

# 地質調査

'10 第 1 号

〔小特集〕地質と調査のフロンティア

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会



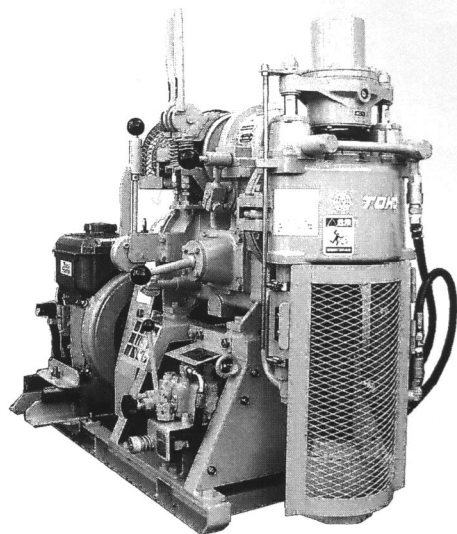
発行 土木春秋社



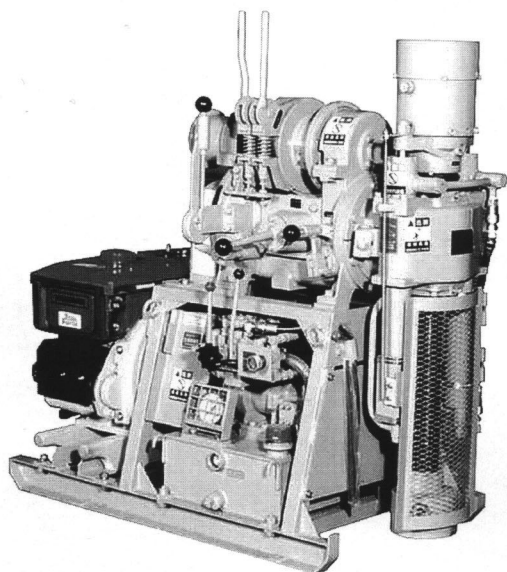
**TOHO**  
DRILLING EQUIPMENT

# 小型ボーリングマシン

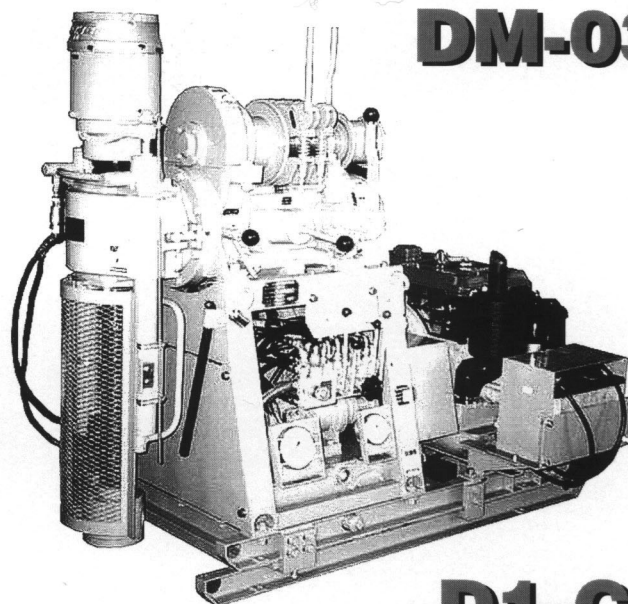
- ニーズに合わせて、ホイストドラムを取外し  
コーンブリータイプに変更することができます。
- ブーリの交換で地質にあったスピンドル回転数  
が選択できます。
- 試錐ポンプが内蔵でき、しかも原動機は1台で  
済みます。



**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>

福 岡 〆 092 (581) 3031  
 札 幌 〆 011 (785) 6651  
 仙 台 〆 022 (235) 0821  
 新 潟 〆 025 (284) 5164  
 名 古 屋 〆 052 (798) 6667  
 大 阪 〆 0729 (24) 5022

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

巻頭言	地質と調査のフロンティア ジオ・とよくら ((株)ダイヤコンサルタント 元取締役) 豊蔵 勇	1
小特集	地質と調査のフロンティア	
	地質調査と土壌汚染に関する保険	木下 弘志 2
	戸建て住宅業界から見た地質調査	平田 茂良 7
	法地質学—科学捜査からのニーズ—	平岡 義弘 14
	ジオパークと地質調査業の関係性 —ジオツーリズムについて—	永野 正展 18
	医療地質研究の最前線	駒井 武・原 淳子・張 銘 23
	食文化と地質—ワインと地質の深い関係—	橋本 修一 32
教養読本	地下流水音探査による崩壊発生場所の予測 —一般市民個人からの調査依頼に応えられる ユニークな技術—	多田 泰之 39
やさしい知識	地質リスクを考慮した地盤調査	本城 勇介 42
私の経験した現場	これまでの軌跡～これからも…	岡 伸次 45
各地の博物館めぐり	琵琶湖疏水記念館	松尾 賢太郎 49
車窓から見る地形・地質	加賀の白山 石川県加賀市 ～金沢市 JR 北陸線	泉 正博 51
大地の恵み	沖縄県宜野湾市 —豊富な湧水に支えられる大山ターンム畑—	佐々木 史 53
会 告	地質情報管理士資格検定試験 38 名が合格	55
	受注動向調査対前年比較表 (4 月～12 月)	56
	「地質調査技士」資格取得者 13,616 名に	57
	平成 22 年度「地質調査技士」資格検定試験の実施要領を 決定	57
	「地質リスク学会」が活動を開始いたしました	58
	地質リスクマネジメント事例研究発表会・事例研究発表 募集	59

## 小特集テーマ 「災害とその後—情報を活かす防災最前線—」

- ・ 防災情報の共有化と活用のあり方
- ・ 土砂災害警戒避難体制づくりの取り組み最前線
- ・ 都市型洪水災害—実態と対策
- ・ 建物倒壊シミュレータによる防災学習システム
- ・ 洞爺湖有珠火山マイスター
- ・ 災害情報の共有化の課題

**教養読本** 科学技術コミュニケーション

**やさしい知識** 顕在化する気候変動の実態と予知予測技術

各地の博物館巡り

大地の恵み

車窓から見る地形・地質

私の経験した現場

### 【表紙写真を募集いたします!】

読者の皆様の撮影された「地質と調査」の表紙用写真を募集しております。

地形・地質・土・岩などこの雑誌にふさわしいと思われる自然現象をご投稿ください。

季節感のあるものでもかまいません。ただし固有名詞がはっきり見えるものは不可です。

土木春秋社 ホームページ <http://dobokushunjyuu.ehoh.net/>

メールアドレス [doboku-s@pd6.so-net.ne.jp](mailto:doboku-s@pd6.so-net.ne.jp) へお願いいたします。

データ条件 (3008×2000 ピクセル程度以上)

ご採用させていただいた場合は、図書券 (1万円分) をお送りいたします。

## 地質と調査のフロンティア

ジオ・とよくら（株式会社ダイヤコンサルタント元取締役） とよ くら 豊 蔵 いさむ 勇

平成 21 年夏に自公連立政権から民主党中心の連立政権へと政権交代がおこり、公共事業費が大幅に削減されたことや事業仕分けの対象となったことは、今後の業務の減少を意味しており、否が応でも当地質調査業界が新たな市場を自らのフロンティア精神で開拓しなければならなくなったことを意味すると思われる。このことは、業界始まって以来の最大の出来事で、その意味で「地質と調査のフロンティア」と題する本企画は、時代の要請に即した極めて時機を得たものとなっている。

さて、本企画は本誌編集委員であった故伊熊俊幸氏（株式会社ダイヤコンサルタント執行役員）が主たる担当であったが、おしくも発刊を見ることなく昨年 8 月他界された。ご冥福をお祈りするとともに、人となりを一言書かせていただきたい。彼の専門分野はトンネル地質であったが、現場をよく観察する行動力、豊富な国内外の事例研究、ならびにこれはと思う人の意見を良く聞くという土木地質技術者であった。そのため、社内では業務遂行上真に余人に代え難い技術者であり、また業界を見渡しても数少ない貴重な技術者であったと思う次第である。巻頭言を豊蔵が書かせていただくのは、本企画について多少ご相談に預かった縁からである。

今回のテーマについては、地質調査業務遂行にあたりセーフティーネットとしての役割を担っている瑕疵担保保険や第三者傷害保険の現況を知ること、業界および個々の企業が技術・経営上の問題点を把握することにつながることから、つとに重要な話題であるとの認識から取り上げられた。次に、当業界の直近の新たな雇用創出や高額な工事などのハードに頼らないでソフトな技術力

を生かす観点から、土壌・地下水汚染の問題を人の健康へのリスク評価からとらえた医療地質、およびユネスコが支援する世界のジオパーク（Global Geopark Network）が国内で認定されたことを契機として野外教育や地域おこしの面で現実味を帯びてきたジオツーリズムが取り上げられた。また、戸建て住宅の地質調査では地盤の性質をよく分かってももらえない不十分な調査法がなぜ採用され現在に至ったのかの理由とプロセスを知り、今後二度とこの轍を踏まないための教訓として、さらに、法地質学については社会生活の前提である国民の安全性を確保するための地質学の知れざる力を知る機会として取り上げられた。最後の食文化についてはジオパークとも共通するが、これまで注目されていない地質の恵みと今後深刻化する食糧問題との関連で深耕すべきテーマと考えられた。

最後に、今次の「コンクリートから人へ」という言葉からは、インフラ整備の行き過ぎた切り捨てが懸念される。我が国は、世界的に見てもきわめて活動的な変動帯に位置するため脆弱な地盤からなるが、世界初にして最大のメガシティ東京、また世界に冠たる高度の文明国家を築き上げてきた。しかし、そのさらなる発展のみならず維持においてすら今後とも自然災害に対する地質リスクを含めた高度のリスクマネジメントと安全性の高いインフラの整備が必要であることを常に訴え続けていかなければならない。それには、本誌がその技術的内容と政策提言などを分かり易くつたえること、また配付先をシンクタンクなども含めた幅広い政策決定権者にするなどの、積極的な広報策をとることが望ましいと考えられる。

# 地質調査と土壌汚染に関する保険

きのした ひろし\*  
木下 弘志\*

## 1. はじめに

事業活動には必然的に様々なリスクが伴うから、リスクに対応する保険にも、様々なものがある。自分が持っている物が損害を受けるかもしれない（物保険）。従業員がけがをするかもしれない（労災保険、傷害保険）。そして、他人に損害を与えて損害賠償をしなければならないかもしれない（賠償責任保険）。地質調査業は目に見えない地下を対象とした業務であることから、特に賠償責任について、地質調査業に特有の問題がでてくる。地下埋設物や土壌汚染の問題である。

一方、土壌汚染については、地質調査業者だけでなく、土地所有者のリスクが問題となる。土地所有者の土壌汚染リスクは、損害賠償リスクに限られない。土地を購入した後に土壌汚染が判明して大きな損害を負うケースは後を絶たない。しかし、土壌汚染リスクについては、保険の観点からは課題が多く、保険があまり普及していないのが現状である。

本稿では、最初に地質調査等に関する賠償責任と保険について述べた後、土地所有者を中心とする土壌汚染のリスクと保険について述べる。

## 2. 地質調査等に関する賠償責任と保険

地質調査や汚染地盤修復工事に際して業者が負う賠償責任リスクは、工事に伴う事故によるものと、業務の瑕疵（調査結果が誤っていた、汚染が除去されていなかった等）によるものに分けられる。

### 2.1 工事に伴う事故

地質調査の場合、目に見えない地下を対象とし

ているため、配管や電線等の地下埋設物を破損してしまい、所有者に対して損害賠償しなければならないということが発生する。それ以外でも、作業に伴って通行人等がけがをして賠償責任を負うということも考えられる。

このようなリスクに対しては、請負業者賠償責任保険がある。保険の詳しい内容は保険会社によっても異なるし、同じ保険会社でもオプションの特約の組み合わせによっていくつかのバージョンが考えられる。この「地質調査等に関する賠償責任と保険」の項では、社団法人全国地質調査業協会連合会（以下、全地連）の保険制度を見ることにする。

請負業者賠償責任保険は、「地質調査業者が地質調査作業中および関連作業中（土壌地下水汚染修復工事を含む）に生じた偶然な事故により、第三者の身体（通行人など）や財物（地下埋設物を含む）に損害を与え、法律上の賠償責任が発生した場合、その責任額を補償する制度」である（全地連資料）。

賠償責任保険は第一義的には、被害者のための保険ではなく、加害者の損害（賠償責任を負うという損害）をカバーするための保険である。従って、保険が支払われるためには、損害が発生したというだけでは足りない。地質調査業者が法律上の賠償責任を負うことが必要である。

地下埋設物の損壊事故の場合、地質調査業者に賠償責任が発生するかどうか、争いになることが多い。地質調査業者が賠償責任を負うのは、地質調査業者に過失があった場合である。所有者から提供された図面が誤っていたために、十分な注意を払って掘削したにもかかわらず電線を切断したような場合、過失がないから、賠償責任を負わない。従って、保険は支払われない。

しかし、電線の場合は無理であろうが、配管で

\* 三井住友海上グループ（株）インターリスク総研 製品安全・環境チーム主席研究員

あれば、ぶち当たれば感触でわかることもある。図面が正確でないことはよくある話なので、地質調査業者は、図面が不正確である可能性を念頭において慎重に掘削を行うべきだとも言える。実際には、図面が誤っていたために事故が起きたのか、掘削のやり方が雑だったために事故が起きたのか、わからないことがある。

不正確な図面でもあればまだ良いほうであり、図面がないケースも多いと言われている。この場合、賠償責任を回避するためには、所有者に立ち会ってもらい、掘削箇所を所有者に確認しながら作業を行う等の工夫が必要になる。

全地連の資料から実際の事故例を紹介する。

**埋設されていた電源ケーブルを切断。約2億円の損害額に対して過失割合35%のため、責任額が約7,000万円になり、支払限度額6,000万円を超過。**

支払限度額は保険加入時に選択できるようになっているが、この件では6,000万円を選択していたため、6,000万円しか支払われなかった。過失割合を35%とした理由は不明であるが、所有者からの情報提供が十分でなかったことが考えられる。

**薬剤注入工事のうち、水平ボーリング作業中に、ボーリングロッドが設計上の進路からはずれ、埋設されていた電気ケーブルおよび電話会社所有の光ケーブルを切断。約7,000万円の保険金が支払われた。**

その他にもいくつかの事例が掲載されている。ほとんどが地下埋設物破損の事例であるが、埋設物ではなく温泉の源泉というケースもある。

**地震計設置のためボーリングを行った際に、誤って温泉の源泉に掘削孔を到達させたため、泥の成分が温泉に混入し、温泉を白濁させ、かつ温泉設備を汚損。保険金支払額は約2,500万円であった。**

なお、請負業者賠償責任保険では、他人から借りた工事機器、例えば、レンタルのボーリングマシンに損害を与えた場合には支払われないが、オプションの特約（借用財物損壊担保特約条項）を付ければ支払われる。

## 2.2 調査結果の誤り

例えば、土壌汚染調査で、過失によって汚染を見逃してしまい、汚染なしと報告したとする。そこにはその後マンションが建設され、多数の住民が入居した。あるとき、土壌汚染が判明し、住民は退去し、マンションは取り壊され、汚染の除去が行われた。そして、こうしたすべての費用が調査業者に請求されてきた。調査費用は数百万円であるにもかかわらず、何億円、何十億円という賠償金を支払わなければならないのだろうか。

調査に瑕疵があったのだから、調査費用は返さなくてはならないが、汚染除去費用は賠償する必要はない（調査結果が正しくても、汚染除去を行っていたはずだから）。問題は、マンションの取壊し費用と住民の退去費用である。健康被害のおそれがないのであれば、マンションを取り壊す必要はなく、家賃を下げればよいとも考えられるが、裁判でも判断は分かれるかもしれない。

実際には、土壌汚染調査の瑕疵による賠償事例は少ないのかもしれない。地盤の強度等と異なり、土壌汚染は開発が終了したらわからないことが多いであろう。また、土壌汚染調査はサンプル調査に過ぎず、基準値超過がなかったという調査報告書は、その土地に汚染がないことを保証するわけではないからである。

土壌汚染調査に限らず、地質調査の結果が誤っていた場合、建設工事の施工をやり直す等、余分にかかった費用について賠償責任が生じる可能性がある。これに対応した保険が、建設コンサルタント賠償責任保険である。これは、「地質調査・土木設計業務に関し、業務の委託者に引き渡した調査報告書、設計図等の成果物に起因して、業務の委託者または第三者から保険期間中に損害賠償請求を受けた場合において、法律上の賠償責任を負担することによって被る損害」をカバーするものである（全地連資料）。

