温暖化したら、その生息可能環境が地球上でどのように移動するかを見積もる。現在生息している地域のうち、ある部分は温暖化後の生息可能域からはずれてしまう。生物の移動速度がゼロだとすると、現在と将来の生息可能域の重なり部分だけにその種は残ることになる(図2A)。また、たとえ生物がすみやかに移動できるとしても、移動先の大地が人間が農地として利用しているなどでその生物の生息には不相当であるならば、生息地の面積は減少することになる(図2B)。

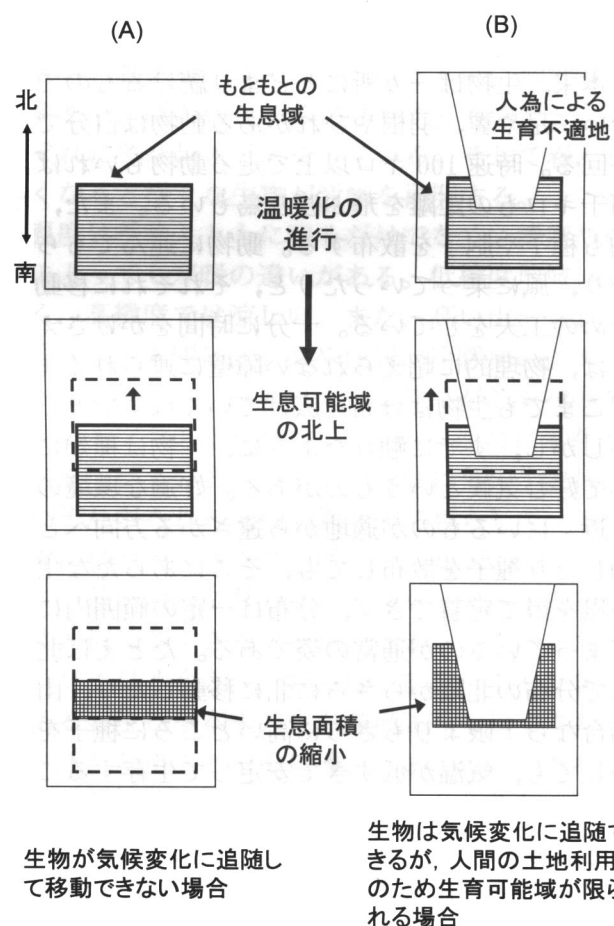


図2 温暖化による生物の生息可能面積の変化の模式図。生物の移動が気候の変化に追従できない場合、生息面積は気候変化前後の生息可能域の重なり部分だけとなる(A)。また、生物が気候変化に遅れずに移動できるとしても、人間による土地利用のために気候変化後の生息適地の面積が減ってしまうこともあり得る(B)。

一般に、広い面積の生態系ほど多くの種類の生物が共存していることが知られている。生育面積の減少は、そこに生育可能な種数の減少を招くだろう。その減少量を、種数と面積の関係を利用して見積もった試算によれば、地球温暖化によって15~37パーセントの種が絶滅する危険があるという。

種の絶滅は、それ自体ができる限り避けたいことだ。それに加えて、生態系の変化を通じて人間社会にも悪影響が生じることが心配されている。次節では、生態系が提供してくれているサービスについて簡単に紹介する。

4. 生態系の機能とサービス

自然の中では多くの生き物が暮らしている。それらはみな環境と無関係に暮らしているのではない。生きるために外界から資源を取り込み、排泄物や死体は次第に分解されて環境にもどる。それが土壌の形成にもつながるし、水や炭素、窒素やリンなどの循環にもかかわる。生態系はなんらかの目的に沿ってデザインされているわけではないが、全体として環境に大きなインパクトを与えている。こうした環境への働きかけの総体を生態系機能と呼ぶ。

生態系サービスという概念は、生態系機能を人間の立場から見たものである。人間は生態系機能の存在を前提にして生物として進化してきたし、文化を発展させてきた。水の浄化と保水機能、土壌の形成、災害の緩和機能などの生態系機能が失われてしまったら、これまでに築いてきた社会は立ち行かなくなる。生態系機能は人間にとって大きな恵みと言ってよい。生態系機能のうち、とくに「ありがたいもの」を生態系サービスと呼ぶ。ここで言うサービスとは経済学の用語を借りたものである。

さまざまな生物がいてこそその生態系であり、機能であり、サービスである。地球温暖化が生物の分布や物理環境に影響を与え、それが生態系の構造と機能に影響し、さらには生態系サービスに影響があるのではないかと危惧されている。その詳細について具体的な予想ができていないわけではないが、とくに発展途上国において深刻な問題となるのではないかと考えられている。いわゆる先進国は必要なものが「金で買える」のに対し、途上国では自然の恵みに直接依存しているところが大きいからである。

ところで、環境の変化に伴う生態系の変化を「生態系の崩壊」と表現することがあるが、この言葉には注意が必要である。地球上にはさまざまな生態系がある。それぞれに物理環境が異なり、メンバーが異なり、それらが組み合わさった系の構造が異なる。外からなんらかの圧力が加わったり環境が変化すると、メンバーの出入りや全体の構造の変化が生じる。これは、もともとそこに存在していた生態系は失われたという意味で「その」生態系の崩壊と呼ぶことができるかもしれない。しかし、決して生態系が存在しない状態になるわけではない。そこには別の生態系ができる。

当然ながら、生態系が崩壊しないのならそれだけでよいということではない。人間の活動が原因となって生態系が変化し、その変化が人間にとって好ましくないものならば、なんらかの対策が必要となる。適切に対策を講じるためには、どのような変化が起きているかをきちんとモニターし続けなくてはならない。また、生態系の機能にだけ注目すればよいというものでもない。生態系全体の機能への貢献は小さいと考えられる生物種も少なくないが、それらの種類もまた長い進化の歴史を背負った存在であり、絶滅により失われてしまえば二度と取り戻せない。それはたいへん悲しいことであり、好ましくないことだと思う。

5. おわりに

現在は、地球温暖化問題ブームとも言うべき状況に感じられる。さまざまな組織がきそって温暖化問題への取り組みをアピールしている。しかし、自然環境への脅威となっている要因は地球温暖化だけではない。人間による土地改変や直接の採取・狩猟圧などは、はるかに強い絶滅要因となっている。森林を切り開き、湿地を埋め立て、川の岸辺を固める。あるいは再生能力を超えた資源の採取や密猟・盗掘など、目に明らかなマイナス要因はいくらかもある。北極の氷とホッキョクグマに注目するばかりに、これらの問題を忘れてしまっただけではない。さらには、温暖化を含めたさまざまな脅威から守りたい自然とは何なのか、自然そのものへの理解を深めることが、自然環境を守るための最初の一步である。地球温暖化の影響についての解析記事のまとめらしくはないが、まずは日々の暮らしのなかで自然に目を向けていただくことをお願いして本稿を閉じる。

車窓から見る地形・地質

松山平野を取り巻く地質

愛媛県松山市，伊予市，東温市，松前町

JR：予讃線，NEXCO：松山道，航空機，フェリー

はじめに

四国の西部に位置する松山市は，四国で最大の人口を有する都市で，多様な交通機関が集中する街でもあります。鉄道では，JR，私鉄および路面電車の主要駅があります。また，空港や港，高速道路のインターチェンジもあり，これらの施設が1つの都市に集中するのは，全国でも珍しいかと思えます。この結果，松山市へのアプローチは，列車はむろんのこと，航空機，フェリー，車と多様な手段を取ることができます。

一方，松山平野は，重信川や石手川により形成された扇状地地形をなし，西の伊予灘に向かって大きく開け，北に領家帯，南に和泉層群，三波川帯の各地質帯からなり，新第三紀の火山岩類の貫入も認められます。また，中央構造線やこの派生断層もあります(図1)。これらの結果，松山平野の随所で興味深い地形・地質現象が確認されます。

ここでは，松山平野を取り巻く，各地質帯の代表的な風景を紹介します。

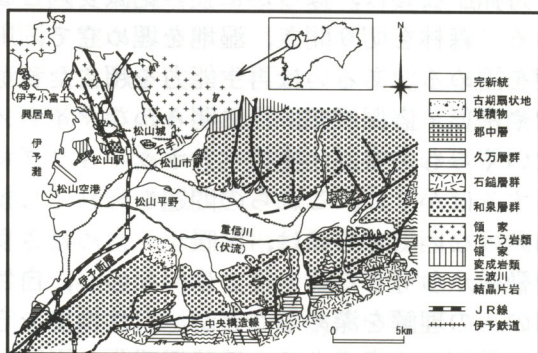


図1 松山平野周辺の地質平面図と鉄道網(文献1に加筆)