全地連の資料から事故例を紹介する。

**プレキャストボックス施工に伴う地質調査を実施。施工から約3ヶ月経過後、ボックスの沈下およびコンクリートの一部亀裂を確認。原因確認のため地質調査を実施した所、事前調査では予想し得なかった軟弱地盤を確認。沈下防止に向けての基礎工事などを実施し、その費用約3,600万円の損害賠償請求を受けた。**

この件では、3,600万円の損害賠償請求に対して、保険金支払は1,000万円となっているが、そ

の理由は不明である。過大請求だったのかもしれないし、軟弱地盤を確認できなかったことに100%責任を負う必要はないという結論になったのかもしれない。

もう一つ事例をあげる。

急傾斜地の法面工事中にアンカーが切断。対策工事が必要となった。原因調査の結果、調査・設計業務において、地盤強度を実際よりも高く評価し安定計算を実施したことが判明。調査・設計を担当した業者は、対策費用約2,200万円の損害賠償請求を受けた。

この件でも、2,200万円の損害賠償請求に対し保険金支払は720万円となっているが、理由は不明である。

建設コンサルタント賠償責任保険では、オプションとして、環境汚染担保特約がある。環境汚染を発生させたことによる損害は、一般の賠償責任保険では支払い対象外であり（但し、不測かつ突発的な事故は対象となる）、これをカバーするには、別途、環境汚染損害賠償責任保険を付ける必要がある。しかし、この環境汚染担保特約を付けていれば、「調査業務に関し、業務の委託者に引き渡した成果物に起因して、業務の対象となった土地の土壤に含まれる汚染物質の排出、浸潤、流出もしくは溢出した結果として」負う損害賠償責任についても、一定範囲の損害について保険の対象となる。

### 2.3 汚染除去工事の瑕疵

汚染除去工事のやり方が悪かったために発注者等に損害を与えてしまうことが考えられるが、このようなリスクに対応する保険として、汚染地盤修復工事賠償補償制度がある。「汚染地盤修復工事業者が実施した「汚染地盤修復工事」の完了・引き渡し後、工事のかしに起因して第三者（発注者を含む）に身体の障害または、財物の損壊を与えたことにより保険期間中に法律上の損害賠償責任の請求を受けた結果負担する損害や汚染物質が残留したことにより再修復工事が必要となった場合の当該土地の工作物の取り壊しや再構築費用、使用不能損害、再修復工事にかかる追加費用など」を補償するものである（全地連資料）。

比較的最近始まった保険であるためか、実際の保険金支払事例は記載されていないが、この保険で補償する損害として、以下の例があげられている。

- ・工事の不具合により地中に空洞が生じ、引き渡し後に陥没したため、地上の建物が傾いた場合の建物修理費用等。
- ・工事のかしにより、土地に残存した有害物質がじわじわと周辺地域に拡大し、環境汚染が発生し、再修復工事が必要となった。再修復工事のために建物を壊さなければならなくなった場合の建物の取り壊し・再建築費用や当該建物の使用不能損害。（住民の仮住まい費用、仮駐車場代、店舗の場合の休業補償。）
- ・工事のかしにより、土地に残存した有害物質の再修復工事が必要となった。再修復工事のために一時退去する住民の仮住まい費用や休業を余儀なくされる店舗の休業補償。

## 3. 土壌汚染のリスクと保険

土壌汚染については地質調査の賠償責任でもふれたが、ここでは土地所有者のリスクを中心に述べる。

保険は、誰の損害を対象にするのか、将来発生する可能性のある汚染を対象にするのか、すでに発生しているが判明していない汚染を対象にするのか等によって、いろいろなパターンが考えられる。また、補償内容の詳細は保険会社によって異なる。

土壌汚染に関する保険の特徴として、自動車保険や火災保険のように気軽には入れないことがあげられる。自動車保険や火災保険では、事故暦や建物の構造等によってリスクを評価するというパターンが決まっているし、自動車事故や火災事故が発生した直後に保険に入って保険金を受け取ろうとする人がいても、比較的容易に防止できる。しかし、どの事業者が土壌汚染を引き起こすリスクが高いのか、どの土地が汚染されている可能性があるのかは、保険会社には判断が難しい。また、保険に入った時にすでに土壌汚染が生じていたかどうか、保険会社にはなかなかわからない。従って、通常、事前のヒアリング調査や土壌調査が要求される。生命保険に入るのに健康診断結果が要求されるのと似ているが、調査に要する時間と費用の負担は、生命保険とは比較にならないほど大きいし、調査費用は保険の加入者が負担しなければならないことが多い。

### 3.1 第三者への賠償責任

土壌汚染が工場の敷地外に広がった場合には、



周辺住民への損害賠償責任を負う可能性がある。裁判例は少ないが、工場の操業によって地下水汚染が生じたとして周辺住民が工場を訴えたケースで、工場の過失を認定し、代替井戸の掘削費用と慰謝料の賠償を認めた例がある（福島地裁郡山支部判決平成14年4月18日）。

環境汚染損害賠償責任保険（EIL/Environment Impairment Liability）は、このような第三者への損害賠償責任をカバーする保険である。名前のとおり、土壤汚染に限られない。大気汚染や水質汚濁も対象となる。この保険は、後述の他の土壤汚染保険に比べれば、早くから販売されてきたし、保険契約の例も多い。

環境汚染損害賠償責任保険では、保険契約前に汚染が生じており、保険契約後に被害が顕在化したという場合は、保険の対象外にしているケースが多いと思われる。

### 3.2 売主の瑕疵担保責任

土地の売買後に土壤汚染が発見された場合、売主は買主に対して瑕疵担保責任を負う。瑕疵担保責任の性質と効果については諸説あるが、無過失責任であるとする説が有力である。従って、売主が汚染原因者である必要はなく、土地を利用せずに転売しただけの者も責任を負う。汚染の事実を知らないで売った場合でも責任を免れない。通常は、浄化費用を賠償することになる。

瑕疵担保責任に関する争いはかなり生じているようであり、裁判例もいくつか出ている。例えば東京高裁判決平成20年9月25日は、土地売買の時点ではふっ素の土壤環境基準が設定されておらず、法や条例の規制もなかったにもかかわらず瑕疵担保責任を肯定したケースであるが、「当時の取引観念上はその有害性が認識されていなかった場合」でも瑕疵に当たると述べており、注目された。

この瑕疵担保責任をカバーする保険がある。売主の責任を対象としているから、土地売買の前に生じていた汚染だけが対象となる。

### 3.3 シロ保証

土壤汚染調査はサンプル調査に過ぎないから、土壤汚染調査で汚染が発見されなかった場合でも、後で汚染が判明するリスクがある。土地の所有者は、浄化費用という思わぬ出費を強いられることになる。

このリスクに対応して、調査会社が調査結果を保証することが考えられる。実際にこうした保険

が存在するようであり、シロ保証と呼ばれている。調査会社が保険に入り、調査費用に保険料を上乗せするかわりに、調査で発見されなかった汚染が後で判明した場合は、浄化費用を支払うという仕組みが考えられる。

### 3.4 浄化費用の見積超過

浄化作業が当初の予定よりも時間がかかったり、浄化作業中に新たな汚染が発見されたりして、浄化費用が見積金額を超過する場合があるが、この超過費用を補償する保険も例があるようである。浄化会社が保険に入って発注者に対して浄化費用を保証するケースが多いと考えられるが、発注者（土地所有者）が保険に入るケースも考えられる。

### 3.5 自社地の浄化費用

土地所有者が保険に入り、汚染が発見されたら浄化費用を支払ってもらうという保険も考えられるし、実際にこういう保険が存在するようである。しかし、事前調査は不可欠であろうし、保険料も安くないであろう。実際にどこまで利用されているかはわからない。

保険に入るほうにしてみれば、事前調査なしで簡単に入ればよいのかもしれないが、それでは保険は成り立たないであろう。土壤汚染対策法の施行状況によれば、有害物質使用特定施設のうち、約3割で汚染が判明している。事故発生率が3割もあるとすれば、保険料は非常に高額になり、汚染があるだろうと思っている事業者しか保険に入らなくなる。そうすると、ますます保険料が高くなるという悪循環に陥り、保険が成り立たなくなってしまう。

### 3.6 土壤汚染保険の難しさ

リスクマネジメントの選択肢の一つである保険は、土壤汚染の場合、かなり難しい。一般に、保険が民間ベースで成立するためには、次の要素が必要であるとされている。

- ①純粋リスクであること：言い方を変えれば、ビジネスリスクではないこと。例えば、株の取引の損失を補償する保険があれば、リスクの高い取引をするようになり、保険の引き受け手がなくなる。
- ②事故発生確率が予測できること：事故発生確率は、適正な保険料の算定に不可欠である。また、発生確率だけでなく、発生した場合の平均損害額も予測できなければ、適正な保険料は算定で

きない。

- ③多くの被保険者が存在すること：保険契約がわずかしかなければ、保険収支が安定せず、事故が起きればすぐに赤字になってしまう。まさにこの点が、人々が保険に入る理由である。保険契約が十分多ければ、毎年の収支はほぼ一定する（大数の法則）。
- ④事故がいつ発生したのかが明確に判断できること：保険期間内に生じたものかどうか判断できなければ、保険金が支払われるかどうか判断できない。さらに、事故が起きてから保険に入ろうとする人がでてくるが、これを防ぐことができない（アフターロスと呼ばれている）。
- ⑤一つの事故が多数の被保険者に影響を与えないこと：例えば、戦争、地震、失業は、一つの事象が多くの人に影響するから、民間の保険会社では十分に対処できない。
- ⑥経済合理性があること：発生頻度が高いものや、損害程度が少ないものは、保険よりも自己負担の方が経済的である。

上記の要素について土壤汚染の場合を考えてみると、以下のように難点が多い。

- ①土壤汚染そのものは純粹リスクであるが、保険の形態によってはビジネスリスクになり得る。例えば、汚染がありそうな土地を安く買って、汚染があれば保険で浄化費用をまかなおうとする場合である。
- ②土壤汚染に関する統計は整備されていない。確かに、土壤汚染対策法や条例の施行状況で有害物質使用特定施設の汚染確率が3割程度という統計はある。しかし、これは全体のごく一部にすぎないし、売買された土地のうちどれだけ土壤汚染を理由として瑕疵担保責任を問われるのか、土壤汚染調査で汚染が判明しなかったものうちどれだけ後で汚染が判明するのか等、わからないことが多い。また、浄化費用に関する統計も乏しい。
- ③今のところ、多くの人が保険に入るという状況ではないから、保険収支が安定しない。一件で

も事故が起きれば赤字になってしまうおそれがあれば、保険会社は引受を躊躇する。

- ④何が保険事故かは保険の種類によって異なり、例えば、汚染発生であったり、汚染の発見であったりするが、汚染発生日時の特定は難しいことが多いし、汚染発見時となると、通常、保険会社にはわからない。
- ⑤一つの事故が多数の被保険者に影響を与えないということについては、あまり問題がない。
- ⑥すでに述べたように、汚染確率が3割もあるのであれば、保険の経済合理性がなくなるおそれがある。

#### 4. おわりに

地質調査等に関する賠償責任については、今後も保険が重要な役割を担うと考えられるし、時代のニーズに応じて、新しいタイプの保険が開発されるかもしれない。

一方、土壤汚染については、現段階では保険は例外的な手段と言え、原則として土地所有者がリスクをとる必要がある。しかし、第三者への損害賠償責任については、被害者保護の観点から、事業者の資力を確保する必要があり、保険も一つの選択肢になり得る。

また、土地取引の促進のためには、取引の安全を確保する必要があるが、そのためには、土壤汚染情報を収集して公開する制度等が整備されることが望まれる。そうなれば、保険の設計が容易になり、保険が一定の役割を果たす可能性があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 社団法人全国地質調査業協会連合会：全地連第三者賠償補償制度（請負業者賠償責任保険）
- 2) 社団法人全国地質調査業協会連合会：全地連建設コンサルタント賠償補償制度（地質調査業務・土木設計業務）
- 3) 社団法人全国地質調査業協会連合会：全地連汚染地盤修復工事賠償補償制度（生産物賠償責任保険）

# 戸建て住宅業界から見た地質調査

ひら たい しげ よし  
平田 茂良\*

## 1. はじめに

わが国の住宅産業は戦後の高度経済成長とともに急成長し、1987年度には新設住宅着工戸数が172.8万戸のピークを記録した。その後は下降の一途をたどり、2008年度は103.9万戸、2009年度は80万戸を下回るとの予想がされており、明らかに量から質の時代に突入しているといえる。2008年度に着目すると、新設住宅全体のうち、マンションなどの集合住宅を除いた戸建て住宅の着工戸数は41.6万戸（全住宅の40%）であった。

戸建て住宅の地盤調査は、建物が小規模なため荷重度が比較的小さいことや費用に制約があることなどから、軽視されがちであったが、1980年頃から大手住宅メーカーが中心となって、スウェーデン式サウンディング試験を導入したのを期に、今日では戸建て住宅の標準的な地盤調査方法として広く普及している。導入当初、大手住宅メーカーでは設計者が業務の傍ら地盤調査を行っていたが、その後に戸建て住宅を専門とする地盤調査会社が台頭し、今日では住宅の地盤調査産業として確立されるに至っている。そのため、住宅の設計者の多くは、基礎および地盤に関する知識を有するものは少なく、地盤調査者の判断に頼る傾向にあるのが現状である。このような背景から、1999年に（NPO）住宅地盤品質協会が設立され、住宅地盤技士・主任技士の資格認定制度など、住宅地盤の品質の向上と地盤技術の発展を目的とした活動がなされている。

本稿では、戸建て住宅業界の視点に立ち、スウェーデン式サウンディング試験を中心とした地盤調査の現状について述べることにする。

## 2. 住宅の基礎地盤を取り巻く情勢

### 2.1 法令

1998年に改正建築基準法が公布され、1950年の建築基準法の施行以来、約50年ぶりの大改正がなされた。地盤調査に関するものとしては、建築基準法第20条に構造耐力、これを受けて同施行令第93条に地盤および基礎杭の支持力が規定され、その詳細については告示1113号で示されている（図1参照）。

#### （1）告示1113号

2001年の国土交通省告示第1113号では、地盤と基礎杭の支持力などの規定とともに、地盤調査の方法が規定されている。地盤調査の方法としては、①ボーリング調査、②標準貫入試験、③静的貫入試験、④ベーン試験、⑤土質試験、⑥物理探査、⑦平板載荷試験、⑧載荷試験、⑨くい打ち試験、⑩引抜き試験の10種が挙げられており、スウェーデン式サウンディング試験は「③静的貫入試験」に該当し、その支持力算定式も新たに示されている。

#### （2）品確法

住宅に関するトラブルを未然に防ぎ、そして万一のトラブルの際も消費者保護の立場から紛争を速やかに処理することを目的に、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」が制定され、2000年4月から施行されている。本法律は「新設

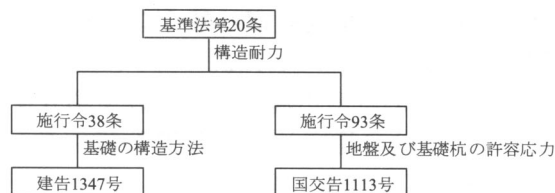


図1 基礎地盤に関する法令

\* 大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所  
新構法研究グループ グループ長 工学博士

住宅の瑕疵担保責任に関する特例、「住宅性能表示制度」、「住宅専門の紛争処理体制」の3本柱で構成されている。

### (3) 住宅瑕疵担保履行法

2005年11月に発覚した構造計算書偽装問題により、品確法だけでは消費者保護が不十分であることが明らかとなった。そこで、2007年10月に制定された「特定住宅瑕疵担保責任の履行の確保等に関する法律（住宅瑕疵担保履行法）」により、2009年10月以降に新設住宅を引き渡す場合、売主または請負人（宅地建物取引業者や建設業者）は、保険加入または保証金供託のいずれかの対応が必要となった。

## 2.2 学会指針

日本建築学会では、1988年に「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」が刊行、2009年に改訂されたが、この指針は中規模以上の建築物を対象としており、戸建て住宅の地盤調査については、1988年に刊行された「小規模建築物基礎設計の手引き」に任されてきた。その後の建築基準法などの法改正に伴い、本手引きの大幅な見直しが必要となり、2008年に「小規模建築物基礎設計指針」として刊行され、今日の技術的な拠り所とされている。

## 2.3 地盤基礎のトラブル

戸建て住宅に関するわが国最大の保証機関である(財)住宅保証機構によると、2002年度における同機構の基礎に関わる保証件数の割合は、全体の約2割であるが、金額では基礎が全体の約6割を占め、1件あたり平均530万円、基礎以外の付帯工事（内外装材の補修など）を含めると1千万円を超えることもあるとの報告がされている<sup>1)</sup>。