領家帯と伊予小富士

「○○富士」と名が付く山は全国各地にあります。

す。愛媛県にも「伊予富士」と呼ばれる標高1756mの山が秀峰石鎚山の東側にあります。一方，「伊予小富士」と呼ばれる標高282mの可愛らしい山が伊予灘に浮かぶ興居島の主峰をなしています。「伊予小富士」は，松山港～広島港間のフェリーはむろんのこと，市内の少し高いマンションや，松山平野南部の山麓を走る高速道路からも可愛らしい姿を眺めることができ，この姿から富士山と同様なコニーデ型の火山かと思うほどです(写真1)。しかし，実際は手前に夏目漱石が名作『坊っちゃん』にて「ターナー島」と呼んだ島を初めとして多数の無人島が領家帯の花崗岩類からなるように，本山も花崗岩類が主体です。そして，山頂付近にキャップロック状に安山岩が分布します。



写真1 「伊予小富士」と無人島 松山観光港へ向かう高速船より

領家帯と和泉層群の不整合と松山城

司馬遼太郎は，『坂の上の雲』で冒頭「伊予の首邑は松山。城は松山城。」と述べていますが，この松山城こそ松山市のシンボリックな存在です(写真2)。松山城は標高131mの城山の山頂に，1602年，加藤嘉明により築城が開始された由緒あるお城です。城山は松山市のオフィス街に位置し，街のヒートアイランド化を防止するオアシスの感があります。現在も多数の観光客を初め，地元の方々も朝から夕方まで登り下りしています。

さて，城山の地質は大まかには北側を領家帯の花崗岩類，南側を和泉層群の砂岩優勢の砂岩泥岩

互層からなります。そして、両者の不整合露頭を山麓で確認することができ、地元愛媛大学の地質専攻学生の最初のフィールドとしても利用されています。



写真2 松山市の市街地に立つ城山と松山城(松山空港を離陸した航空機より)

伊予断層と和泉層群

松山平野南縁部は、山地と平野との直線的な境界で特徴付けられます。この地形の変換線は、中央構造線の派生断層の1つである伊予断層からなるものです。伊予断層を横断する多数の河谷は、変位量は小さいものの系統的に右横ずれをなしています。伊予断層にほぼ平行に高速道路が通るものの、航空機からも河谷の横ずれがそれとなく観察されます(写真3)。



写真3 松山平野の南縁部と伊予断層(松山空港を離陸した航空機より)

中央構造線と石鎚層群

伊予断層の背後の山地は、基本的にはなだらかで山地の地質は和泉層群からなります。しかし、所々で急峻な山地も認められます。この山地地形の相違は、地質構成の相違に基づくもので、急傾斜山体は新第三紀の火山岩類からなり、地元では

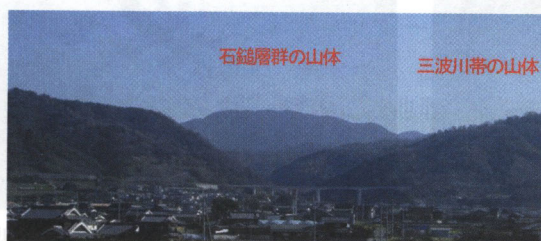


写真4 和泉層群のなだらかな山体と石鎚層群の急峻な山体(JR予讃線列車より)

石鎚層群と呼ばれています(写真4)。

松山平野

松山平野のほぼ中央を重信川が西へ向かって流れています。重信川は古くから流路変更に伴う水みちが形成され、これに沿って多量の地下水が伏流し、広範囲に渡る豊富な浅層地下水帯が形成され、湧水も各所にあり、現在も多数の井戸が利用されています。一方、重信川自体は流量が少なく、部分的には伏流し、瀬切れ現象を起こしています。

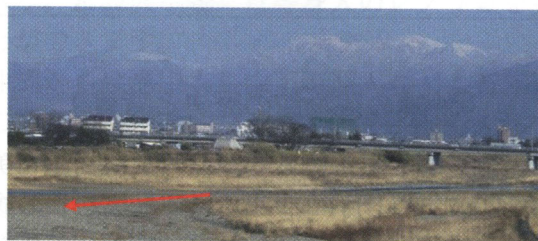


写真5 流量の少ない重信川、遠くに雪を頂いた石鎚山を望む(JR予讃線車内より)

また、俳人正岡子規は松山市生まれであり、松山平野の随所で子規の句碑を見ることができます。句碑の多くは、地元で「伊予の青石」と呼ばれる三波川帯の緑色片岩が用いられています。「伊予の青石」は、庭石としても全国的に有名です。



写真6 「伊予の青石」からなる子規の句碑(NEXCO松山道の伊予灘PAにて)

参考文献

- 1) 日本の地質『四国地方』編集委員会編：日本の地質8 四国地方, 共立出版, 1991.
- 2) 太田・成瀬・田中・岡田編：日本の地形6 近畿・中国・四国, 財団法人東京大学出版会, 2004.
- 3) 夏目漱石：坊っちゃん, 新潮文庫.
- 4) 司馬遼太郎：坂の上の雲, 文春文庫.

[高柳 朝一(応用地質(株))]

各地の博物館巡り

沖縄県立博物館・美術館について



写真1 沖縄県立博物館・美術館

沖縄の博物館の歴史と背景

那覇市おもろまちにある沖縄県立博物館・美術館は、2007年11月にオープンしたばかりの複合施設です。沖縄の博物館の歴史は戦前、首里城内にあった沖縄郷土博物館にさかのぼります。しかし同博物館の収蔵品は、沖縄戦で全焼してしまい、貴重な文化財が多数失われました。

戦後、歴史上の琉球王国の文化を惜しむ人々から、アメリカの占領軍政府と、首里の有志の人たちによってわずかな文化財を収集する動きがあり、戦後半分のうちに前者が本島中部の石川市東恩納に「沖縄陳列館」（のちに東恩納博物館と改称）、後者が首里に「首里市立郷土博物館」（後の沖縄民政府立首里博物館）を設立しました。

この二つが合併し1955年に琉球政府立博物館となり、1972年の復帰と同時に沖縄県立博物館と改称しました。しかしこの博物館も老朽化と収蔵庫が飽和状態だったことから、現在の博物館に移転・新築されることになりました。

現在博物館がある那覇市おもろまちのエリアは、戦後すぐに米軍に強制接収され、約40年にわたり米軍用地となっていました。1983年に全面返還され、現在那覇新都心地区として都市再開発が進められている沖縄でも注目のスポットとなっ

ています。

新たな文化拠点としての博物館

現在の博物館は、美術館との複合施設です。延べ床面積は23,602㎡で、そのうち博物館は2600㎡、総合展示室と自然史・考古・美術工芸・歴史・民俗の5つの部門展示室から成り立っています。また屋外にも沖縄ならではの「石灰岩」「安山岩」などの巨大な岩石をはじめ、伝統的な民家などを配置しており、ふれあい体験室では沖縄の自然のしくみや先人の知恵などを手に触れて学ぶことができ、子供たちに好評です。

博物館のメインテーマは「海と島に生きる一豊かさ、美しさ、平和を求めて」となっており、入り口部分にはラグーンが広がるさんご礁を足もとに見ながら海から島へ上陸するかのような感覚を与えてくれます。

総合展示

総合展示部門は、大小40の有人島と120余の無人島で構成される沖縄独自の亜熱帯の気候、海洋性・島嶼性からくる独自の自然・歴史・文化を体系的に展示しています。

展示室中央に設けられた「シマの自然と暮らし」のコーナーには、鹿児島から台湾まで東西1000キ



写真2 博物館エントランス（足元に広がるラグーン）

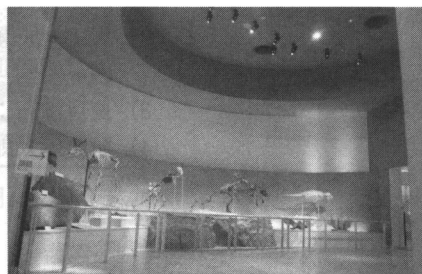


写真3 背景のスクリーンに映像が映し出され、更新世の沖縄へといざなう「化石が語る沖縄」のコーナー

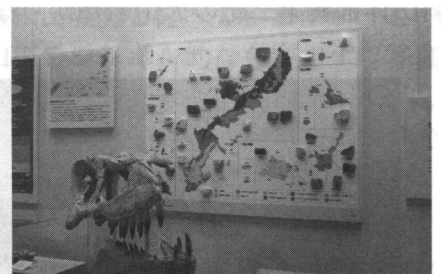


写真4 実物の岩石を使った沖縄県の地質分布図



写真5 琉球石灰岩地形模型の展示

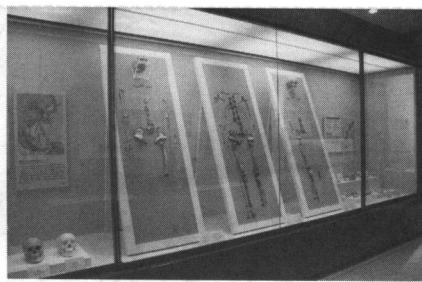


写真6 博物館の目玉の一つ港川原人のレプリカ

口、南北400キロの海域に散在する琉球列島の大小の島々を壮観できる大型ジオラマを配置し、島々の特徴ある自然・歴史・文化を情報端末機を用いて紹介しています。

また「海で結ばれた人々」のコーナーでは、「化石が語る沖縄」として、実物標本や映像を活用しながら、特に更新世（約1万8千年前）頃の琉球列島について、港川人を中心に、同時代に生息していたヤンバルクイナ、イノシシ、ジュゴン、リュウキュウジカなどを実物大に復元。「化石の宝庫」といわれる琉球列島の特異性を知る手がかりとなる展示となっています。

部門展示

土木に携わる者として特に目を引くのが、「自然史部門」の展示物です。沖縄で出土する岩石について、沖縄県地図とともにエリアごとに分布を表示した「地質分布図」には、それぞれの地質の特徴が一目で分かります。たとえば、沖縄本島でも北部と南部では土の質が異なります。北部は砂岩・ビーチロック・本部石灰岩、チャートが見られ、南部は石灰岩、泥岩、凝灰岩などで構成されますが、それらの実物の石とともに見ることができます。

興味深い展示物の一つに、「琉球石灰岩地形模型」があります。琉球石灰岩は、琉球列島の代表的な岩石で、鹿児島県喜界島以南に分布しています。およそ140万～10万年前にサンゴが生育する浅い海で形成された地層です。この海に面する断崖絶壁の模型は、1m×2mほどの大きさで、台地に形成された割れ目の「フィッシャー」、波の浸食によって作られた洞窟の「海食洞」、波によって削られたキノコ岩の「ノッチ」など地形の特徴を示し、それぞれ解説ビデオでも説明してくれます。

港川原人

1970年に沖縄本島南部八重瀬町の港川フィッ

シャーで発見された港川原人は、この博物館の目玉の一つです。東アジアでは最も古い1万8千年前のものと推定されており、ほぼ全身の骨格で4体発見されました。現在港川人1,2号は東大総合研究博物館に、3,4号は同博物館に収蔵されています。実物は特別企画展が行われる時に見られることもありますが、通常は保管庫で眠っ

ており、常設展示場には等身大のレプリカを見ることができます。

沖縄からは港川人や山下町洞人など1万年以上前の更新世の人類化石がいくつも発見されており、日本で発見されている更新世の化石人類のほとんどは沖縄県内から出土したものです。「沖縄は人類化石の宝庫」といわれるゆえんです。

おわりに

海に囲まれた沖縄は、ヤンバルクイナのような天然記念物に代表されるように、多くの固有種を守り育ててきました。一方でその島嶼性ゆえに人の社会においても、共同体の絆を重んじるシマ社会を育んできました。沖縄県立博物館は、琉球王国が独自の国家として繁栄した時代から、薩摩の琉球支配、沖縄戦、米軍統治時代、本土復帰を経てなお、米軍基地を抱えることに変わりはない現状を含めて、庶民の生活の視点から当時をしのばせる展示物も随所にちりばめた見ごたえのある内容となっています。ぜひ沖縄に行く機会のある方は、お立ち寄りいただき、沖縄への理解を深めるきっかけになればと期待いたしております。

〔(株)日興建設コンサルタント 砂川尚之〕

- 交通案内 モノレール「おもろまち駅」下車徒歩10分
バス番号3,10,11,223,227,263「県立博物館前」下車1分
- 利用案内 開館時間 午前9時～午後6時（金曜日・土曜日は午後8時まで）
入館は閉館30分前まで
- 休館日 毎週月曜日（月曜日が祝日の場合は、翌日が休館）・年末年始
- 入場料 常設展観覧料金 一般400円、大・高校生250円、中小生150円
- 住所・連絡先 那覇市おもろまち3-1-1
Tel 098(941)8200
- HP www.museums.pref.okinawa.jp

名水百選 栃木県佐野市 出流原弁天池の七変化

1. はじめに

環境省指定の名水百選や、県の天然記念物にも指定されている栃木県佐野市の「出流原弁天池湧水」は、古生層石灰岩の割れ目からコンコンと湧き出し、出流川の源泉として農業用水に利用されているほか、周辺は佐野市の観光名所として市民の憩いの場となっています。

湧水量は平均毎分6～8 m³で、最近20年間では水質・湧水量ともに大きな変化はなく良好な状態を保っております。

また、弁天池の背後には、湧水にかかわりのある「湧釜神社」があり水の神様である天水分神および国水分神が、さらに背後には「磯山弁財天」が祀られており、多くの言伝えとともに歴史的な史跡にもなっています。今回はこの「出流原弁天



図1 「出流原弁天池湧水」周辺部の地質図と湧水・溶蝕空洞^{1),2)}

池湧水」で湖水の色が七変化する様子をご紹介します。

2. 葛生石灰岩地域の湧水地分布

湧水のある出流原は、新潟県から栃木県にまたがる足尾山地南端で、関東平野北縁に位置します。

周辺は石灰岩の産地として知られる栃木県葛生地域で、石灰岩は図1に示すように、平面的には南西に開いた馬蹄形をした盆地構造を呈しています。鍋山層の石灰岩は上中下3層に区分され、それぞれ層厚100 m程とされています¹⁾。

鍋山層中の石灰岩の湧水は、図1に示すように、石灰岩分布に沿って点在します。この内、弁天池湧水は標高が最も低い湧水地で、背後の石灰岩地帯で長い期間に溶蝕された空洞に地下水が流入し、最下流部の「出流原弁天池湧水」で湧出していると想定されています。

3. 「出流原弁天池湧水」の水質

弁天池湧水の水質は図2に示すように石灰岩地域の湧水に特徴的な炭酸塩硬度型 Ca-HCO₃型を表しています。電気伝導度250～300 μS/cm, pH

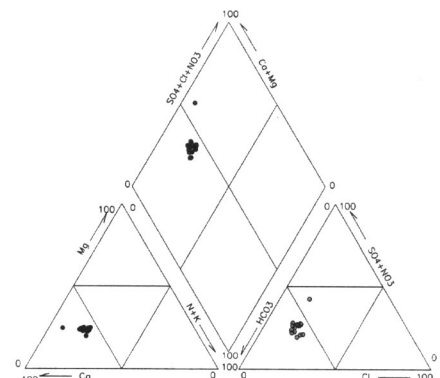


図2 「出流原弁天池湧水」の水質^{3)より引用}

7.0~7.5, イオン総量 160~200 mg/L, 陽イオンがやや優勢です。水温は約 16°C で安定し, 水質の変化も小さく安定しています。

4. 「出流原弁天池湧水」の七変化

弁天池湧水地は比較的古くから, まとまった降雨後に湖水の白濁現象が報告されていました。図3は一昨年度の連続降雨量約 100 mm の降雨時の降り始めから, 約一週間の湖水の色調の変化を, 降雨量と弁天池水位との関係を加え整理したものです。

降雨以前は「透明」な湖水が, 降雨とともに水位が上昇し(池の排水不良にもよる), 降雨のピークの観測頃に「白濁」が発生しました。その後, 数時間で「茶灰」「青灰」に, 降雨後 30 時間程度で「乳白」へと変化し, 時間経過とともに元の「透明」な湖水に戻りました。

実際に「白濁」水をメスシリンダーに採取し, 放置すると約 10 時間後には「透明」となり底部に沈殿物が残りました。

5. 白濁現象の原因の考察

石灰岩の地下水の白濁現象の原因として一般的な性質を勘案して下記の事項が想定されました。

- ① 炭酸カルシウムと二酸化炭素の反応
- ② 炭酸マグネシウムの化学的晶出
- ③ 物理的な微細土粒子の懸濁物

弁天池の白濁現象の原因を検討するため, 白濁水の水質分析や沈殿物の顕微鏡下観察, 溶存イオンの化学種組成計算, 再現実験等を実施しました。

これらの検討結果からは, 濁りの由来は石灰岩亀裂充填物からの微細粒子であり, 石灰岩亀裂を通過する際に生じる流入水の乱流が石灰岩亀裂充填物の土粒子を混入するものと想定されました。