2005年9月、東京で開催された国際住宅建設・性能保証会議<sup>2)</sup>において、欧米などの主要12ヶ国中7ヶ国（米、日、英、仏、カナダ、豪、スウェーデン）が主なクレームとして基礎（Foundation）を取り上げており、地盤に起因する住宅のトラブルは、世界共通の課題であることが分かる。

## 2.4 住宅の基礎地盤を取り巻くコスト

戸建て住宅の基礎地盤に関するコストについて、文献3)における市場規模の試算を紹介する。なお、ここでは戸建て住宅の年間新設戸数は50万戸と仮定している。

### (1) 地盤調査

地盤調査に要する費用は、スウェーデン式サウンディング試験を前提にすると、約5万円/戸である。新設住宅の80%でこの調査がなされるとすると、50万戸/年×0.8×5万円/戸=200億円/年の市場となる。

### (2) 基礎補強工事

軟弱地盤で地盤改良や杭などの基礎補強工事が必要と判断された場合には、平均100万円/戸程度（50～200万円/戸程度）の費用が必要である。新設住宅の3割で基礎補強工事が行われているとすると、50万戸/年×0.3×100万円/戸=1,500億円/年の市場となる。

### (3) 沈下修正工事

新設住宅の0.1～0.2%の割合で不同沈下障害が発生し、かつ全てに補修がなされていると仮定すると、50万戸/年×(0.001～0.002)=500～1,000戸/年の沈下修正工事がなされていることになる。沈下修正工事費用を600万円/戸とすると、住宅の沈下修正工事は、(500～1,000戸/年)×600万円/戸=30～60億円/年の市場となる。

## 3. 住宅の地盤調査と基礎補強

住宅建設会社は、戸建て住宅の設計・施工に対

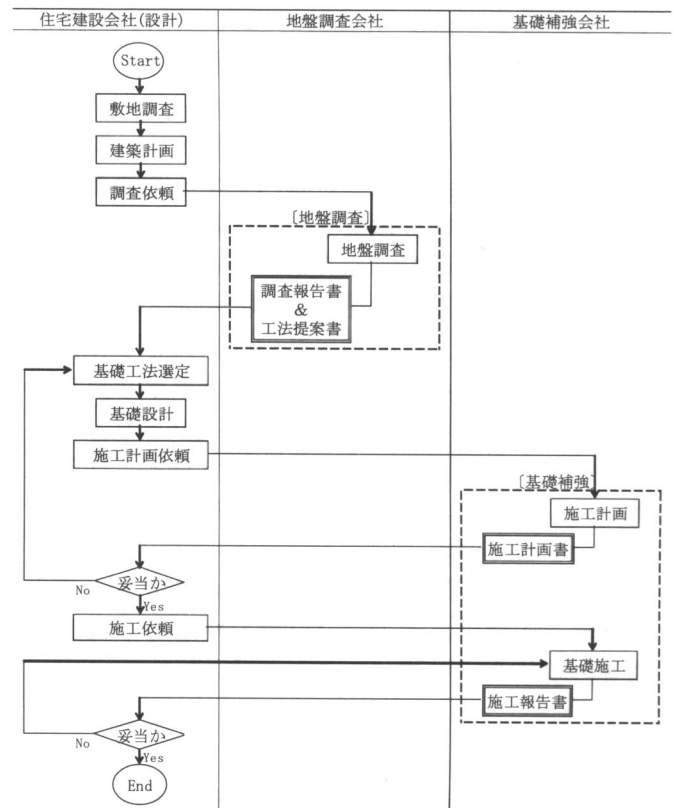


図2 住宅の地盤調査から基礎設計・施工の流れ

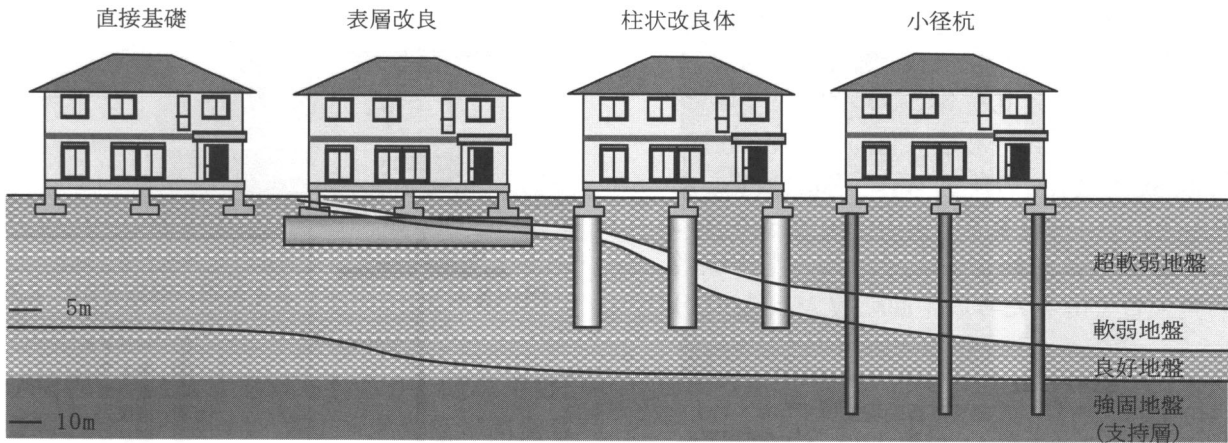


図3 住宅の基礎工法

して、図2に示すように、まず「敷地調査」を実施して、設計上必要な基本情報の収集を行い、顧客の要望に基づいて、建物の配置や間取りについて「建築計画」を行う。その後、基礎構造を決定するために、地盤調査会社へ「調査依頼」を行い、調査結果を検討資料の一つとして、「基礎工法選定」、「基礎設計」を行う。

地盤調査は、一般的にスウェーデン式サウンディング試験が行われ、基礎設計において地盤情報が不足する場合には追加調査として、標準貫入試験などが実施される。調査者は、スウェーデン式サウンディング試験を実施する際には、建設予定敷地および近隣の状況を目視確認を中心に調べ、チェックリストに記録することが一般的である。

設計者は、地盤調査報告書に加え、近隣ボーリングデータやその他の地盤情報（地形図、土地条件図、航空写真など）を参考に、安全かつ経済的な基礎を設計する。

基礎工法としては、図3に示す直接基礎のほか、表層改良、柱状改良体、小径杭などの基礎補強が地盤の状況に応じて選定され、設計・施工されることとなる。

#### ①直接基礎

地表部が良好な地盤の場合には、直接基礎である布基礎（接地圧  $50 \text{ kN/m}^2$ 、 $30 \text{ kN/m}^2$  など）やべた基礎（構造形式にもよるが2階建ての場合は接地圧  $20 \text{ kN/m}^2$  程度）が採用される。地耐力が  $20 \text{ kN/m}^2$  に満たない場合には、直接基礎の下部に基礎補強と呼ばれる以下の工法が採用される。

#### ②表層改良

基礎下から1m程度までに  $30 \text{ kN/m}^2$  程度の地盤が存在する場合、セメント系固化材などで地盤を改良する表層改良が採用される。通常は、基礎下1m程度を改良するが多い。この工法は一般的に浅層混合処理工法と呼ばれている。

#### ③柱状改良体

軟弱地盤が基礎下から6m程度まで存在する場合には、直径400~600mm程度、長さ7m程度までの柱状改良体が採用される。セメント系固化材を粉体の状態で土と混合する乾式工法と、スラリー状態で土と混合する湿式工法がある。施工する長さや本数は、地盤の状況に応じて決められる。この工法は一般的に深層混合処理工法と呼ばれている。

#### ④小径杭

小径杭には鋼管杭、PC杭、木杭などがあるが、現状では鋼管杭が最も普及している。鋼管杭は、STK400、杭径101.6~165.2mm、肉厚3~6mm、長さ20m程度までが、N値10程度以上の地盤を支持層として、打設されている。施工方法は、バイプロハンマなどによる打撃工法が採用されていた時代もあったが、近年は振動・騒音対策から、回転埋設する工法が主流となっており、杭先端には螺旋状の翼を取り付けたものが広く普及している。

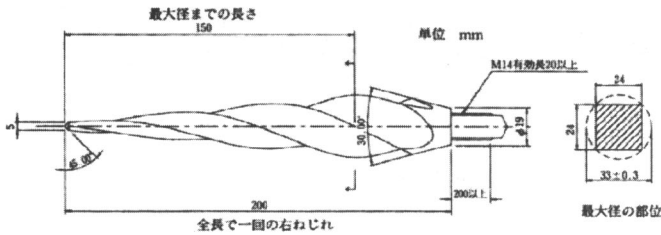
### 4. スウェーデン式サウンディング試験

スウェーデン式サウンディング試験（Swedish Weight Sounding, 以下SWS試験）は、スウェーデン国有鉄道が1917年頃に不良路盤の実態調査に採用し、その後スカンジナビア諸国で広く普及した。日本では、1954年頃建設省が堤防の地盤調査として導入したのが始まりで、1976年にはJIS規格に制定され、現在では主に戸建住宅向けの地盤調査として広く普及している。SWS試験の他にSS試験あるいはSSTと呼ばれることもある。

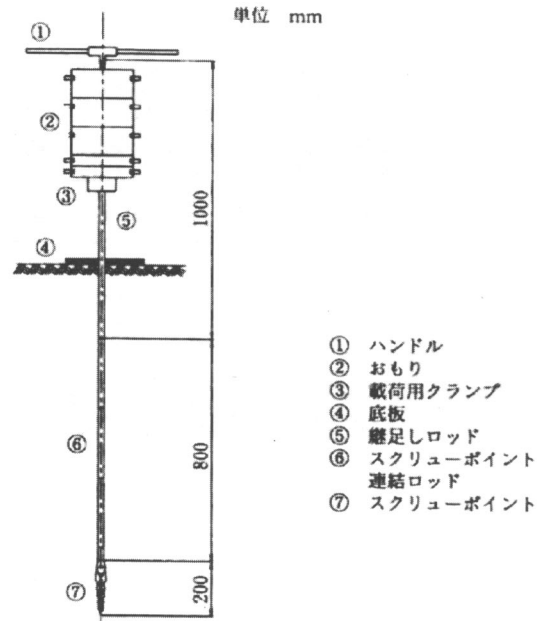
#### (1) 適用範囲と試験方法

適用範囲としては、深さ10m程度までの主に軟弱層が対象であり、密な砂質層、礫・玉石層や

固結層などには適用できない。試験の方法は、JIS A 1221 に規定されている。図 4 に示すように、ロッド (Φ19 mm) の先端にスクリーポイント (最大径 Φ33.3 mm) を取り付け、0.05, 0.15, 0.25, 0.50, 0.75, 1 kN の荷重  $W_{sw}$  を順次载荷した時の貫入量, および 1 kN で貫入が止まった後に原則 25 cm ごとに回転貫入させた時の半回転数  $N_a$  から貫入量 1 m 当たりの半回転数  $N_{sw}$  ( $\leq 150$ )



(a) スクリューポイント



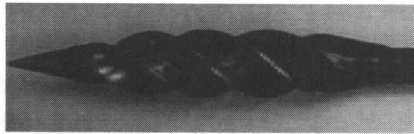
(b) 装置の概要

図 4 スウェーデン式サウンディング試験<sup>4)</sup>

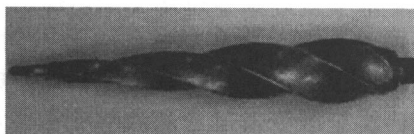
を測定する。 $W_{sw}$  と  $N_{sw}$  から地盤の強度定数や支持力を求めることができる。戸建て住宅では、1 宅地当たり 3~5 測点で試験を実施している。

なお、この試験方法は EN (欧州規格) で規格化

されているが、スクリーポイントの形状・寸法 (写真 1 参照) や  $N_{sw}$  の定義 (日本では 1 m 貫入のための半回転数であるが、EN では 20 cm 貫入のための半回転数) が異なるため、日本独特の試験法であるといえる。



ENV-1997 D=35mm



JAPAN (JIS) D=33mm

写真 1 スクリューポイントの形状比較

## (2) 試験装置

調査の精度向上や省力化を目的に、写真 2 に示すように、(a) 手動式のほかに (b) 半自動式および (c), (d) 全自動式の機械が開発されている。半自動式機械はロッドの回転を電動などの動力を用い、荷重については人力で载荷/除荷を行うが、全自動式はいずれも動力によって行い、さらにデータ記録も自動で行われるのが一般的である。

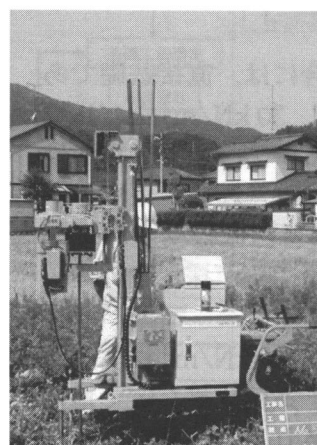
SWS 試験の短所の一つに土質試料のサンプリ



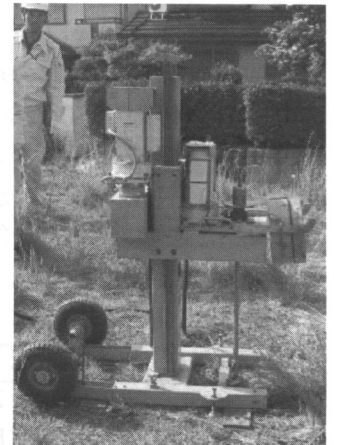
(a) 手動式



(b) 半自動式 (M 社)

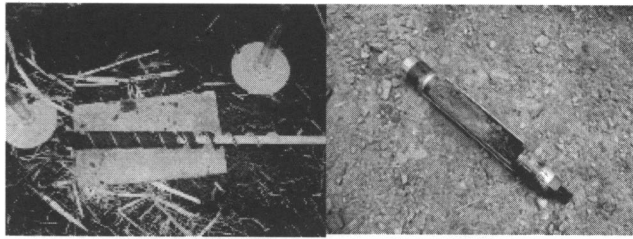


(c) 全自動式 (Y 社)



(d) 全自動式 (N 社)

写真 2 スウェーデン式サウンディング試験の装置



(a) オーガ式 (b) 開閉式

写真3 SWS試験に併用するサンプリング装置の例

ングができないことが挙げられるが、近年では、写真3に示すようなサンプリング装置が開発され、簡易な土質判定を行うために用いられている。

地下水位は、基礎設計を行なう際に重要な情報の一つである。SWS試験で地下水位を測定する方法として、写真4に示すように(a) ロッドに付着した水の状態で判断、(b) 試験孔に水位計を挿入して測定するなどの方法が現場で試行されているが、いずれも熟練を必要とし、地盤の状況によっては計測が困難な場合もある。これらの問題に着目し、測定精度の向上を目的に、試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法が研究されている<sup>6)</sup>。

### (3) 試験結果の利用

国交省告示第1113号では、 $N_{sw}$ と平板載荷試験結果の関係によって安全側に設定された次式で示す長期許容支持力 $q_a$  (kN/m<sup>2</sup>)を規定している。

$$q_a = 30 + 0.60 N_{sw} \quad (1)$$

小規模建築物基礎設計指針<sup>5)</sup>では $W_{sw}$  (kN)を考慮して次式を提案している。

$$q_a = 30 W_{sw} + 0.64 N_{sw} \quad (2)$$

また、SWS試験結果から沈下量を算定することを目的に、圧密定数である圧密降伏応力 $p_c$ 、体積圧縮係数 $m_v$ を推定する提案もされている<sup>7),8)</sup>。

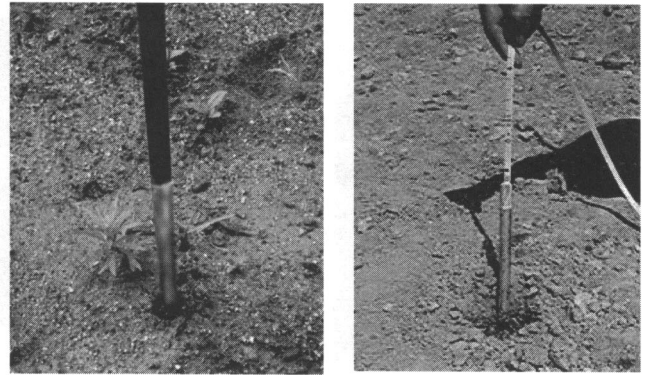
### (4) 試験の注意点

SWS試験は、戸建て住宅の地盤調査方法として普及しているが、次のような注意点を理解しておく必要がある。

#### ①測点によるバラツキ

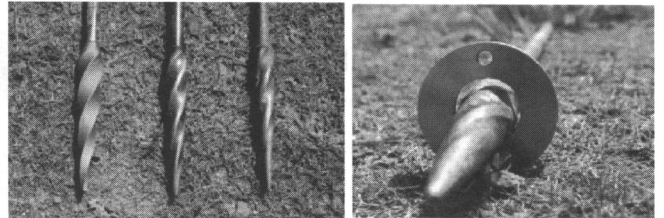
戸建て住宅では、通常3~5測点で試験を実施するが、これら測点毎の試験結果は、バラツキのあることが多く、安易に地盤の特性を平均化して設計することは危険であるので注意を要する。常に試験結果と現地の地形との整合性を考察することが重要である。局部的に軟弱層が存在する場合には、測点の追加や試掘調査が有効となる。