参考文献

- 1) 柳本 裕：栃木県葛生地域の中・古生層の層序と地質構造の再検討, 地質学雑誌, 第 79 巻, 第 7 号, 1973.
- 2) 藤本治義：5 万分の 1 地質図幅及び説明書「栃木」, 地質調査所, 1961.
- 3) 日本地下水学会：名水を科学する, 技報堂出版, 1994.
(原田晋太郎 [川崎地質(株)])

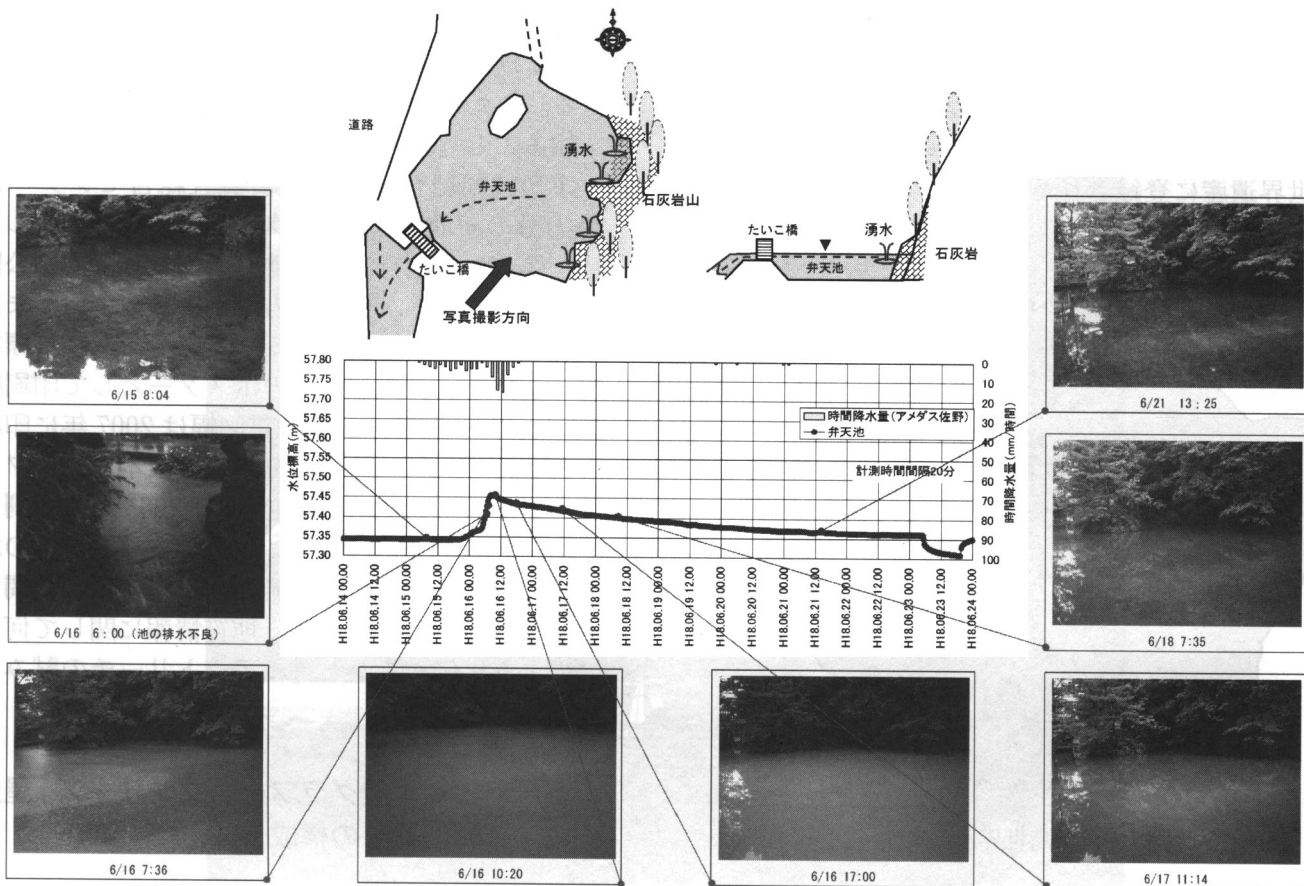


図3 「出流原弁天池湧水」の湖水の白濁現象

世界遺産「屋久島」の地質

～地質情報のアウトリーチ～

おがき わら まさ つぐ さい とう まこと
小笠原 正 継・斎 藤 眞
げし のぶ お な が もり ひで あき
下 司 信 夫 ・長 森 英 明*

1. はじめに

屋久島は1993年白神山地とともに日本で初めて世界遺産（自然遺産）に登録された。屋久島はその中心に九州最高峰の宮之浦岳（1936 m）をはじめ永田岳などの奥岳と呼ばれる高峰がそびえており（図1）、洋上のアルプスとも呼ばれる。海岸付近の亜熱帯植物から、暖帯、温帯、亜高山帯に至る植生の垂直分布がみられる。山岳部には樹齢数千年におよぶヤクスギと呼ばれる巨木も分布し、屋久島は貴重な生態系を構成している。この貴重な生態系が評価され世界自然遺産として登録された。また2005年には北西部の永田浜がラムサール条約登録地となり、アカウミガメの産卵地として保護されている。

世界遺産に登録された1993年以後、屋久島を訪

れる観光客は増加し、最近では毎年約30万人の方が訪れている。また屋久島の貴重な生態系を学び体感するエコツーリズムと呼ばれるツアーの参加者も多く、その中でツアーリーダーによる屋久島の地質の解説が聞かれることがある。世界遺産の登録後、屋久島の自然と文化を知ることができる展示館もできた。宮之浦には屋久島環境文化村センターが、安房には屋久杉自然館と屋久島世界遺産センターが設立され、多くの観光客が訪れている。そこでも簡単な地質に関する情報が得られる。

屋久島の貴重な生態系の形成は地形と地質の影響を大きく受けており、屋久島の自然は、過去4千万年の地質構造発達史の上に成り立っていると言える。したがって、屋久島の自然の理解には地質を知ること重要である。

産業技術総合研究所地質調査総合センターが20万分の一地質図幅「屋久島」の調査を開始した時、得られた地質情報を地質図幅として印刷公開するだけでなく、一般の方が入手しやすい、また理解しやすい形で提供することを考え、地質標本館グラフィックシリーズのポスターとして印刷販売することを計画した。地質図幅は2007年に印刷公表され（斎藤ほか、2007）、地質標本館グラフィックシリーズ「屋久島の地質」は2008年に印刷された（小笠原ほか、2008）。ここでは「屋久島の地質」のポスターの概要を紹介し、屋久島を訪問する人や居住している人に、地質情報に関して何をどのように伝えるかというアウトリーチの試みについてまとめる。

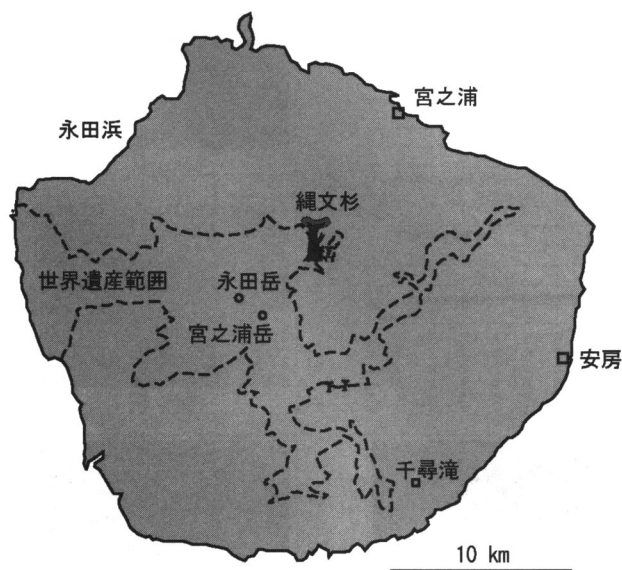


図1 屋久島世界遺産範囲

2. 地質標本館グラフィックシリーズ「屋久島の地質」の構成

20万分の一地質図幅「屋久島」の裏面には、地

* 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門

形、地質、鉱物資源、温泉、活断層などの詳細な記述がある。その記述の概要を地質標本館グラフィックシリーズ「屋久島の地質」に盛り込んだ。準備段階ではA1判の片面印刷とするかまたは両面印刷とするかの議論があった。山岳ガイド地図にあるように折りたたんで携帯可能な形とすれば両面印刷も可能で、その場合かなりの量の説明を含めることができる。しかし、今回は壁に貼ってもらうことを主眼として、他のグラフィックシリーズと共通の片面印刷のポスター形式を採用した。

ポスターの中心には屋久島の地質図を配置した(図2)。地質図は20万分の一地質図幅「屋久島」の屋久島の部分を拡大した。A1判用紙の制約も

あり7万5千分の一の縮尺への拡大とした。20万分の一地質図幅と異なり、地質図に地形の陰影を付け、地形と地質の対応を見やすくした。また世界遺産の指定範囲、主要なヤクスギの位置等20万分の一地質図幅にはない情報を付け加えている。屋久島周辺の地質概略図、屋久島の形成史を説明したイラスト、写真12枚を地質図の周囲に配置した。解説文はできるだけ簡潔なものとし、また海外からの訪問者への対応も考え、英文の要約も含めた。

原稿は2007年9月に作成されたものの、印刷原稿ができるまでには、多くの方からご意見をいただき、修正を繰り返した。そのため、修正作業には約半年の時間が必要であった。この作業の主た

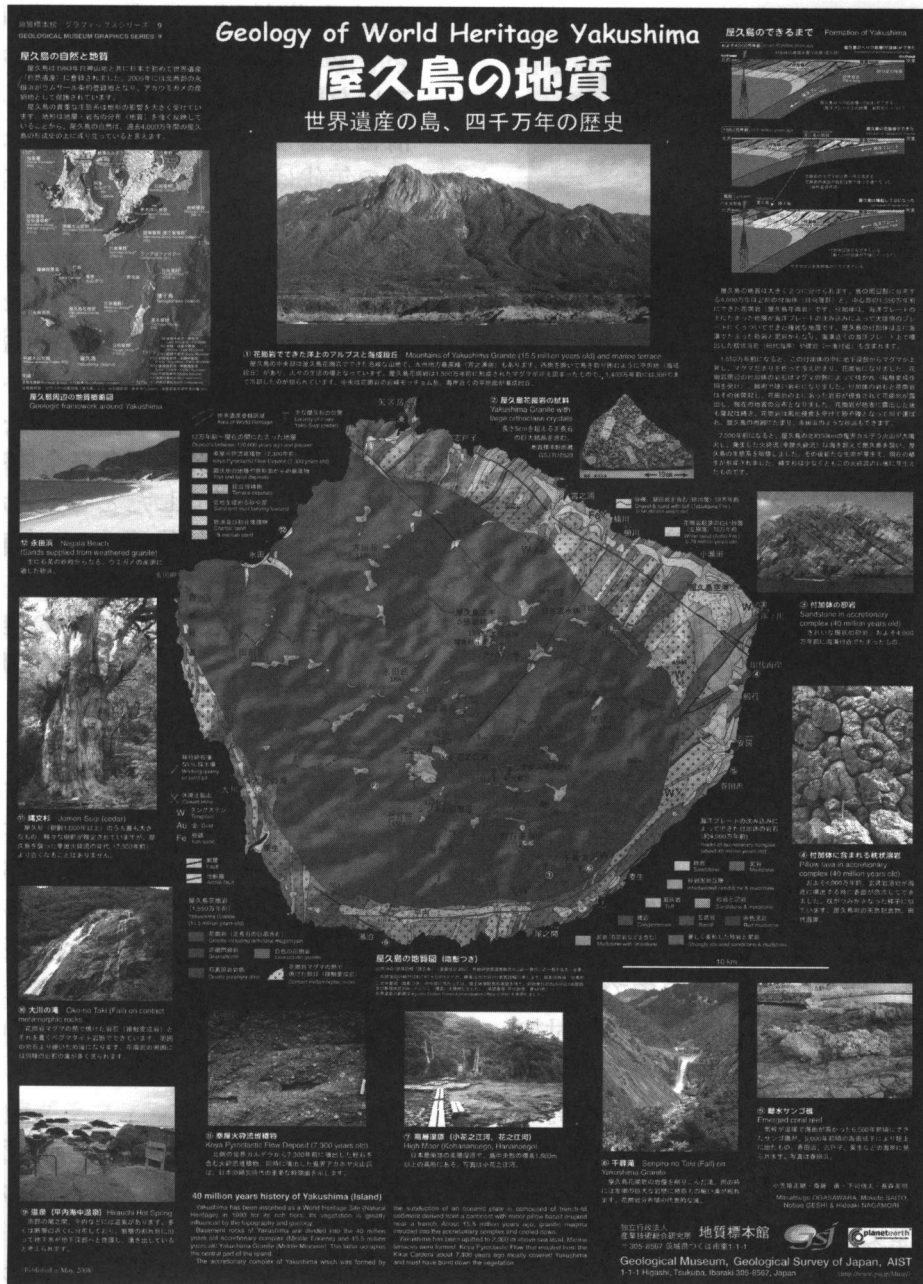


図2 地質標本館グラフィックシリーズ「屋久島の地質」原版はカラー印刷である。

る内容は、必要な解説を含めつつも、いかに文字数を減らすかであった。解説の文字数が余りに多いとポスターとしての見栄えが良くなく、また一般の方に読んで貰えないと考えた。

写真については、20万分の一地質図幅の調査中、ポスターでの使用も考え、大量の写真を撮影し、その中から選択した。地質的に興味のある写真でもスペースの都合で含めることの出来なかった写真も多い。宮之浦岳等の奥岳周辺の特徴的な花崗岩地形(図3)を含めることができなかったのは残念でもある。

またポスターに含めることができなかったものに地質年表がある。一般の方が判りやすいように、古いものから順番に示したものを準備した(表1)。



図3 屋久島主稜線の花崗岩地形

表1 屋久島の地質年表

4,000 万年前	四万十帯の古第三紀付加体の堆積および海洋底での玄武岩枕状溶岩の形成
1,550 万年前	屋久島花崗岩の形成
1,400 万年前	屋久島の花崗岩が約 300°Cまで冷却, 屋久島の隆起は続く
78 万年前	安房層の堆積
7,300 年前	屋久島に火砕流が襲う 幸屋火砕流, アカホヤ火山灰 縄文杉をはじめ屋久杉の樹齢はこれより若い
6,500 年前	縄文海進, さんご礁の形成, 春田浜など

ポスターのタイトルも様々な候補をあげたが、最終的に「屋久島の地質—世界遺産の島, 四千万年の歴史—」とした。地質図幅調査の中で、九州南部の地層との連続性により日向層群とした付加コンプレックス(従来の熊毛層群)から年代を指示する放散虫を見出し、付加体の形成時期が約四千万年前であることが示された(斎藤ほか, 2007)。そのため屋久島が四千万年の歴史をもつことが明らかになり、その歴史を示すタイトルとした。中国四千年の歴史と良く言われるが、その語呂を合わせて四千万年の歴史としたこともある。

原稿は印刷所へ渡すデジタルファイルの作成まで地質調査総合センター内で行ったので、色校正1回のみで印刷がなされた。このようにしてポスターができ上がった。作成のほとんどを地質調査総合センターが行うことで、1枚の価格は153円となった。ポスターの別刷分から、屋久島の小中高等学校、町役場、展示館等に配布した。一部の学校からは早速反響があり、環境関係の授業で使いたいとのことで、追加で送付した。

3. 「屋久島の地質」で解説した主な項目

屋久島の地質は大きくは2つに分けられ、縁に分布する約4000万年前(始新世)の付加コンプレックスと、中心部の1,550万年前にできた花崗岩(屋久島花崗岩)から成る。ここに示した付加コンプレックスの年代は今まで様々な文献に使用されていた約6,000万年前とは異なる(全地連・地質情報整備・活用機構, 2007など)。また屋久島花崗岩の年代は従来1,400万年前と言われていたものを、最近の研究成果を組み入れ、1,550万年前とした。これらの点は今までの解釈と異なる。

また鬼界カルデラ火山の大噴火によりもたらされたアカホヤ火山灰と幸屋火砕流の年代は、最近の研究成果から約7,300年前あることが明らかになっているので、ポスターにはそのことを示している。幸屋火砕流は屋久島全体を被い、島の植生をすべて焼き尽くしたと考えられている。従来アカホヤ火山灰の年代は6,300年前とされていた。ところが、ヤクスギの中でも最も大きい縄文杉の樹齢は一部には7,200年との推定もあり、6,300年前に屋久島の植生はすべて破壊されたと考えられているのに、アカホヤ火山灰・幸屋火砕流より古い縄文杉の年齢は大きな疑問となっていた。ヤクスギの樹齢は6,300年より古くなることはないとの記述も多い。しかしアカホヤ火山灰と幸屋火砕流の年代を約7,300年前とすれば、縄文杉の推定樹齢7,200年としても問題はない。縄文杉は屋久島全土が焼き尽くされた後、芽生えた最初のスギの一つとも考えることができる。縄文杉の真の樹齢はまだ決定的ではないものの、その樹齢は幸屋火砕流の年代約7,300年前より古くなることはない。