#### ②自沈



(a) ロッドの観察による方法 (b) 水位計による方法

写真4 SWS試験における地下水位の測定例



(a) 左から新品、磨耗中、磨耗大 (b) 検査ゲージ

写真5 スクリューポイントの磨耗

手動、半自動式では、測定中におもりの除荷、載荷を人力で繰り返さなければならないが、これを怠ると地盤の強さを過大評価することになる。例えば、1 kN自沈と記録されているが、実際には0.75、0.50 kNなどの自沈である場合があるので、手動、半自動式による試験結果を利用する場合には注意を要する。

#### ③硬い層

一般に硬い砂礫地盤や転石などが存在すると貫入不能となり、調査を終了することになるが、その下部地盤が軟弱な可能性があるので注意が必要である。最低1測点は、ロッドを打撃するなどして、硬い層を打ち抜くなどの工夫を行うことが望ましい。

#### ④腐植土層

腐植土層を調査した場合、スクリューポイントやロッドに腐植土が絡み付き、地盤の強度を過大に評価することがある。事前に、腐植土層の存在を地盤図や近隣ボーリングデータから推定しておくことやサンプリングによる土質確認が有効となる。

#### ⑤ロッドの周面摩擦

粘性土層を深く調査する場合には、ロッドの周面摩擦が大きくなり、地盤の強さを過大に評価する可能性が高くなることがある。このような場合には、地盤図や近隣ボーリングデータなども参考

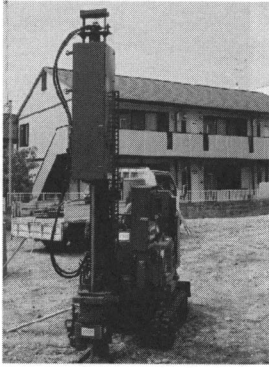


写真6 オートマチックラムサウンディング試験

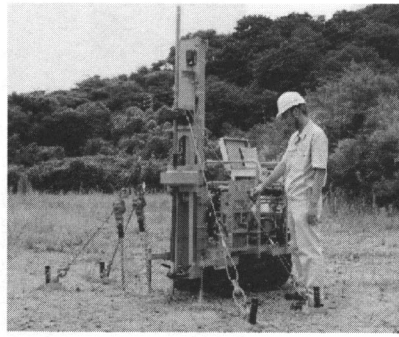


写真7 三成分コーン貫入試験  
(株)ワイビーエム社カタログより)



写真8 表面波探査

にして地盤を評価することが望ましい。

### ⑥ スクリューポイントの磨耗

JISでは、スクリューポイントの外径(33mm)について、3mm以上磨耗したものは使用をひかえるべきとの記述がある。スクリューポイントが磨耗すると、 $W_{sw}$ の値は小さく評価、 $N_{sw}$ の値は大きく評価される傾向となるので、試験実施前には必ずスクリューポイントの外径を検査する必要がある。

写真5に示すような鋼板製の検査ゲージを用いて、外径寸法を簡易に検査する方法もある。

### ⑦ 全自動式機械の校正

全自動式機械については、現場での始業前に所定の荷重が正常に作用しているかどうかの点検の他に、定期的に校正を行う必要がある。

## 5. SWS試験以外の調査方法

### 5.1 オートマチックラムサウンディング試験

SWS試験の短所の一つである貫入力不足を補う場合、たとえば杭の支持層を確認する場合などでは、写真6に示すオートマチックラムサウンディング(SRS)試験が有効である。SRS試験は標準貫入試験と同程度の貫入力を有し、さらに試験が迅速に実施できる利点がある。土質試料のサンプリングができないため、専用のサンプリング装置も開発されている<sup>9)</sup>。

### 5.2 三成分コーン貫入試験

写真7に示す三成分コーン貫入試験(CPT)は、海外で広く用いられているが、わが国では大規模な土木工事で用いられる程度である。コーン先端抵抗、周面摩擦力、間隙水圧の3つを電氣的に測定できるコーンを静的に貫入することで、地盤の

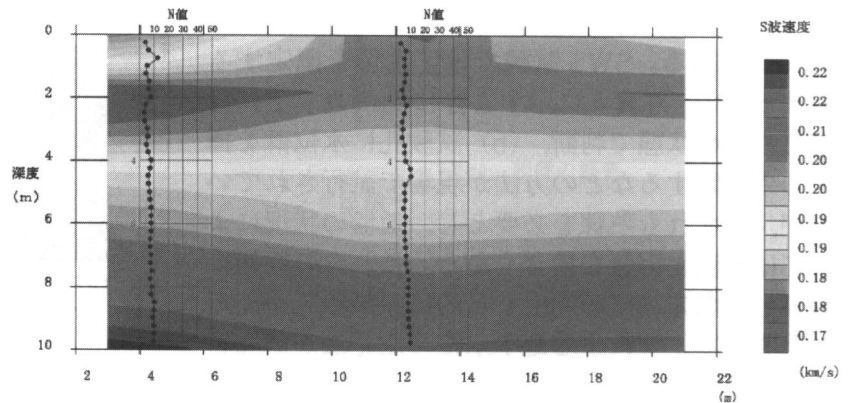


図5 表面波探査結果の例

支持力を評価するだけでなく、簡易な土質判別や液状化判定にも用いられる。文献<sup>10)</sup>では、戸建て住宅の地盤調査を目的として、従来のCPT機械が比較的大型なため狭小地での実施に不向きなこと、調査コストが高いこと、CPTによる地盤評価手法の確立がなされていないことなどの課題を解決するために、小型の装置の開発が報告されている。また、宅地の液状化判定に関する研究<sup>11)</sup>にも取り組まれており、今後精度の高い地盤調査が期待される。

### 5.3 表面波探査

地盤のS波速度は、物質の硬さなど工学的な目安となる剛性率に直接関係する値であり、N値との相関も良い。このことから地盤のS波速度構造を求めることは、地耐力の判定や支持層の推定に有益な情報となる。特に、写真8に示す表面波探査は、①地盤の2次元的なS波速度を簡単に求めることができる、②広い範囲を迅速かつ安価に調査できる、③測定・解析が簡単であることから、戸建て住宅の地盤調査への利用が研究されている<sup>12)</sup>。図5には、探査の結果を2次元的に可視化した例を示す。



## 6. おわりに

本稿では、戸建て住宅の地盤調査として、現在広く用いられているスウェーデン式サウンディング試験を中心に、最近注目されている調査方法について紹介した。

住宅業界の地盤調査に関する課題としては、①地盤情報データベースの構築と有効活用、②液状化に関する調査法および対策工法の開発、③宅地のマクロな視点（水害、地すべりなど）による調査および評価法の開発などが挙げられるが、これらは今後の産学官連携による研究開発に期待したい。

### 参考文献

- 1) 篠塚重夫：地盤・基礎に起因する戸建住宅の瑕疵，基礎工，Vol. 31, No. 11, pp. 12～14, 2003.
- 2) (財)住宅保証機構，第10回国際住宅建設・性能保証会議報告，2006.
- 3) 田村昌仁：住宅基礎の構造性能評価技術，(独)建築研究所，平成18年度春季発表会講習会テキスト，pp.

35～76, 2007.

- 4) 地盤工学会：第6編 サウンディング，地盤調査の方法と解説，pp. 243-332, 2004.
- 5) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，2008.
- 6) 金哲鎬，松下克也，岡野泰三，安達俊夫，藤井衛：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法，日本建築学会大会，2009.
- 7) 西田一彦，八尾眞太郎，平田茂良：小規模建築物の地盤調査と簡易地耐力評価法，土と基礎，pp. 23～28, Vol. 40, 1992.
- 8) 八尾眞太郎，平田茂良：基礎と上部構造のバランス，建築技術，pp. 114～117, 1999.
- 9) 平田茂良，山本明弘：宅地地盤の新たな地盤調査法，基礎工，Vol. 34, No. 10, pp. 68～71, 2006.
- 10) 高田徹，中村仁人：小型三成分コーン貫入試験機の開発と適用性について，技術e-フォーラム2006.
- 11) 高田徹，長坂光泰，真島正人，若命善雄，松下克也，藤井衛：三成分コーン貫入試験による宅盤調査事例（液状化判定），第43回地盤工学研究発表会，2008.
- 12) 藤井衛，林宏一，伊集院博：住宅地盤調査への表面波探査の適用，日本建築学会大会，2002.

## 法地質学—科学捜査からのニーズ—

ひら おか よし ひろ  
平 岡 義 博\*

## 1. はじめに

最近の事件報道で感じるのは、「犯人は誰か？」という関心の他に「証拠は何か？」についての関心が高くなっていることである。また「科捜研の女」のような科学捜査の現場に直接踏み込んだドラマがロングランを続けていることも世相の表れかと思うことがある。

科学捜査はモノを社会的に認められた科学的な方法（確立された分析技術—機器分析、公定法、DNA型解析キット—など学術的に広く認められた方法）で分析し、犯罪捜査や裁判へモノの情報を提供する作業である。

指紋やDNA型は、個人の識別に効果的であるため、テレビや映画で放映される刑事ドラマなどでもお馴染みの証拠物件であるが、実際にはこれらの試料に加え、工業製品から土砂・植物に至るまで現場に残された試料が地道に丹念に分析され、物証の解明が行われている。

本稿では、法地質学とは何か、法地質学の中の「土砂鑑定」の概略について、さらに地質調査会社の法地質分野への進出について所見を述べることにする。

## 2. 法地質学とは何か

「法」の字を冠する学術分野で最も古いのは、「法医学」である。大学の医学部に法医学教室があり、死体解剖や病理学的検査を行っている。最も古いのは明治21年設立の東京大学医学部裁判医学教室といわれている。医学を犯罪その他の係争事案に応用する意味で「法医学」と称したことに準じ、化学を犯罪捜査に応用する分野を「法化学」、工学については「法工学」の名称が生まれた。

「法地質学」も地質学を犯罪や係争事案に応用

する学術分野と理解される。さらに広い意味では各種の法××学をまとめ「法科学 (Forensic science)」とよんでいるが、法医学の歴史的先行性などから法医学に限って法科学の中（または下）に入れないとする立場が取られている。

地質学が犯罪捜査に使用され出したのはいつからか？ということになると、いくつかの歴史書や古文書を調査しなければならないが、私が知っている限りでは『1883年5月2日、イギリス近郊で発生したある事件で、シャーロック・ホームズが探偵依頼人の靴に付着した白亜土がロンドン南西部のホーシャム地方のものではないかと推定したこと』が最初ではないかと思われる。とはいえ、これは物語の中の話であるので鑑定の実施例とはならないが、作者であるコナン・ドイルの頭脳の中には地質学の情報とこれを捜査に活用するヒントがあったことは確かである。

現在、法地質学の知識・技術は犯罪捜査に不可欠であるばかりでなく、社会の様々な係争事案の解決と公正のため需要が高まっている。法令体系に基づき係争は民事事案と刑事事案に分類され、次のようなケースで法地質学が貢献している。

## 【民事事案】

権利意識が旺盛なアメリカでは、社会生活における様々なトラブルや損害賠償に係る民事裁判が多く、判決の根拠または参考となる法地質学 (Forensic Geology, または Geo-forensics) 情報の提供を担う民間の調査会社が多く設立されている。これらの会社では次のような調査を行い情報の提供を行っている。

- 有害物質で汚染された土壌や地下水に曝露された労働者の健康被害訴訟に対する法地質的根拠
- 地下坑道などにおける爆発事故の原因究明
- 灌漑用水の管理に係る訴訟の和解に向けた適正評価

\* 京都府警察本部刑事部 科学捜査研究所調査官

係争の形態		事 例
民法における係争	民事裁判	地下水汚染、土壌汚染、地盤沈下、土砂崩れなど
刑法に抵触する犯罪	刑事裁判	殺人、強盗、道交法、採石法、業務上過失など

- 所有地の崩壊に係る損害賠償で申告された範囲の適正評価
- 天然資源の価値の適正評価
- 産業廃棄物に汚染された土地所有者に対する専門知識の提供
- ガソリンによる地下水汚染の排出源となるガソリンスタンドの特定
- 公判における証拠試料のための土砂や水試料の収集

我が国においても、安心・安全な生活環境への関心が高まり、食品や飲料水、地下水の安全性への不安、所有地の地盤や土壌汚染への心配など法地質分野からのサポートに応える会社が設立されるようになってきている。

#### 【刑事事案】

刑事事件では土砂や岩石の「異同識別（AとBが同じか否かを判定する比較検査）」鑑定によって現場と被疑者の関わりや現場と被害者の関わりなどを立証するために地質学や地球化学の知識・技術が必要となる。自然に存在する岩石や土砂が同じという証明は、100%証明できるものではないので、できるだけ多くの検査データを評価して「同じ系統の土砂」といった表現がとられる場合が多い。また土砂・岩石の供給地の推定では、あらかじめ比較すべき多くの対照データを収集し、その分布情報（地球化学図など）などを準備しておくことが必要である。いずれにしても異同識別鑑定や供給地推定は、地域地質や土砂・岩石に関する分析情報があってこそできる作業なのである。事件への適用例としては、次のようなものがある。

- 殺人事件で使用された車両に付着する土砂や被害者の所持品に付着していた土砂と発見現場の土砂の異同識別鑑定、または供給元の推定
- 無許可で採石・販売され流通した砂や砂利が採石現場のものと同じかどうかの判定
- 豪雨により列車の線路の盛土が流出し脱線した事故で、盛土流出の地質学的原因調査
- ダンプに積載された岩石が落下したことによる交通事故で、その岩石種の特特定と分布地域の推定

### 3. 土砂の鑑定

警察ではモノを分析して物質名を特定したり、

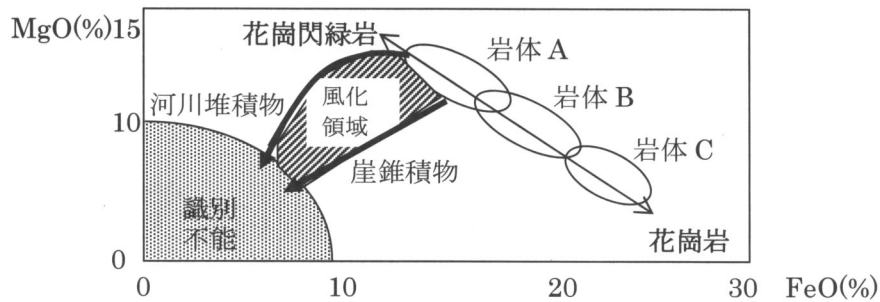
その濃度を測定したり、異同識別を行ったりすることを「鑑定」という。鑑定する方法は各種学会で認められた方法を用い、いくつかの科学的な分析法を組み合わせることで各種検査の結果を評価し、判定する方法が取られている。そのような意味で手相の「鑑定」や人生「鑑定」とは全く異なるものである。

土砂の鑑定には種々のアプローチがあり、検査試料の量や土砂が存在した環境の特徴などによっていくつかの検査を組み合わせる鑑定が行われる。当研究所では通常、土色検査、土壌鉍物検査、特異鉍物の化学分析、全土砂試料の化学分析などを行い、試料量が比較的多い場合は粒度分析を追加し、微量の場合は特殊鉍物（黒雲母など）の化学分析を中心に検査を行っている。これ以外にも粘土鉍物、植物ケイ酸体、ケイソウ、土壌有機物、植物片、人工物片さらに微生物など様々なモノからのアプローチ法があり、土砂鑑定への応用や研究が行われている。

私がこの業務に着任した1977年頃は、土砂鑑別といえば土砂の色の検査、粒度分析、土壌鉍物分析が主な手法であり、これにX線回折装置を用いた粘土鉍物の分析法が研究されていた。いずれも土砂分析の基礎的な方法であるが、これらの結果が同じであれば同じ土砂といえるか？またこれらの方法で供給地がわかるのか？といった疑問があった。私は化学系の出身であるので鉍物の判別は特に難解なものであり、もっと誰でも差異がわかる方法はないものかと悩んでいた。

そこで解決策を明快にご教示いただいたのが当時奈良教育大学の三辻教授であった。三辻教授は蛍光X線分析法を用いて古代土器の供給源推定を行う方法を確立され、今も考古試料のご研究で活躍されている方であるが、ご教示いただいた蛍光X線分析法で多数の試料を分析してデータベースを作り、多変量解析法（当時としては先進的と感じ入った）を用いて土砂試料の化学成分からの地域検索システムを構築した。