屋久島東海岸には屋久島町の天然記念物に指定されている枕状溶岩がある。これについては典型的な枕状溶岩の写真を選び解説を加えた。また春田浜の海岸等には離水サンゴ礁が見られる。気候が温暖だった6,500年前頃の海面上昇に伴ってで

きたサンゴ礁がその後の海面低下により海岸線に出たものである。このように屋久島は植生だけでなく地質的にも興味のある所が多い。これらについても写真と簡単な説明を加えている。

4. 地質情報のアウトリーチ活動としての役割

屋久島には貴重な自然に触れる機会を期待して多くの観光客が訪れている。そのような機会に屋久島の自然を形作った地質的背景を理解してもらえるような地質解説がこのポスター作成の主旨である。

地質標本館グラフィックシリーズは、No.2 放散虫化石と海洋プレート層序、No.8 日本の鉱物資源（第2版）等ポスターとして多くの方に利用していただいている。ただし、内容的には専門的なところもあることから地質に興味がある方からの評判が良い。大学の研究室の壁にこれらのポスターを見ることもある。その点、今回の地質標本館グラフィックシリーズ No.9 屋久島の地質はより広く一般の観光客等を対象にしている。屋久島は国内でも最も行ってみたい所の一つとしてあげられることが多い。屋久島の自然を見るときにその地質的背景を少しでも知ってもらうことにポスターの意義がある。

日本地質学会は国立公園地質リーフレットシリーズの作成を始めた。国立公園地質リーフレットシリーズ1 箱根火山では一面に5万分の一箱根火山地質図と箱根火山発達史等の解説図面、他の一面に箱根火山に関する詳細な解説が示されている（日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会、2007）。8つ折りにすることができ、携帯が便利な形となっている。地質標本館グラフィックシリーズと比較すると情報量が多く、文献リストなども充実しており、解説書としても十分な情報が提供されている。この点では、ポスターとして掲示してもらうことを目的とした地質標本館グラフィックシリーズとは表現方法が異なる。

屋久島は日本の地質百選に選ばれており、日本列島ジオサイト地質百選（全地連・地質情報整備・活用機構、2007）に2ページの解説がある。今回作成した地質標本館グラフィックシリーズ屋久島の地質はこの記述よりは詳細な解説となっている。

地質情報のアウトリーチには以下のように様々な方法が考えられる。

常設展示型

博物館

資料館

イベント型

講演会

展示会：地質情報展、恐竜展等

地質見学会

印刷物やインターネット利用のメディア型

リーフレット

地質案内書

地質案内図

ポスター

インターネット経由の情報

映像系：DVD等

今回は、屋久島を訪問する観光客や屋久島の地元住民、そして産総研つくばセンターの地質標本館を見学者の中で今後屋久島を訪問したいと考えている方たちを対象とし、ポスター型の地質情報の提供を試みた。

地質情報のアウトリーチ活動としての役割を担えればと期待している。国際惑星地球年のプログラムではアウトリーチ活動を進めているが、世界遺産の屋久島の地質的背景を理解することから地球の歴史や地球環境に興味を持ってもらえればとも考え、ポスターには国際惑星地球年のロゴも含めた。本報告では世界遺産のように多くの方が訪問する場所での地質情報提供のあり方を屋久島のポスターを例として紹介した。

文献

- 1) 日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会：1. 箱根火山, 日本地質学会, 2007.
- 2) 小笠原正継・須藤定久：日本の鉱物資源, 産総研地質標本館グラフィックシリーズ No. 8, 2003.
- 3) 小笠原正継・斎藤 真・下司信夫・長森英明：屋久島の地質—世界遺産の島, 四千万年の歴史—, 産総研地質標本館グラフィックシリーズ No. 9, 2008.
- 4) 斎藤 真・小笠原正継・下司信夫・長森英明：20万分の1地質図幅「屋久島」, 産総研地質調査総合センター, 2007.
- 5) 斎藤 真・川上俊介・小笠原正継：始新世放散虫化石の発見に基づく屋久島の四万十帯付加体の帰属. 地質学雑誌, 113, 266-269, 2007.
- 6) 利光誠一・斎藤 真：放散虫化石と海洋プレート層序, 産総研地質標本館グラフィックシリーズ No. 2, 1997.
- 7) 全国地質調査業協会連合会・地質情報整備・活用機構：日本列島ジオサイト地質百選, オーム社, p. 181, 2007.

強風化石英閃緑岩（まさ土内）に発生した地すべり

いな ば ひで あき
稲 葉 英 昭*

1. はじめに

まさ土とは花崗岩質岩石の結晶性深成岩およびこれと同質の片麻岩が風化してその場所に残留している残積土、およびこれからもたらされた崩積土（崖錐）などである。

一般に深層風化を受けたまさ土は、水に弱く侵食や洗掘を受け斜面崩壊を起こしやすい。

ここでは、石英閃緑岩の分布する地域の深層風化を受けたまさ土内で発生した崩壊性地すべりの

事例とその課題について述べる。

2. 対象地周辺の地形・地質状況

本業務地は、愛知県新城市の西側に位置する雁峰山の山腹中腹部の標高 250～300 m で、斜面勾配は 30° 前後となっている。また、現在対象地の直上部を雁峰林道が通っている。

対象地の地形は元はほぼ平衡斜面を呈していたが、地すべり滑動により一部せり出した尾根状の地形となった。また、対象地の下部斜面は集水地形を呈し、山腹工が施工されている。

対象地の地質状況は、白亜紀前期（またはそれ以前）領家帯古期花崗岩類に属する新城石英閃緑岩（黒雲母角閃石石英閃緑岩）が分布している。新城石英閃緑岩は、粗粒で片麻状構造の弱い石英閃緑岩からなり、黒雲母のほかに長径 8～15 mm、幅 3～6 mm の長柱状の角閃石を含む。いたるところで暗色含有物を含み、角閃石は緑色角閃石が多い。

実施した調査ボーリング結果から、所々で弱風化～未風化のコアストーンが残留する場合はあるが、20 m 以上にわたって深層風化によるまさ化した強風化石英閃緑岩が分布する。

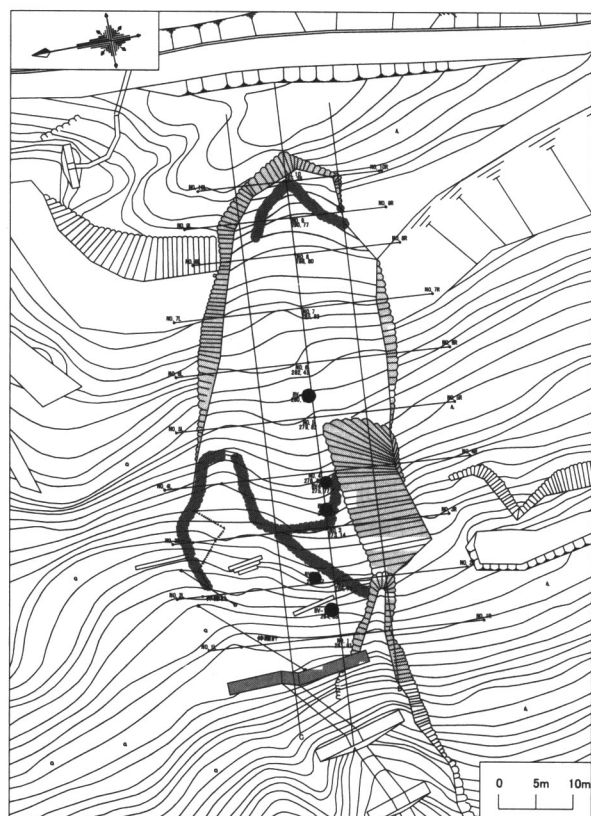


図1 調査地平面図



写真1 平成17年当時の滑落崖

* 国土防災技術(株)名古屋支店

3. 地すべり調査

対象地では平成5年に当時地すべり頭部を通っていた林道に地すべりによる変状が顕著化し、地すべり調査を実施した。その後、変状した林道を斜面上部方向へ30m程移動し、特に地すべり対策は実施されなかった。

近年、地すべり地末端に位置する鋼製土留め工の変状が確認されるなど地すべり滑動が顕著となったことから、平成17年より地すべり調査を再度行った。

3.1 地質調査

地すべり地の地質状況およびボーリング孔を利用した各種調査観測を目的としてボーリング調査を実施した。

調査対象が強風化石英閃緑岩（まさ土）であることからボーリング調査は標準貫入試験を併用して行った。

ボーリング調査より、地すべり地内ではGL-12~18m付近までN値20以下の脆弱な層が分布することが判明した。また、最大GL-25mまで硬質な岩は確認されていない。さらに、調査孔掘進中にも孔内水位は形成されず、当該地すべりは透水性の高いまさ土で構成されていることがわかった。