しかし、実際の犯罪現場に残される土砂は微量であり、当時の蛍光X線分析（粉末法）には1グラム程度の量が最低必要だったことから、応用できる事件は限られたものであった。そこで微量の土砂試料でも地域差を示すものはないかを検討し



た。その結果行き着いたのは黒雲母であった。黒雲母は花崗岩質岩石の分類に用いられていたが、風化産物である土砂中の黒雲母（風化黒雲母：緑泥石化したものも含む）の分析はほとんどされておらず、元の花崗岩質岩石との比較により研究を進めたところ、鉄とマグネシウムの比が黒雲母の識別に最適であることがわかり、上の図で土砂中の風化黒雲母もおおむね元の岩体に関連つけて識別できることがわかった。

まず A, B, C の 3 種の花崗岩質岩石の岩体があるとき、この黒雲母を分析すると花崗閃緑岩質のものから花崗岩質のものにかけて右下がりの直線上にプロットされ、それぞれの岩体が識別できる。その場所の崖錐堆積物中の黒雲母は化学的風化により鉄、マグネシウムの含有量の減少が生じるが、その比は維持されたままである。しかし河川堆積物中では風化初期には鉄の溶脱が著しく、風化後期にはマグネシウムの溶脱が顕著である傾向があるため曲線を描いて風化する。この直線と曲線に囲まれた領域にある黒雲母は岩体 A に由来するものと考えられる。ただし、鉄とマグネシウムがともに 10% を割り込むと元の花崗岩質岩石に関連づけることは難しくなる。

このような方法で微量の土砂でも黒雲母があれば地域に関する情報を得ることができるが、これも花崗岩質岩石が分布する地域に限定されるため万能ではない。玄武岩や火山灰が多い地域や堆積岩が多い地域の土砂では、識別可能な鉱物をさらに検討する必要がある。

犯罪は山間部だけで発生するわけではない。むしろ市街地で多発し、そのような事件の土砂にはどう対応するのか。まず市街地の土砂に差異があるのかどうか。環境問題としての道路粉じん（粒径 74 μm 以下）の分析は報告されていたが、道路粉じんの地域差については地質学的関心の対象外のように思われた。舗装道路の端の掃き溜めのような土砂を「道路堆積物」と位置づけ、京都市内の道路の土砂を採取し分析した。繁華街や駅のホームでも採取した。通行人から変な目で見られな

がら。全国の科捜研の友人にお願いして各都市の道路堆積物を採取してもらった。

その結果、興味深いことがわかった。埃のような汚れた土砂にもその街の特徴が見られたのである。試料の蛍光 X 線分析で少なくとも西日本と東日本、中日本、沖縄の区別は可能であった。さらに、銅、亜鉛などの重金属成分により繁華街か住宅街の道路かが識別できる。また特徴的な鉱物や人工物の分析によりさらに詳細な周辺環境の推定が可能である。

以上ご紹介した研究には 20 余年の歳月が必要であった。それ以上に、ご指導いただいた多くの先生方の力添えは大きく、心より感謝しているところである。そして堆積物中の黒雲母を用いた供給地推定法を、扇状地などの河川堆積物の供給源推定に使っていただいていることは、法地質学は科学捜査だけのものではないという地質学の広さに思いを深くした次第である。

#### 4. 地質調査業界への期待

2009 年 5 月から司法制度改革の一環として裁判員裁判制度が始まった。マスコミでご存知のとおり一般市民が裁判員として参画する裁判であり、裁判員裁判ではわかりやすく迅速な裁判が期待されている。訴追側の警察・検察では取り調べの適正化に加え科学捜査の強化に力が入られている。これまでも証拠による裁判が行われてきたが、モノによる証拠は客観的で一般にわかりやすいことや科学技術の進歩により科学捜査が飛躍的に発展していることをみれば、警察の捜査が科学捜査に比重を増す傾向が強まることは当然の成り行きといえる。

このような期待を集める科学捜査研究所（科捜研）は、各都道府県警察本部に 1ヶ所設置されており、法医学・化学・物理学（工学）、心理学と文書鑑定の各科の技術系職員（大卒以上、学位取得者を含む）が鑑定業務にあたっている。土砂・岩石関係の法地質学は化学科の業務に含まれるが、各府県どこでも担当者があるわけではない。それ

は、都道府県の科捜研には地学系からの出身者がほとんどいないこと、法地質学を用いる鑑定が他の鑑定に比較して少ないことがあげられる。前述したように土砂や岩石が問題となる事例は特異な事件か大きな事件の場合であり、鑑定依頼の頻度は少ないが依頼があるときは科捜研ではできないような難しい鑑定となることがしばしばである。

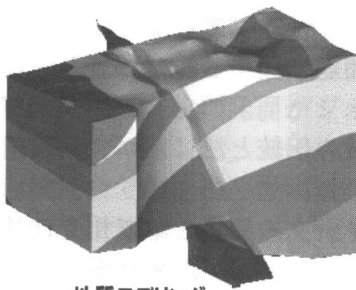
当研究所でも、岩石薄片の作成や造岩鉱物の検査ができないため市内の地学関係の研究所へ依頼したり、業務上過失事案などの現地地質調査では大学の専門の先生方に鑑定をお願いしたりしている。社会的反響の大きな事件に関する土砂・岩石などの地質学的物的証拠の鑑定や、土砂災害や交通事故車両事故などの科学的な解明は、昨今の捜査・裁判情勢の変化に伴いますますそのニーズが高まるものと予想されるが、その警察内部の受け皿は未熟であることから、民間の地学研究所や地質調

査会社など専門技術集団のお力を頼らなければならない場面が増加するものと思われる。

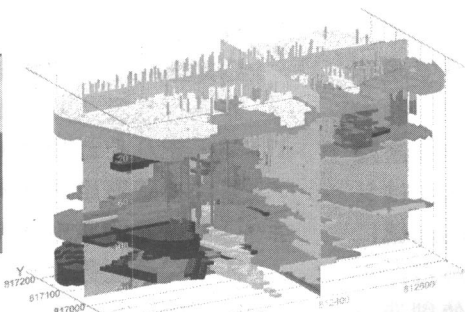
また、民事事案の項で述べたように、国民は安心・安全な生活環境を求めており、食品や飲料水、地下水の安全性、所有地の地盤や土壌の安全性に多大な関心を寄せ、損害や事故が発生した場合は損害賠償などの措置や、原因の評価・判断を求めるなどのサポートを必要としていると考えられる。先にものべたように裁判員裁判のような市民参加型の裁判が定着しつつあり、多く弁護士が活動する社会がすでに始まっている現在、アメリカナイズされた司法環境の到来が強く予想される。このような社会にあつて、刑事・民事を問わずあらゆる係争について、客観的な地質学的専門情報の提供や調査を地質調査会社に求められる機会が増えるものと思われる。

# 3次元可視化技術

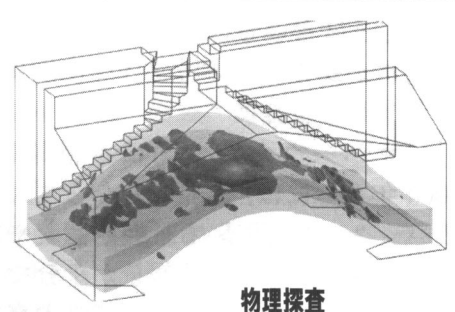
MVS(Mining Visualization System)  
EVS(Environmental Visualization System)



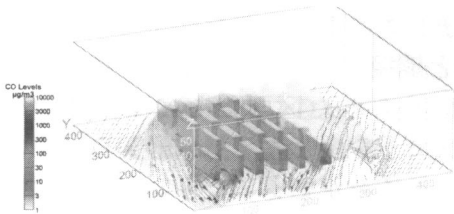
地質モデリング



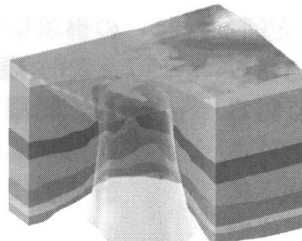
土壌・地下水汚染対策



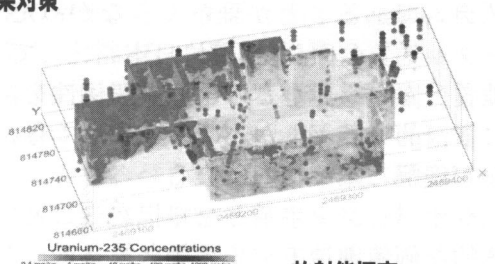
物理探査



大気汚染・騒音対策



資源開発



放射能探査

有限会社 太田ジオリサーチ

<http://www.ohita-geo.co.jp/>

TEL 078-907-3120(担当:林)

無料3次元可視化モデル自動作成配信サービスはWEBから

<http://www.あんしん宅地.jp/>  
あんしん宅地. JP

# ジオパークと地質調査業の関係性 —ジオツーリズムについて—

ながの まさのぶ\*  
永野 正展\*

## 1. はじめに

後世の地質調査業関係者は「2000年頃を境にして業界の変革が始まった」と、業界歴史の位置付けをするのではないかと推測する。わが国での地質調査業の隆盛期は戦後における国土復興期が第一期であって、国土の基盤整備に伴う道路や建築、そして自然災害分野での地質情報提供を目的とした活動であった。約半世紀にわたって業界は著しい発展を遂げた。しかし、21世紀を迎える頃には人口増大に伴う社会・経済の発展期から少子高齢化社会への移行が始まり、国土基盤整備や経済発展のための投資などのあり方が大きく変革への道を取り始めた。現在は地質調査業の第二期に入ったといえるが、業界は社会的ニーズに対する業界自体が有しているシーズの活用方法が明確に解っているとは言い難い段階である。その一例としてジオパークと地質調査業の関係性について述べる。

ジオパークがわが国に本格的に入ってきた2004年ごろには、業界のみならず大方の人々はジオパークの有している社会的意義や経済的価値について理解するには情報量が十分でなかった。また、業界にとって非常に可能性の高い価値創造システムであることが理解できなかった。「ジオパーク＝地質公園」と単純に日本語化してしまえば、地質公園と業界がどのような関係性を持ち、さらに経済的メリットがどのような形で存在しているかが理解し難い状態になる。

ジオパークを事業として捉えることにより、具体的な価値創造モデルに置き換えることが可能である。本論では、ジオパーク活動の中で経済活動として位置付けされている「ジオツーリズム」に

焦点を当てて、地質調査業との関係性を明らかにする。

## 2. ジオパークの意味するところ

世界ジオパークネットワーク（以下 GGN と記す）ではジオパークの説明を次のようにしている（参考：日本ジオパーク委員会・JGN）。

- ・地域の地史や地質現象がよくわかる地質遺産を多数含むだけでなく、考古学的・生態学的もしくは文化的な価値のあるサイトも含む、明瞭に境界を定められた地域である。公的機関・地域社会ならびに民間団体によるしっかりした運営組織と運営・財政計画を持つ。
- ・ジオツーリズムなどを通じて、地域の持続可能な社会・経済発展を育成する。博物館、自然観察路、ガイド付きツアーなどにより、地球科学や環境問題に関する教育・普及活動を行う。
- ・それぞれの地域の伝統と法に基づき地質遺産を確実に保護する。
- ・世界的ネットワークの一員として相互に情報交換を行い、会議に参加し、ネットワークを積極的に活性化させる。

GGN ではジオパークのガイドラインとして以下の事項を規定している。

### 2.1 規模と環境

- ・明確に定められた区画とその面積が十分あり、観光などを主とする地域経済や文化の発展に役立つことができること。ただし面積については規模の制約はされていない。
- ・世界的に重要と思われる地質遺産が数多くあること。
- ・科学的に特に重要と評価される対象や非常に珍しい、あるいは美しい露頭などが域内に点在し、地域の地史や地質現象がわかりやすく

\* 高知工科大学地域連携機構特任教授（地域活性化研究室長）

見る（聞く）ことが可能であること。

「ジオパーク」は、保護、教育、持続的発展という相対的な地質や地形、植物、など包括した地域や空間である。このことは単に地質学的な重要サイトがあるということだけではジオパークとして見なされない。言い換えればジオ（大地）の上に育まれた生態系との関わりや地域の歴史・文化・伝統などとの関わりを示す（物語る）ことが重要である。

## 2.2 運営及び地域との関わり

ジオパークとして認証されるには、しっかりした運営組織と運営計画を有しており、それらが確実に実行されていることが大変重要な条件とされている。また、域内は法律や規則で管理・保護されていることも重要な要件である。

ジオパークの運営は適切な施設と優秀な人材、十分な財政的裏付けがあることも要件に入っている。また、運営形態での規定はないが、特定の自治体あるいは複数の自治体が協同してその運営に当たるケースや、NPO、NGO、第3セクター、あるいは株式会社などが運営することもできる。

ジオパークの組織は公的機関、地域社会、団体や研究教育機関などから構成され、その企画運営や地域の経済・文化の発展計画の策定や具体的活動に参画していることが重要である。言い換えればその地域のさまざまなグループ間の連携と具体的活動につなげていることが重要である。

ジオパークの設立は長期的視野に立った地域基本計画に基づくさまざまな具体的計画がなされ、実行されていることが条件になっている。地域の持続的経済・文化の発展がジオパーク設立の基本である。

地域社会での連携・参画活動がジオパークの基本であり、地域の自然・文化や伝統をベースにした新しい地域産業を興すことも重要な役割である。

## 2.3 経済開発

ジオパークでは経済活動の活性化と持続可能な開発を主要な戦略目標の一つに掲げている。ジオパークの使命はユネスコの支援の下に文化的、環境的に持続可能な社会経済開発を育成することである。これにより、人々の生活水準や農山村などの環境向上させることが掲げられている。また、これらの活動により地域文化の復興が進み、地質遺産の保護に役立つという流れになる。

ジオツーリズムは経済開発の一例であり、新たな観光スタイル（システム）として地域経済の発展に寄与することが目的であり、当然、営利を目

的としたものである。

## 2.4 教育

ジオパークは博物館、自然観察教育センター、自然散策路、ガイド付きツアー、冊子、地図、ITツールなどによって地球科学の知識や環境について情報を発信したり、活動の手助けを準備することを責務としている。また、ジオパークを介して自然科学研究や大学との協力、地球科学研究者と地域住民の協力を促進させる。

ジオパークでは教育に関するさまざまなプログラムを必要としている。生徒や先生を対象としたプログラムや、ガイドの養成のためのプログラムなどがある。地域住民を対象とするプログラムも必要であり、これらの教育活動はすべて環境・保護全般に関する倫理規定に則している必要がある。

## 2.5 保全（保護）

ジオパークを担当する自治体などは、その地域の伝統と法規制に基づいてジオパーク内の地質遺産などを確実に保護しなければならない。域内のサイトや地質学的な露頭の保護をどの程度のレベルでどのように行うかは国家や自治体の決定するところである。

ジオパーク運営機関は関連する公的機関と協議しながら適切な保護対策と実効的な保存に努めなければならない。

## 2.6 世界的ネットワーク

GGNは専門家や担当者お互いの協力と情報交換の場を提供し、ユネスコの保護の下で世界的なネットワークを通じて協力することにより、ジオパークの知識や技術、経験、職員を交換する機能を有している。

## 3. ジオパークから生まれる価値

GGNではジオパークとして認定を受ける場合に、該当する地域としての基本条件や活動実績について現状のポテンシャルを評価するために自己評価表を作成している。（写真4.1）

自己評価表に記載されている事項を事業としての視点で熟読すれば、ジオパーク活動が有しているジオパークのあるべき姿だけでなく、活動に対する組織や運営内容、事業から生まれる社会的価値や経済的価値などの全容が見えてくる。

ジオパークでは経済的活動を行うことにより、地域の持続的発展を目指すことの重要性と、その過程で生じる利益を源泉として地質遺産や文化遺産などの保護・保全活動に寄与することを約束させている。同じユネスコ活動として世界遺産では

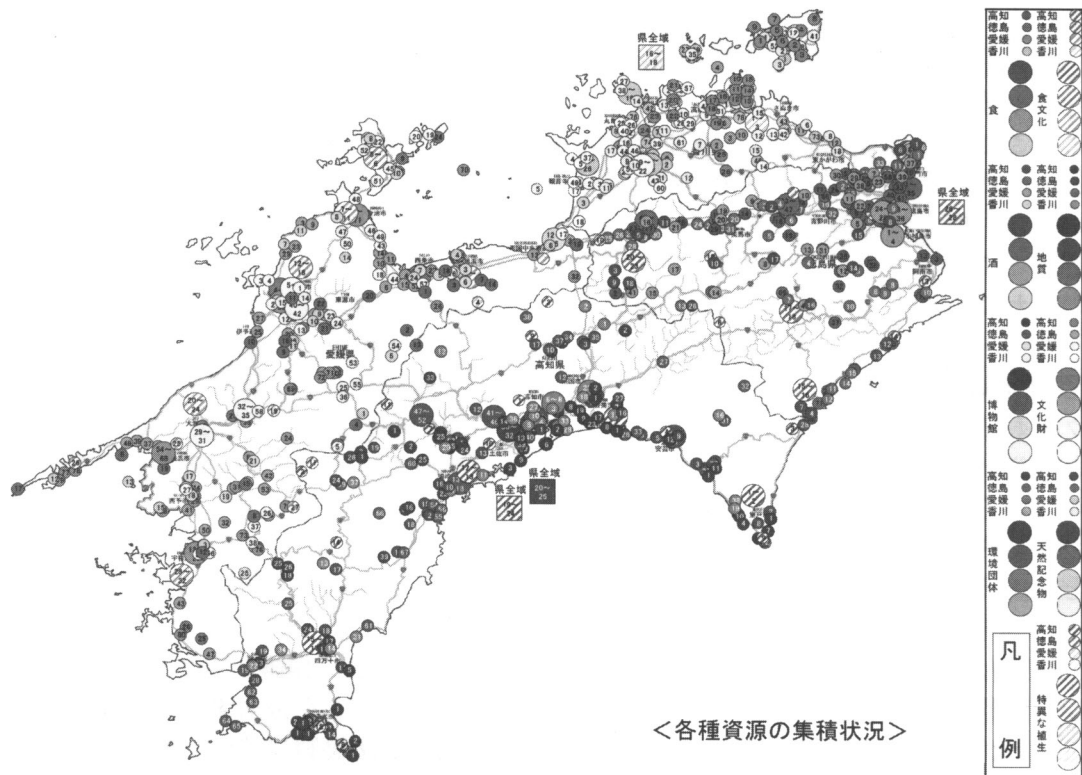


図 4.1 四国地域におけるジオツーリズム・各種資源集積状況  
 出典：平成 19 年度国土施策創発調査「四国圏域の総合交通ネットワーク及び地域資源を活用した地域振興策に関する調査報告書」

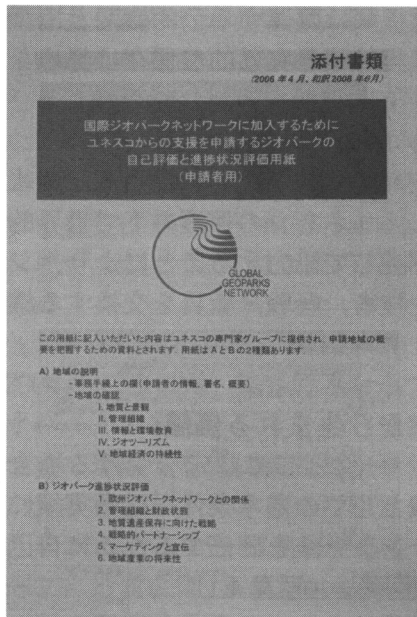


写真 4.1 ジオパークの自己評価用紙 (表紙)

対象の保護・保全を目的としているが、ジオパークは世界遺産の経済版と呼ばれている所以がそこにある。

わが国では 2009 年 8 月に北海道・洞爺湖有珠山ジオパーク、新潟県・糸魚川ジオパーク、長崎県・島原半島ジオパークが GGN の認定を受けた。また日本ジオパーク委員会 (JGC) はアポイ岳、南アルプス中央構造線エリア、恐竜渓谷ふくい勝

山、山陰海岸、隠岐、室戸、天草御所浦、阿蘇の 8 箇所を日本ジオパークとして認定している。

ジオパークとしての活動期間が短いためか、各ジオパークでの活動による具体的な経済的価値創造についての事例は報告されていない。筆者が考える価値創造は次に示す事項である。

### 3.1 直接的価値創造

交流人口増大による経済効果として、観光事業での飲食・宿泊・土産物などの売上げやガイド事業から得られる料金収入、博物館等の入館料、域内交通に係る売上げ、ジオパークグッズ売上げなどとともに地域を世界に情報発信可能な機会を得ることができる。

### 3.2 間接的価値創造

ジオ学習による地域に対する想いや地元学習による地域愛の高まり、ジオパーク推進に伴う地域産業の活性化、訪問者や情報受発信から生まれる情動的価値、ジオパーク整備に伴うインフラ整備の向上、外国語使用機会の増大による語学の向上、ジオパーク推進手法の会得による各種プロジェクトの成功確立の向上などが挙げられる。

## 4. ジオツーリズムについて

ジオツーリズムの概念は、すでにわが国に一般化しつつあるエコツーリズムやグリーンツーリス



ム、アグリツーリズムなどジオの上に成り立つすべてのツーリズムを包含していると考えてよい。

わが国では自然や文化、環境を背景にしたツーリズムの普及はヨーロッパなどに比べると、まだまだ一般化されているとは言い難い状態であるが、従来のパック旅行や団体旅行の流れは大きく変わり始めている。個人の欲する目的型観光のウエイトが次第に大きくなっており、その背景には情報手段の発達があり、中でもインターネットの普及によって瞬時に思うがままの情報が手に入ることに起因している。

ジオパークによるジオツーリズムの素材は、特異な地質関連のサイトだけではなく、次図に示すように多様な対象を有している。

上図における地質資源数は94箇所、文化財等の資源数は202箇所あり、他にも希少植物・や特異な植生や博物館・資料館などのジオツーリズムにおけるサイトとして活用可能なポイント数は851箇所にも及ぶ。これらのジオパークを構成する資源を有効に活用するマネジメントが必要である。

対象となる顧客は日本人ばかりでなく、中国やヨーロッパなどのジオパークでネットワークされている国々の人々を考慮した戦略的シナリオが必要である。料理に例えれば851の素材をどのように調理して顧客の満足を獲得するかであり、日本料理だけでなく中華やイタリアン、フレンチなどのメニューを構成する必要がある。また、折角美味しい料理があってもメニューの内容や特徴を紹介する言語を備えていなければならない。

## 5. ジオガイド（ジオインタープリター）

ジオパーク活動の中で、成否を決定づけると言っても過言でない大きなポイントがジオガイドの存在である。

壮大な風景や美しい自然美に出会ったときには、個人差はあるとしても多くの人々は感動する。しかし、科学的に非常に価値のある断層や地質構造が目の前に露頭として見えていても多くの人々は気付かずに通り過ぎてしまうであろう。露頭の前に科学的意味合いやその地での伝説や物語を書いた看板が立っていた場合には、人々の関心は看板が無い場合に比べて高くなることは明らかである。さらに、露頭の傍の看板の前で書かれている文言以上の内容を、その地の言葉で丁寧に分かりやすく、興味を持たせる口調や態度で説明を受けた場合には、看板だけの場合に比べて関心度はさらに高まる。



図 5.1 中国・自貢ジオパーク（恐竜博物館）のガイド

我々日本人が海外の景勝地や文化的建造物などを訪れたとき、また自分たちの住んでいる同様の場所に海外から来た人に対して、前記のことを当てはめてみれば情報提供の重要性が非常によく理解できる。

日本各地のジオパークでも、土地の人からその地の事柄に興味をわくような口調としぐさを交えて聞いたり、科学的な説明を分かりやすく説明を受けなければ、価値として心や頭脳に残らない。その土地の人から理解できない外国語、あるいは難解な科学用語をたくさん用いられて解説を受けた場合も同じである。

図 5.1 に示す写真は中国・自貢ジオパークの恐竜博物館でガイド（Interpreter）をされている方々を紹介したパネルが博物館の入り口に紹介されている。

幾つかのジオパークを訪問したが、このジオパークでは事業としてガイドに対する戦略性を感じた。写真のように北京語と英語と日本語でサービスを受けることができることを一瞬で分かるようにしてあった。一定空間である博物館内での案内は館内を説明して回る時間設定もほぼ予定が立てられること、フィールドではないので服装もそれなりに合することができる。

中国の他のジオパークではガイド料の設定は40～50元程度が一般的だが、ここでは150～180元というかなり高額な料金設定がされている。

$150 \text{ 元} \times 13.5 \text{ (為替レート)} \times \text{物価水準} = \text{約} 20,000 \text{ 円/時間}$ となる料金設定であった。

我が国では一般的にガイド料金についてあまり検討がされていないように考える。海外からの顧客に対しては、旅行会社などが料金やルール設定をしているが、地方の観光地やなどでは地元の方や店の方がサービスとして簡単な案内をしてくれることはある。しかし料金表などを見ることはな

表 5.1 ガイドの領域とレベル

領域 \ レベル	初級レベル	中級レベル	上級レベル
地質学の知識			
地域の知識			
動植物の知識			
地域文化の知識			
説明力			

い。地方自治体などでは観光用のガイド養成を行っているところもあるが、ほとんどがボランティアとしての身分でプログラムされている。

日本の社会では知的価値に対する報酬設定が非常に曖昧なところがあり、見えないものや計量できにくいことに対する価値付けが公的機関ではほとんど存在していない。医師や弁護士などは初診料や相談料として料金設定ができていますが、知的価値を提供する行為に対する社会システムが未整備の状態と言える。

欧米などでテクニカル・ビジットとして、会社や研究所などで一定レベルの方に説明を受ける場合は、ドクター・教授レベルの方であれば120分で500ユーロ程度が一般的な料金であり、さらに通訳が付けば100ユーロ/時間程度が加算される。

国際的なコンサルタントの時間当たりの積算基準は100ドル以上が一般的な単価であり、内容によっては数倍の金額が必要な場合もある。これらのことを考慮して、日本で本格的なジオガイドとして成立することを考えた領域とレベルのイメージを次表に示す。

## 6. ジオパークと地質調査業の関係性

地質調査業界に属する方々に対する「ジオパーク」のインフォメーションは少なくとも2004年以降から情報発信はなされていたことは事実である。しかし、地質調査業の延長線上にジオパーク活動が事業として結びつく意識して取り組んでいる人々は少数であると推測する。半世紀以上の時間の中で、一定のメニューとして国家や地方自治体、あるいは民間事業者から発注されるというスキームが固まったままの状態を打破するには、大きな外圧を受けるか、先駆的な視点で現状と将来を思考して自らその解を見つけ出して行くかのどちらかである。現状の業界には上記の二つが課題として同時に提供された状況である。

ジオパーク活動の起こりの逸話を故大矢暁氏(元全地連技術委員長)からお聞きした。80年代

後半の頃にヨーロッパの大学では、自然科学分野の先生方が学生の就職先が減少していることに対して、何らかの手を打たなければ学部や学科存亡の危機となる、との考えから学生の働き場を創造する一つ的手段としてジオパーク創設に取り組んだ。10年足らずの時間経過の中で、2004年には世界ジオパークが誕生した。

わが国の地質調査業の現状はまさに前述の大学と置き換えることができる。外圧と自らの変革から進むべき方向性を決めなければならない時である。ジオパークと業界の関係性については、本論の中で幾つかの事例の中から見えるようにした。

GGNに加入するプロセスで示している自己評価表とガイドラインを主体的な視点で読み込めば、全国各地の地域特性や社会特性に応じたビジネスモデルの構築が可能である。

## 7. あとがき

地質業界のこれからを方向付けていくには、従来の延長線上に視点を固定せず、より広範な思考と取り組みが必要である。地質調査は自然科学分野の領域にあり、視点を過去の歴史の中に向けた場合に、その解の幾つかがあると考えられる。

工業化社会に入る以前には、自然科学分野の専門家は一国あるいは地域政策の重要なポジションを得ていた。インフラ整備や自然防災、地域経営での参謀役であり、時として戦のときは軍師として活躍をしていた。近代工業化社会の中ではその役割の重要性が薄れているように見えるが、現在であっても国家や地域の政策構築の中には自然科学の知見が必要な存在であることを、再認識しなければならない。単純に言えば地域や国家構想構築の最上流部でその力を発揮するポジションを取り戻すことが、地域や国家の安全や安心の確保に繋がる。目前のキーワードはジオと環境を基盤とした活動の場を想像するところに新しい道が開ける。ジオパーク活動の中にも環境のキーワードは大きなウエイトで置かれている。

# 医療地質研究の最前線

こまい たけし はら じゅんこ ちょう めい  
 駒井 武\*・原 淳子\*\*・張 銘\*\*\*

## 1. はじめに

近年、土壌・地下水汚染からの重金属の曝露や大気中の有害粉じんの摂取に見られるように、自然由来の金属元素や有害物質に起因する健康影響が問題となっている。自然現象としてよく知られている現象は、噴火による環境汚染物質の広域的な拡散、温泉水に含まれるヒ素などの有害元素に関わる健康問題である。このような地質と健康の関わりについては、これまで定量的な議論がなされてこなかったが、最近になって欧州を中心に系統的な研究が開始され、医療地質の学術体系として確立しつつある。わが国では、地質学の一分野である環境地質学の中で、自然由来の物質について人や動植物への影響の検討が実施されてきたが、健康リスクの観点からの総合的な研究は少ない。

本稿では、新たな学術体系としての医療地質研究の意義や社会的な貢献を中心に、これまで筆者らが取り組んできた研究の成果を紹介する。特に、わが国の表層土壌や地下水における自然的原因による重金属類の濃集およびその地域的な分布、地圏環境情報を活用した健康リスクの評価や環境疫学的な解析結果について論じる。

分野から、地震や火山などの自然災害の環境・健康影響を評価するジオハザード研究、法医学と地質の関連を検討する法地質学など、きわめて広範囲にわたる。共通する課題は、地質的な各種要因と健康・安全問題に深く関わるリスクの評価および管理に必要な学際的な研究である。自然的な原因の解明だけでなく、健康影響の評価やリスクの回避・軽減の方策を確立するため、多様な学術分野（地質学、地球化学、環境科学、生物学、毒性学）の知見を結集し、複雑かつ広範な地球規模の課題に応えることが肝要である。そのもっとも重要となるのは、科学的な地質の調査および各種地質情報の統計的な解析であることは言うまでもない。すなわち、地質学と健康科学を中心とする異分野の多様な学術のインテグレーションが、社会的にも強く求められている。

医療と地質に関わる研究の流れおよび各要素の関わりを図1に示す。地球化学的な手法に基づく地質の調査および地圏科学情報の解析をスタートラインとして、各種の環境要因の把握とその定量的な評価、人の健康に及ぼす影響に関わるリスクの評価、さらには健康リスクの回避や軽減に関わる技術的な知見の検討に至るまで、広範な自然科

## 2. 医療地質学の意義と特徴

医療地質とは、自然界の地質学的要因と人・動物の健康との関連を取り扱う科学のことであり、自然由来の物質に関して健康に与える地理的な分布の影響を理解するための科学である<sup>1)</sup>。その範囲は、環境と地質の関わりを議論する地質汚染の

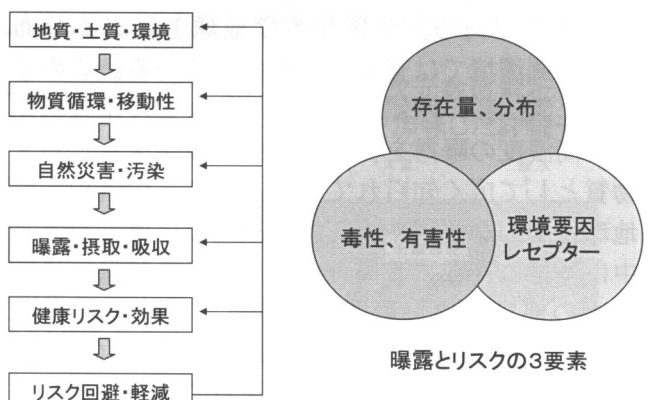


図1 医療地質学における研究の流れ図と関連要素

\* 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門 副研究部門長  
 \*\* 同上 主任研究員  
 \*\*\* 同上 研究員

学の領域を取り扱う。また、自然物に起因する健康リスクの要因として、物質の存在と分布、毒性または有害性、環境要因とレセプター（人、動物）の特性があげられる。これらの3つの要因には、地質および地形の状況が大きく関わっている。ヒ素や水銀などの有害元素を例にとると、表層土壌や地下水にはこれらが偏在していること、人や動物への重金属の取り込みには物質の移動性や化学形態などの環境要因が大きく関与していること、有害元素の曝露量は地形や水理の状況に依存すること、などが指摘される。医療地質学では、地質学の科学的な知見やデータの解析にとどまることなく、環境や社会への影響を含めた要因を定量的に評価することにより、環境改善や社会システムの変革などの社会的な貢献を目指すことに大きな特徴がある。このため、医療地質の様々な要素研究は、社会地質学の分野に位置づけられることがある<sup>2)</sup>。