3.2 その他の調査

ボーリング調査孔を利用した調査観測としてパイプひずみ計調査を実施した。ただし、孔内水位調査・観測はボーリング削孔時に全漏水であったことと、平成5年時の調査から孔内水位はほとんど形成されていなかったことから今回は実施していない。

パイプひずみ計調査では、すべり面深度と判断される変動をいくつかの深度において確認された。ただし、データの解析から変動状況と降雨との相関はそれほど高くないと判断された。

4. 応急対策

当該地すべりが近年活発な滑動をみせていることから、地すべり滑動の鎮静化を目的として平成19年度に応急排土工を実施した。安全率を5%程度（ここでは安定解析については割愛）上げるために排土工を実施した。しかし、地すべり土塊そのものを直接取り除き、安定解析上では斜面安定化の方向へ進んでいるが、排土による一時的な地表面の裸地化や、当該地すべりのすべり面が複数にわたっていることから、現在の地表面の侵食・表層崩壊の発生、また、降雨と呼応した地すべり本体の滑動がまだみられる等十分な効果は達成できていない。

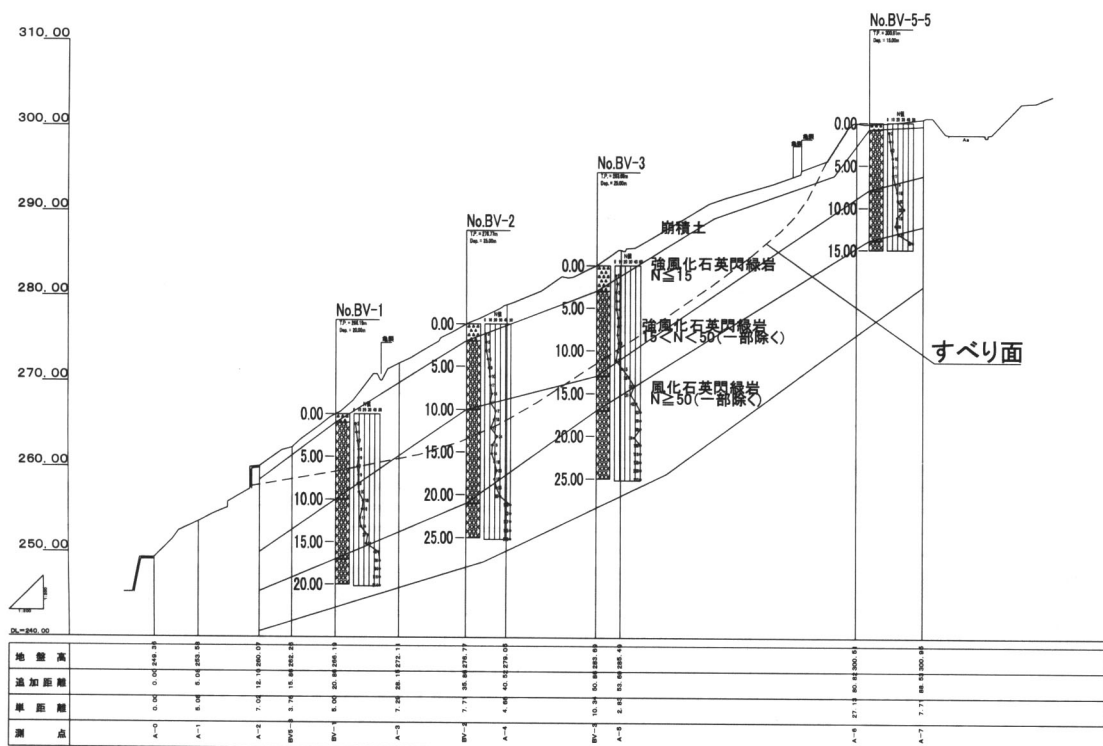


図2 調査断面図

5. 今後の課題

ここで紹介した崩壊性地すべりは幅約 30 m, 斜面長約 70 m と比較的小規模で, 地すべりというよりは崩壊に近いものといえるが, 地すべり地末端部に鋼製土留め工が設置されており, 形成されているすべり面が末端部付近では約 11° と緩いため, 移動土塊は調査結果にみられるような滑動形態となっているものと推測される。

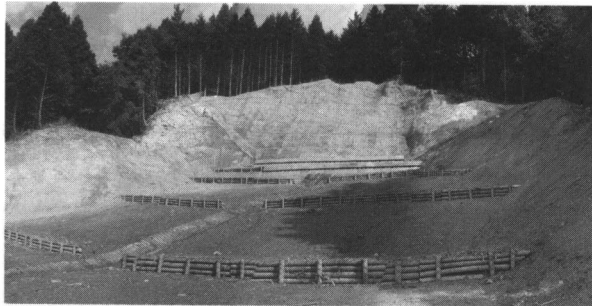


写真2 応急排土工後

今後, 当該斜面の対策工を進めていく上 (現在現地では応急排土工まで実施) での今後の課題について述べる。

- ① すべり面深度が最大で現在の地表面の GL -10 m 程度であり比較的深い。→地すべり

土塊を全て取り除くためには試算では約 15,000 m³ の排土が必要となる。

- ② 地すべり滑動に寄与していると思われる浸透水の定量的な評価が現在できていない。→正確な斜面安全率の算定が困難。
- ③ すべり面を呈する深度が複数存在し, 滑動が比較的活発であることから最大の地すべり土塊以外のすべりにも十分配慮した検討を行う必要がある。

6. 最後に

この現場を通じて, まさ土内に発生した地すべりにおける調査および対策工立案の難しさを改めて痛感した。特にこの現場のように極端に強度低下が進んでいると思われるすべり面を形成するまさ土では顕著である。

現在当該斜面は今後の対策を検討中であり, より現地に適した対策に取り組んでいきたい。

引用・参考文献

- 1) 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用編集委員会: 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用, 地盤工学会, 2000.

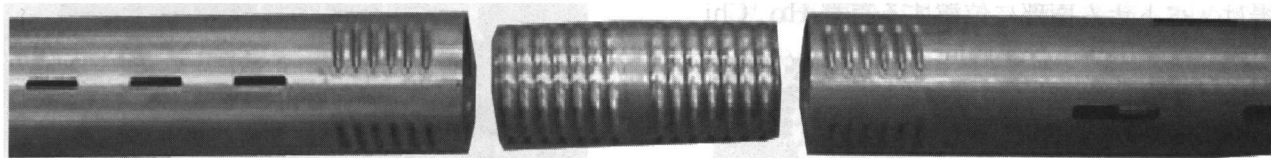
恒久集水ボーリング保孔管

割れない・抜けない!

剥げない・錆びない!

サビレス100

NETIS No.KK-030021



接続部の引張・曲げ強度とも約50kN(塩ビ管の10倍以上)

抜群の低ライフサイクルコスト 高強度・長寿命(100年)

高強度・長寿命サビレス管のお問い合わせ。ご注文は

有限会社 **太田ジオリサーチ**

<http://www.ohita-geo.co.jp/> TEL 078-907-3120(担当:太田)

<http://www.あんしん宅地.jp/>

あんしん宅地. JP

工事名：PSA-THI VAI Intl Port Development
場 所：Vietnam THI VAI
業務内容：CDM による改良杭（ $\phi 1300$ mm）のチェックボーリングを行い（掘削孔径 $\phi 86$ mm オールコア採取）圧縮試験による強度確認を実施した。

掘削深度 $L=23$ m

調査方法：鋼製の台船（6 m \times 6 m 程度）上にボーリングマシン（中国製）を設置しオールコアボーリングを実施した。

サンプリングは、日本製のスリーブ内蔵式ダブルコアチューブを使用した。

班体制：ベトナムの作業員は1班当り6人程度で行い、監督員等を含めると10数人が台船上にひしめきあっている（写真2に作業状況を示す）。



写真2 作業状況

私の役割：現地作業におけるコア採取技術指導を主とし、コアチューブのセッティングおよび掘進時の圧力、掘削水の送量、回転の調整等を細かく指導した。

概略地層：調査地はティーバイ川左岸側に位置し、広い平原部で近くには大きな山は見当たらない。地層はシルト（非常に粘性が強い）を主体とし、細砂～中砂を介在する。N値は5回以下で求まる。

4. 現地スタッフの実状

現地の作業員等は、作業当初長靴は履いておらずゴム靴で作業を行っていた。これらは安全上問



写真3 コア採取状況

題があることから、長靴の使用を指示した。

作業については、各々役割分担ができており機械操作、ロッドを切る、エンジンを掛ける、泥水、コアチューブ組立て、深度の計算等をそれぞれ担当し、他の作業はほとんどしない。