### 3. 医療地質学の課題と要素研究

#### 3.1 物質循環と地球化学

地球上で見られる多くの地質現象に伴い、様々な有害な物質が環境中に排出され、人や環境に大きな影響を及ぼす可能性がある。地質学的な時間スケールでは、きわめて多様な物質が地球規模の循環を生じ、化学的、生物的变化を受けて地圏環境が形成されている。主な自然現象には、火山、地震、津波などの地球規模の物質移動から、温泉や地熱、森林、河川、湖沼および海洋における地域間の移動現象、さらには大気中のガスや粉じんの輸送現象に至るまで、多様な物質移動と循環のメカニズムの下に広域あるいは地域的な分布の特徴を有している。最近の研究では、森、川、海における金属元素の物質循環に関して、腐植物質の錯体形成機能が大きな寄与をしている。

医療地質で取り扱う主な物質は、自然界に存在する有害元素、重金属類、無機物質およびそれらの化合物である。金属元素は地球上に広く分布し、地圏環境では普遍的に存在している。このうち、ヒ素、鉛、水銀、カドミウムなどの重金属類は、高濃度の曝露を受けると健康被害をもたらす物質として広く知られている。これらの重金属が地球化学的な要因や人為的な原因で土壌や地下水中に多量に存在する場合、水や食物の摂取を通じて人の健康に悪い影響を及ぼす。重金属以外では、フッ素やホウ素を含む飲料水の過剰な摂取、ウランやラドンなどの放射線物質の曝露なども医療地質の主要なターゲットである。火山ガス、砂

じん、黄砂などの大気中の有害な無機物質についても重要な研究課題となっている。

#### 3.2 自然物のベネフィットとリスク

地質環境を構成する数多くのミネラル（鉄、亜鉛、カルシウム、カリウムなど）は、人の健康を維持するための必須元素である。その一方で、先に述べたように金属元素（ヒ素、鉛、水銀、カドミウムなど）の中には、自然物であっても過剰な摂取により毒性を示すものもある。元素の中には、低濃度であれば必須、高濃度になると毒性を示す物質（セレン、クロム、マグネシウム、モリブデン、コバルト）も数多く存在する。したがって、医療地質の研究では自然物であっても高い毒性を示す性状（naturally dangerous）、同一物質におけるベネフィットとリスクの理解（risk-benefit）、環境要因による曝露・リスクの大きさの制御（exposure control）などの科学的な知見がきわめて重要である。

物質の濃度（用量）と健康影響の大きさを無次元で示すと図2のようである<sup>3)</sup>。セレンや亜鉛のような必須元素では、許容値以下の低濃度でも欠乏性の健康影響を生じる場合がある一方で、過剰な摂取は甚大な健康被害を発生させる可能性もある。地球上の動植物は、生命の発生とともに有用な元素の恩恵を受けて進化を遂げてきた。その過程において、必須性と有害性の双方の機能をうまく使い分けてきたと考えられるが、図に示すように良好な健康を維持するための濃度の範囲はそれほど広くない。鉄、マンガン、カリウム、カルシウムなどのミネラルについては、ほとんどの動植物や細菌の生育に欠かせない元素である。特に、鉄の存在は生体の呼吸・代謝系に必須であるだけでなく、陸域や海域における動植物のバイオマス量に絶対的な影響を与える。このよう

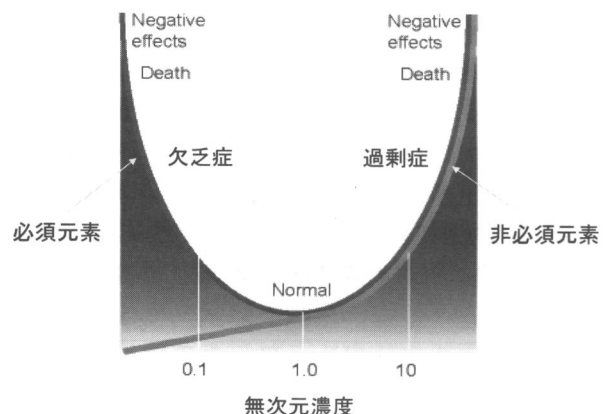


図2 必須元素と非必須元素の欠乏症および過剰症(after Olle Selinus, Medical Geology, 2006)

に、地質環境における自然物の影響を考えると、リスクとベネフィットの効果を同時に評価することが重要である。

### 3.3 環境要因と生物学的利用能

地質環境における有害元素などの影響を評価する場合、その存在量や空間分布だけで健康リスクの大小を判断することはできない。一般に、金属元素の多くは異なった化学形態をもち、溶解度や移動性のよう異なる物理化学的な特徴をもつ。元素によっては土壌や地下水中に多量に存在するが、人の体内に吸収されにくいものもある。また、pH、温度、酸化還元電位、溶存酸素などの環境要因によって環境中の挙動が左右され、生活環境への溶出や浸出がコントロールされる場合もある。表層土壌から人や動植物への移行を評価するひとつの指標として、バイオアベイラビリティ（生物学的利用能）がある。実際の環境条件に近い模擬的な試験により、物質の移動性や収着性を考慮した環境要因を検討し、人への取り込みの可能性を定量的に評価する上で有用である。水銀を例にとると、有機水銀、無機水銀および金属態により土壌中の溶解度や吸着性が異なり、またpHや温度環境による間隙水や間隙ガスへの移行の動態が大きく変動する。さらに、人や動植物への吸収率が化学形態や存在形態によって大きく変化するので、実際の環境条件でバイオアベイラビリティを適切に評価することが重要となる。

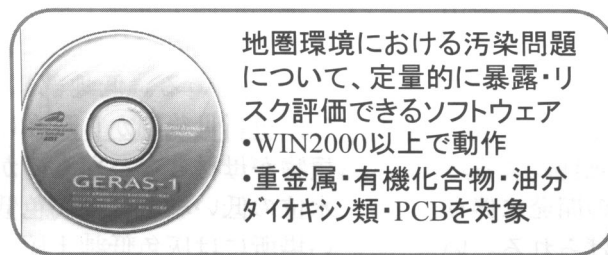
### 3.4 医療地質とリスク評価

自然的原因による汚染物質の健康影響や人為的な環境問題を客観的に評価するための手法として、リスク評価のアプローチが合理的である。環境汚染物質に起因する曝露を予測し、その影響を評価するための手法として、いくつかの異なるタイプの曝露モデルが開発され、実施のリスク評価に適用されている。筆者らは、独自に技術開

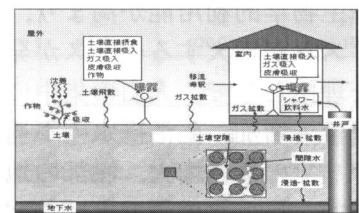
発を行ってきた地圏環境リスク評価システムGERAS (Geo-environment Risk Assessment System) を公開し、その普及に努めている<sup>4)</sup>。これまでに開発を完了した上記のGERAS-1、GERAS-2を一般に公開し、国民各層への普及をはかっているところである。また、詳細型モデルGERAS-3についても、開発を終了して試用を開始している。本システムは、**図3**に示すようにWindows-PC上で動作可能な簡便なモデルであり、化学物質の毒性や人の基本的な特性などはシステム上に組み込まれている。土壌汚染の状況や汚染物質の濃度などの基本的なデータを入力すると、サイト内およびサイト外のレセプターが受ける曝露とリスクレベルが短時間で計算される仕組みになっている。

医療地質の研究では、主に自然的な原因の汚染物質を対象とするが、その基本となるのが曝露に基づいた健康リスクの評価である。先に述べたような多様な自然物の物性や環境中の動態の把握を基礎として、環境的な要因およびレセプターの特性を反映したリスク評価を実施する。サイトモデルGERAS-2では、土壌や帯水層の諸特性をはじめ、地理的条件、地質・水理条件、気象条件などのサイトに特有のデータをもとに、サイトごとに異なる曝露量とその分布を評価する。したがって、自然物による汚染のレベルが比較的明確である場合に、汚染サイトからの曝露影響を定量的に評価するために使用される。また、リスクを目標レベル以下にまで低減するためには、どの程度ま

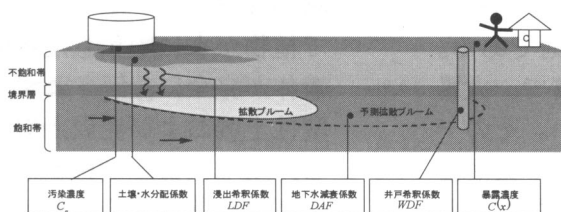
Geo-environment Risk Assessment System (GERAS)



GERAS-1(概念モデル) スクリーニング評価モデル



GERAS-2(2次元モデル) サイト固有の評価モデル



GERAS-3(3次元数値解析モデル) 浄化効果等を加味した詳細モデル

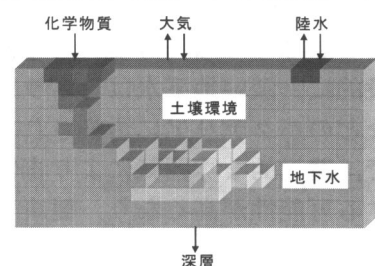


図3 地圏環境リスク評価システム GERAS の概要（産業技術総合研究所）

で環境汚染を浄化・修復すればよいか、すなわち対策目標をサイトモデルにより評価することも可能である。このような曝露モデルやリスク評価システムは、医療地質の研究開発を推進する上で不可欠の評価ツールである。

#### 4. 医療地質に係わる国際的取組み

医療地質の研究では、国際地質科学連合(IUGS)の内部組織である Special Initiative on Medical Geology 先駆的な研究を実施している。主に欧米の研究者から構成されるワーキンググループであり、豊富な実績がある。また、2006年には正式に国際医療地質協会 International Medical Geology Association が発足し、国際的に著名な取り組みを進めている。わが国でも、この活動を受けて IUGS の国内組織 Japan Branch of GEM-IUGS が組織され、日本地質学会や地質汚染—医療地質—社会地質学会において研究活動を行っている。

主要な国際的取組みとしては、ヒ素に起因する地下水汚染の問題があげられる。アジア諸国を中心に自然的な原因により地下水中のヒ素の濃度が高く、健康被害を受けている地域が多く発生している。また、人間生活の環境要因の変化や井戸の不適切な設置により、特に南アジア地域では健康被害が拡大している傾向もみられる。ヒ素は泥岩などの堆積層中比較的多く含有し、酸化還元環境変化により地下水中にイオンとして溶出する可能性がある。また、無機体では水中で3価と5価の化学形態をもち、3価の方が強い毒性をもつ。もともとの地層には普遍的に存在し、井戸水にも低濃度のヒ素がみられる場合が多いが、pH、酸化還元電位、溶存酸素などの環境要因によって溶出量や生物学的利用能が高まり、その結果として健康リスクが増大するケースが発生している。その主な理由として、人口の集中による地下水の汲み上げ量の増加、生活排水の不適切な処理によるバクテリアの活性増大、深部の地下水の開発に伴う還元的な地下水の汲み上げなどがあげられる。いずれの場合も、自然的なヒ素の存在量や分布というよりも、環境要因の変動に起因しているケースがほとんどである。特に、深部の地下水を開発したことによるヒ素(3価)の曝露は深刻である。一般的に、深い地下水はミネラルが豊富で、大腸菌などのバクテリアに汚染されていない。その一方で、還元的な雰囲気により毒性の高いヒ素が溶出する可能性が高くなり、健康リスクが増大することになる。このような科学的な知見を持たずに地下水開発を行うと、自然的な環境であっても汚

染を拡大させることになる。今後、国際協力事業などの実施にあたっては、医療地質学の知識を十分に普及させると同時に、健康リスクを軽減させるための方策を真剣に考えることが重要である。

#### 5. 重金属のバックグラウンド

表層土壌の地球化学的な特徴と居住する人への健康影響を評価するためには、土壌に含まれる重金属類のバックグラウンドレベルの把握が重要である。ここでは、わが国の表層土壌の地球化学的な特徴と、その解析に基づくリスクマップの作成に関する研究成果を紹介する。

##### 5.1 わが国の表層土壌の特徴

わが国は、雨量も多い温暖湿潤な気候であることから植生に富み、地形的には造山帯に位置することで国土の約7割が山地・丘陵地で占められる。その表土を覆う土壌の分布比率は褐色森林土壌が53.4%と最も多く、黒ボク土壌17.3%、沖積土壌15%、未熟土壌5.5%、ポトゾル性土壌4.6%とついで、赤黄色土壌、泥炭土壌などが残りの数%を占める<sup>5)</sup>。大部分を占める山地・丘陵地には、褐色森林土壌、黒ボク土壌、寒冷湿潤で水はけのよい地域には鉄に乏しいポトゾル性土壌が分布している。

また、わが国の地形は世界的にみても安定大陸に比べて急峻で侵食が激しいため、特に山岳部では土壌形成時間が短く、そのために土壌層厚も薄くなり、礫の多い未熟な土壌が分布する。また、雨量が多いことで、土壌中の塩基成分が溶脱して酸性土壌が形成されやすいという特徴を有する。

地形的因子は地下水位や水はけにも影響をおよぼし、土壌の水分状態に影響して酸化還元状態を支配している。低地部に広く分布する沖積土壌は、更新世後期から現在にかけて堆積した河川堆積物が母材となったものが多く、そのうち、地下水位の低い場所には褐色低地土壌、地下水位の高い場所には灰色低地土壌、恒常的に水に飽和した還元環境下ではグライ土壌が発達する。集水域となる河川周辺平野部には灰色低地土壌やグライ土壌が分布していることが多く、寒冷で湿潤な気候で植物が水に飽和した状態を継続すると、植物の遺体が完全に分解されず、とても有機物の多い強酸性土壌および泥炭土壌が生成される。このような河川堆積物を母材とする沖積土は母材として上流河川に位置する岩石鉱物や移動してきた溶出元素の土壌への蓄積、特に自然起源の重金属濃集岩石が露出するサイトからは下流域の沖積層への蓄

積が見られることが多い。

一方、土壌形成におよぼす母岩の違いは、風化過程での透水性や、土壌の性質を特徴づける鉄、アルミや塩基性物質の溶脱作用に影響する。日本の土壌の多くは、土壌の一般的な起源物質である母岩の風化生成物や腐植に加え、第四紀の活火山のテフラおよび大陸から運搬された広域風成塵を伴うことが多い。母材と土壌性状の関連としては、花崗岩類を母材とするものは石英粒子が多く、砂質で腐植物質が少ない、苦鉄質岩石類は風化速度が大きく、腐植物質に富むことが報告されている<sup>6),7)</sup>。また、第三紀の流紋岩や安山岩などの火山岩類からなる山地では傾斜と起伏が大きくて土壌の発達薄いものに対して、風化しやすい泥岩や凝灰岩などの堆積岩類からなる山地では傾斜も起伏も小さく、褐色森林土壌や黒色土壌からなる厚い土壌が発達している。

## 5.2 表層土壌評価基本図とリスクマップ

先に述べたように、表層土壌は母材の情報も反映するが、気象、地形、生物活動などの様々な要因を伴って形成されており、土壌中の重金属情報は各々の因子がどのくらい支配的かによって異なってくる。表1に、宮城県および鳥取県の表層土壌、わが国の河川堆積物、一般的に火成岩、深成岩、堆積岩中に含まれる重金属類の平均濃度を示した<sup>8),9),10)</sup>。新第三紀以降の火山岩や堆積岩・堆積岩に広く覆われ、グリーンタフ層が分布する宮城県では亜鉛、銅、ヒ素の平均濃度が高く、斑レイ岩、蛇紋岩など地質的に深成岩の分布が著しい鳥取県ではニッケル、クロムといった深成岩に富む成分に富んでいる。これらの特徴的な成分は、平均濃度だけでなく、その分布域にも特徴がある。腐植層に乏しい山地・丘陵地では、母材をなした直下の表層岩石・堆積物組成を反映し、なだらかな扇状地や広大な平

野部では、隣接する河川の水質および堆積物の影響が著しく、特に、水田が広域に分布する地域では農業用水として河川水が広域に運搬され、その影響はさらに拡大する。

また、表層土壌中の重金属情報は、同じ流域でも土壌種によって濃度情報に違いが生じる。例えば、仙台平野中心部を流れる主要河川流域の土壌では、ヒ素が黒ボク土壌、泥炭土壌といった土壌中有機物や炭質成分の多い土壌に多く含有されているものの、それらの土壌からのヒ素の水への溶出量は少なく、ヒ素の水溶出値は河川流域周辺に顕著に分布するグライ土壌や灰色低地土壌で高い。一方、鉛や銅は赤黄色土壌での平均含有量、水への溶出量ともに高い傾向を示している。このように土壌形成条件を反映する土壌区分(土壌種)により同じ岩石を母材とする地域でも重金属情報が異なり、現在の環境条件下での重金属含有・溶出特性を示している(表2)。

筆者らは、宮城県および鳥取県について表層土

表1 地圏環境中での平均重金属濃度 (ppm)