サンプリングは、ダブルコアチューブの微調整に当初は戸惑っていたが、細かい指導により良質のサンプルを採取することが出来た（写真3にコア採取状況を示す）。

5. 最後に

現地のスタッフは非常にまじめで勤勉である。一般の調査業務は、標準貫入試験を含めて実施しているが、今回のようなサンプリングに関しては初めてのようであった。このため、作業開始当初はサンプリングがうまくできず困惑していたが、結果として良質のコアが採取された時の感極まる喜び様は今でも目に浮かぶ。

私は外国語が話せず、海外業務も初めてで苦労も多かったが、今回の業務を通じて色々と勉強になった。言葉は通じなくても身振り手振りで何とか通じるし、こちらの態度を見て現地の人もある程度理解しているようであった。

個人的には、通常の観光では得られない貴重な体験ができ、チャンスがあればまた海外業務に参加して今回の業務の成果を生かしてみたいと考える。皆さんも文化・習慣の異なる海外業務に参加してはいかがでしょうか？ 戸惑いもあるとは思いますが、なかなかいいものですよ。

のり面の変状に対する原因究明調査と 対策工設計の事例

さのてつや*
佐野 哲也*

1. はじめに

私が経験した業務のなかで、海岸に面した道路のり面において、アンカーの抜け出しやのり枠の亀裂などの変状原因調査と、その対策工（アンカー工）の設計を行った事例を紹介する。

現地は、写真1に示すように、海岸に面した急勾配のり面で、昭和61年にのり面の崩壊が発生、翌年にモルタル吹付・のり枠・アンカー工による対策工がなされていた。その後、約20年を経て平成18年にアンカーの抜け出しが発生している。

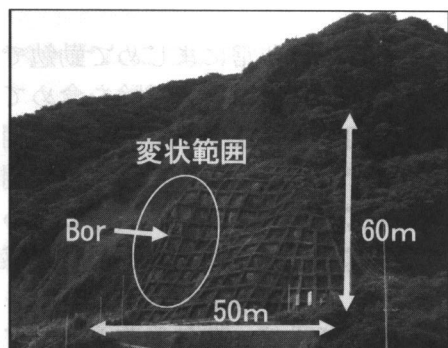


写真1 のり面全景

2. 調査計画

のり面の変状原因特定にあたっては、変状の実態・背面の地質状況とともに、対策時の設計の考え方・施工状況も重要と考え、現地踏査による観察の他に、当時の調査・設計・施工などの資料を可能な限り収集し、検討することとした。

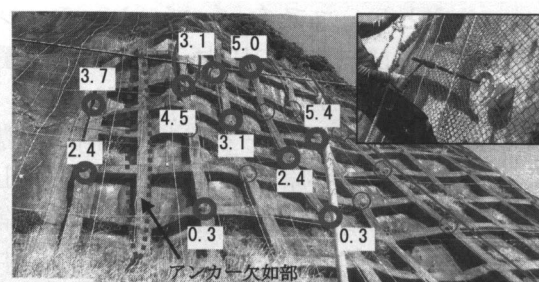
また、かなりの年数を経てアンカーが破断したことから、アンカーボルトの応力腐食割れや水素脆性破壊など特殊条件による破断原因も視野に入れ、調査計画を立てた。

3. 調査結果

(1) 現地踏査

現地踏査では、周辺の地質状況の把握とのり面変状の確認、破断したアンカーの状況確認と撤去を行った。のり面の観察にあたっては、私の趣味であるロッククライミングの技術を活かし、ロープアクセスにより自分自身で詳細な観察を行った。

- ① のり面を構成する地層は、新第三紀の泥岩が主体で、スレーキング性は見られない
- ② 周辺の露頭では、風化部の崩落・節理による平面破壊・くさび破壊の跡がみられる
- ③ アンカー破断は特定の範囲に集中し、深さ2～5m程度で破断したものが多い（写真2）
- ④ 吹付モルタルに亀裂がみられ、のり枠まで連続したものがある



○アンカー破断箇所（数字は破断深度m）

写真2 アンカーの破断箇所と撤去アンカー

(2) 既存資料の検討

当初設計と現地の比較から、以下のような差異が確認できた。

- ① 設計ではのり面の突出部を成形・除去することになっていたが、実際は切残しがあった
- ② 設計で計画された千鳥配置のアンカーが施工されていない部分があった（写真2）

* 大成基礎設計(株)

(3) アンカー破断部の状況

撤去したアンカー破断部の断面および表面の状況を顕微鏡・電子顕微鏡で観察した結果、応力腐食割れや水素脆性破壊など環境要因による破断は見られなかった。一方、写真3に示すように、脆性破壊から延性破壊に至る過程が読みとれた。

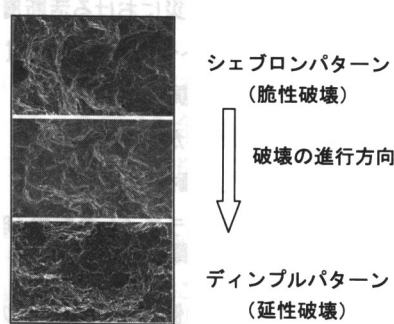


写真3 破断面の電子顕微鏡写真

(4) ボーリング結果との対比

変状が集中している箇所では15mの水平ボーリングを実施した結果、以下のような状況がわかった。

- ① 地質はシルト質の泥岩（軟岩）であり、周辺に見られる地層と同じである
- ② 深度5m程度までは亀裂が多く、亀裂面の酸化も顕著である（風化部として区分）
- ③ 破断アンカーの深度は、岩盤の新鮮部と風化部の境界付近とほぼ一致している

4. 考えられる変状の原因

調査結果を総合すると、変状の原因・過程は以

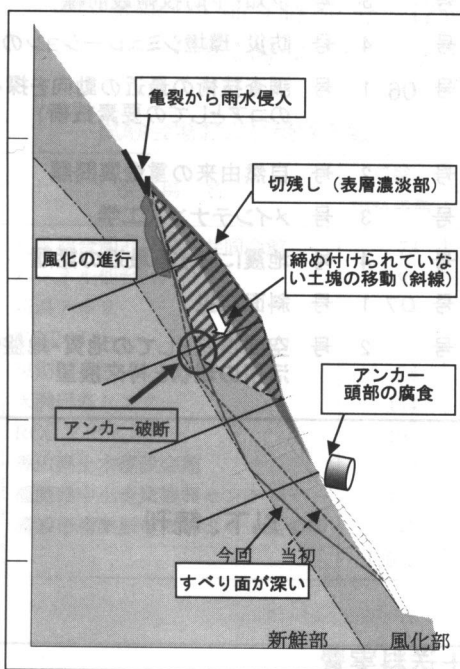


図1 調査結果による変状原因の推定

下のようなものと推定された。

- ① 切り残しがあることから不安定範囲が広く、設計時より過大な荷重がかかっていた。
- ② 一部のアンカーの腐食と破断により、他のアンカーが負担する荷重が大きくなった。
- ③ 当初設計はアンカーの「締め付け効果」を期待していないため、岩塊が移動する可能性があった
- ④ すべり面とアンカーの角度が大きく、曲げ応力やせん断応力がアンカーに働いた
- ⑤ ④により脆性破壊が生じ、さらに延性破壊へと進展し、破断が発生した

4. 対策工

調査結果を踏まえ以下の対策工設計を行った。

変状箇所は現状で危険な状態と判断されたため、現況ののり枠を全面撤去し新設することは、困難と判断した。このため、現況ののり枠・アンカーを残しながら、のり枠の間にアンカーを打ち増しする工法とした。

受圧板は、のり枠の中で不陸が大きいことから、必然的に「現場打受圧板」に限定された。そして、施工性にも優位な軽量な材料を選択した。

アンカー工については、海に面した自然環境であることを踏まえ、防食性・施工性でも優れる「エポキシPC鋼より線」を採用した。

5. おわりに

緊急を要する業務であったため、現地踏査による観察と変状の原因・機構解明に的確な判断が要求された。現場作業にあたっては、現地状況から苦勞することが多かったが、ロッククライミングの特技を生かせるという楽しい面もあった。

調査・設計にあたっては、判断に苦しむことも多かったが、おおむね正しい判断ができたと考えている。特に、当初設計の資料が見つかったことは、変状の原因・対策工を考える上で大きく役立った。古い工事の場合、当時の資料が散逸していることが多く、判断に苦しむことが多いが、手間がかかっても既存の資料は入手すべきと考えている。

また、よりの確な判断を行うために、社内外の技術者の意見を聞くとともに、文献による施工事例、事故事例などの情報も収集したことが、土木に必要な「経験の蓄積」となったものと思う。

今後も技術者として創意工夫ができるよう知識・経験の蓄積に日々努力したい。