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
土壌 (Miyagi)	21.5 (0-468)	1.21 (0.529-8.95)	78.2 (6.72-832)	41.4 (1.93-493)	18.3 (0-608)	22.4 (3.13-111)	139 (43.6-1470)
土壌(Tottori)	18.2 (0-111)	2.55 (0-4.29)	91.4 (32.6-353)	34.0 (0.145-98.6)	24.0 (0-207)	34.1 (9.74-309)	134 (32.7-750)
河川堆積物 (JAPAN)	9.32 (<1-2010)	0.158 (0.017-28.9)	65.2 (3.34-1941)	30.6 (3.49-6723)	23.1 (4.07-7594)	25.1 (1.38-2401)	118 (17.1-11444)
花崗岩	1.5	0.09	4	13	24	0.5	52
玄武岩	1.5	0.13	200	90	3	150	100
火成岩	1.5-3 (0.06-113)	0.082 (0.001-0.60)	—	125 (80-200)	15 (2-30)	75 (2-3600)	65 (5-1070)
砂岩	4.1 (0.6-120)	3.42 (0.05-500)	—	30 (6-46)	7 (1-31)	2	30 (5-170)
泥岩	14.5 (0.3-500)		—	35 (23-67)	20 (16-50)	68 (20-250)	97 (15-1500)
石炭	13 (trace-2000)	0.10 (0.07-0.18)	20 (10-1000)	17 (1-49)	16 (-60)	15 (3-50)	—

今井ら(2004); Bradl(2005); 関(2005);(原ら(2007);原ら(2008)

表2 仙台平野中心域の河川流域周辺の土壌中重金属濃度 (原ら, in press)

土壌種	As		Pb		Cu		Zn	
	bulk [mg/kg]	C <sub>water</sub> [mg/kg]	bulk [mg/kg]	C <sub>water</sub> [mg/kg]	bulk [mg/kg]	C <sub>water</sub> [mg/kg]	bulk [mg/kg]	C <sub>water</sub> [mg/kg]
グライ土壌	18.7	0.043	11.2	0.023	37.6	0.090	133	0.151
灰色低地土壌	19.6	0.038	12.6	0.033	41.8	0.226	181	0.527
褐色森林土壌	16.4	0.025	9.49	0.022	42.2	0.082	103	0.233
黒ボク土壌	23.4	0.026	17.8	0.016	49.8	0.076	214	0.200
赤黄色土壌	18.6	0.056	20.7	0.079	61.3	0.308	151	0.439
泥炭土壌	24.4	0.029	5.73	0.009	30.6	0.084	125	0.180

壤中の重金属類含有量，溶出量特性を用いて，人体への健康リスク計算を行った<sup>11),12)</sup>。これらのモデル計算結果では，環境基準値を超える土壌はいくつか検出されたものの，バックグラウンドレベルの有害重金属類が人体に影響を及ぼす地域は検出されなかった。宮城県地域における表層土壌中のヒ素を対象にした濃度分布とリスクマップを図4に示す。これらの地域のバックグラウンドレベルの重金属濃度は，ほとんどの地点で人体に及ぼすリスクは許容される範囲であることを明示している。

## 6. 環境疫学的調査研究

必須元素の健康影響，特に過剰症と欠乏症について要約・解説し，環境疫学的視点から日本における重金属バックグラウンドと平均寿命等に関する考察を行っている<sup>13)</sup>。これにより，重金属類の環境汚染問題に対する再認識を行うとともに，環境疫学および医療地質に関わる新知見を提唱する。

### 6.1 必須元素の健康影響

人体および実験哺乳動物で必須性があると考えられている15元素の体内での存在割合，主な作

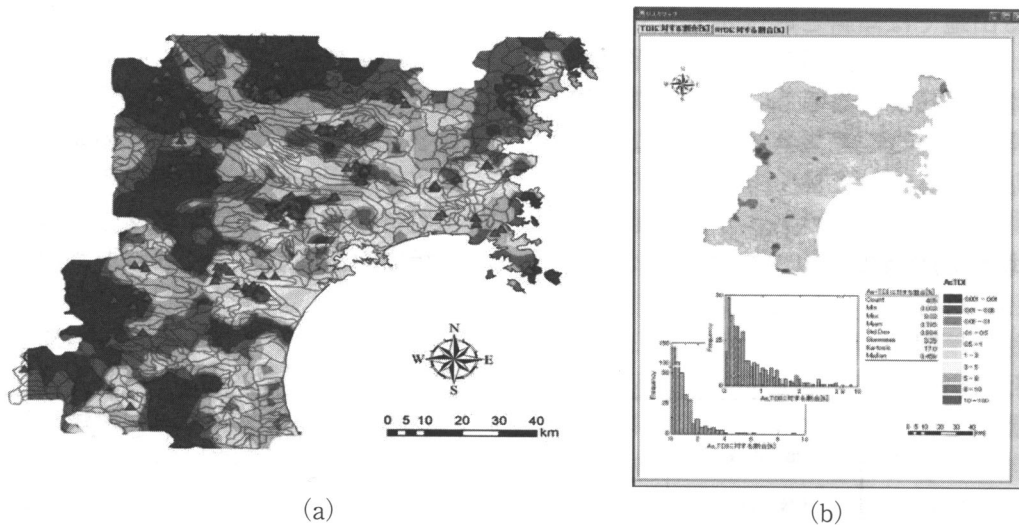


図4 表層土壌中の重金属の濃度分布 (a) とリスクマップ (a) (宮城県地域)

表3 必須元素とその健康影響 (欠乏症，過剰症)

元 素	存在割合	体内での主な作用	欠乏症	過剰症
鉄(Fe)	60ppm	ヘモグロビンの酸素運搬，DNA合成 酵素等酵素構成成分	貧血	血色素症，肝毒性
亜鉛(Zn)	33ppm	酵素の活性や細胞分裂に関与	矮小発育症，腸性肢端皮膚炎，性機能障害， 味覚障害等	発熱，肺炎患
銅(Cu)	1ppm	酵素の活性に関与	貧血，心不全，血管壁の弾力性消失，小児性 進行脳障害等	接触性皮膚炎，発熱，舌苔の青色化， ウィルソン病
マンガン(Mn)	0.2ppm	骨の形成や代謝に係る，ビタミン B1の作用にも関与	生殖機能低下，中枢神経障害，骨発育不全， ビタミンK作用障害	鉄と拮抗，中枢神経障害，甲状腺肥 大
ヨウ素(I)	0.2ppm	甲状腺ホルモンの合成，体温の制御	甲状腺腫，甲状腺機能障害	甲状腺腫
セレン(Se)	0.2ppm	ビタミンE,Cと協調して，活性酸素 やラジカルから生体を防御	心筋症，克山病等	呼吸困難，異常動作，異常姿勢，ア ルカリ病(家畜)
モリブデン(Mo)	0.1ppm	尿酸の製造，アルデヒドオキシター ゼ等の酵素の構成	生育阻害，繁殖能低下，銅と拮抗	痛風
クロム(Cr)	0.03ppm	糖代謝(Cr3+)に関与	耐糖能低下，成長・生殖機能低下，動脈硬化 症等	接触性皮膚炎，肺・上気道癌等
コバルト(Co)	0.02ppm	赤血球生産に必須のビタミンB12に 含有，神経組織の健康を保つ	悪性貧血，メチルマロン酸尿	甲状腺疾患，心疾患，聴覚障害
ふっ素(F)	43ppm	骨と歯の構成等に作用	虫歯，貧血，骨多孔症	斑状歯
珪素(Si)	29ppm	骨の石灰化に寄与，皮膚や結合組織 にも含有	骨形成不全	尿石
錫(Sn)	0.3ppm	成長に関与と考えられている	成長阻害，門歯色不全	肝障害
ニッケル(Ni)	0.1ppm	鉄の吸収や成長に関与，機構は不明	生殖障害，肝・腎機能低下，コレステロール 低下，ヘモグロビン低下	癌
砒素(As)	0.03ppm	成長に関与，必須アミノ酸であるアル ギニンの代謝に係っているとの 推測	生育阻害，生殖能低下	癌
バナジウム(V)	0.02ppm	酵素や錯体の構成にあり，成長に関 与するが，機構は不明	生育阻害，生殖機能低下	不明

桜井弘,1996,金属は人体にまぜ必要か,講談社,256pp.  
中嶋洋子・浦原聖可・阿部芳子監修,2009,食べ物栄養事典,主婦の友社,114-147等に基づいて作成



用、摂取不足による欠乏症および過剰摂取による過剰症を取りまとめて表3に示す<sup>14),15)</sup>。前述のように、これらの必須元素においても、過剰に摂取すれば有害性を発現する。その一方で、土壤中にセレンや亜鉛などが極めて低い濃度で存在する場合、その用地で栽培された植物を長期間摂取すると甚大な欠乏症が生じる。

表3に示す15元素の他、体内で微量元素として存在するホウ素(B)、鉛(Pb)、リチウム(Li)、ルビジウム(Rb)、カドミウム(Cd)、臭素(Br)、ゲルマニウム(Ge)およびアルミニウム(Al)等に関する疫学的研究も文献調査でしばしば見かけるが、明確な結論に至っていないのが現状である。人体を構成している元素は約60種あるとされている。

栄養学においては、有機物に含まれる水素、酸素、炭素及び窒素を除いた必須元素をミネラルと定義し、糖質、タンパク質、脂質およびビタミンと並んで五大栄養素のひとつとして数えられる。日本の健康促進法施行規則(平成十五年四月三十日厚生労働省令第八十六号)では、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リン、鉄、亜鉛、銅、マンガン、ヨウ素、セレン、クロム、モリブデンおよびナトリウムの13元素を栄養素と定まら

ているが、栄養素としての微量元素の研究は、まだ始まったばかりの段階にある。

## 6.2 環境疫学調査と重金属バックグラウンド

日本人の都道府県別の平均寿命については、昭和40年以降5年ごとに、市区町村別平均寿命については、昭和60年以降5年ごとに厚生労働省大臣官房統計情報部により作成、公表されている。その調査結果を利用して考察すると、日本人の平均寿命は鉱山(図5)や温泉分布に関連する重金属のバックグラウンド(図6)と明確な関連性が認められない。参照値には、地球化学図<sup>16)</sup>のデータを使用した。また、同一都道府県においても、男女の平均寿命が異なり、年度によっては平均寿命の順位も変わっている。これらのことから、平均寿命は重金属のバックグラウンドよりも他の要因に規定されていると示唆する。

重金属バックグラウンドと平均寿命との間に明確な相関性が認められなかった原因として以下の疫学的、食物的な項目が考えられる。

### 1) 飲料水と食物の多様化

経口摂取・曝露においては、水を介する経路の寄与が大きい原因の一つと考えられる。昭和20

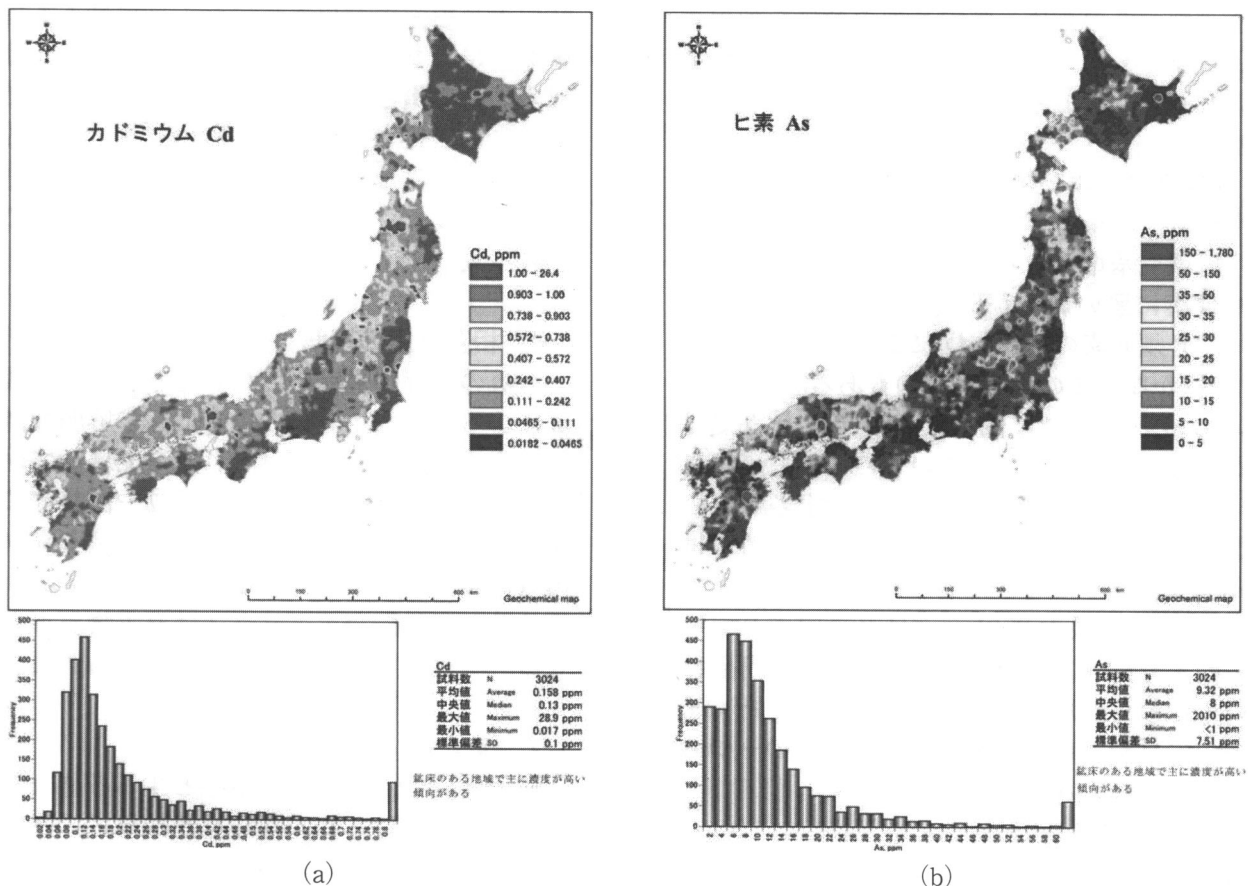


図5 重金属のバックグラウンドレベル(カドミウム(a)、ヒ素(b))

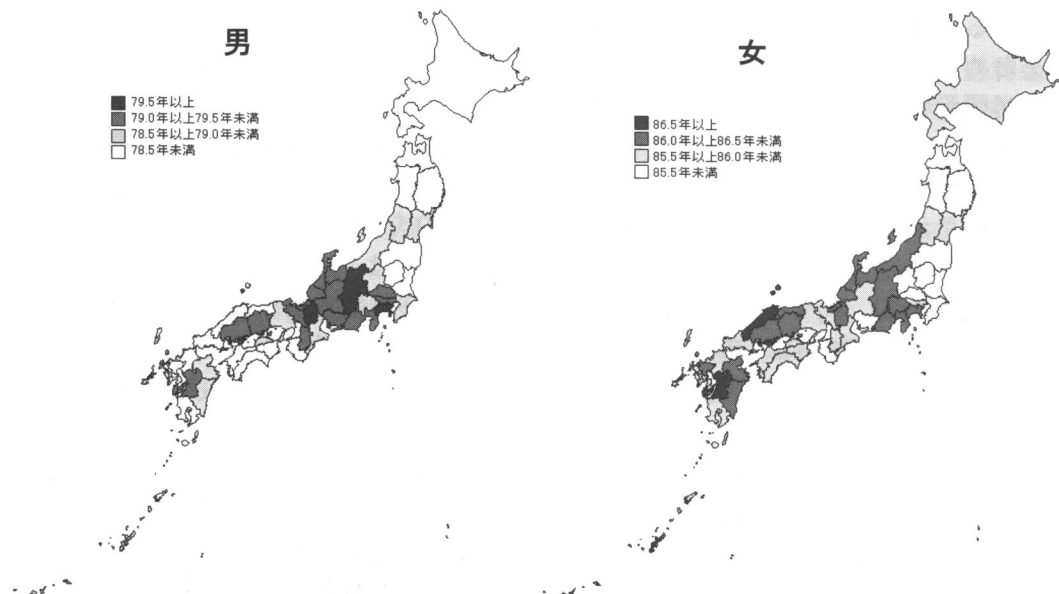


図6 日本人の平均寿命の地域分布

年以降、全国における水道普及率の上昇が著しく、昭和45年には既に80%を超えた。その後においても、水道普及率が継続的に上昇し、現状では97%を超えており、100%近くに達している。水質の管理された水道水を利用することによって、重金属濃度の高い地下水の飲用とそれに伴うリスクを回避できたと考えられる。また、経済と流通の発展等に伴って、生活スタイルや食材等も多様化となった。このため、特定産地の食材を利用することも少なくなり、結果として、リスクを低減することができたと考えられる。

## 2) 環境基準および摂取基準の厳しさ

そもそも、環境基準値は比較的厳しく設定されており、環境基準値よりある程度超過しても、必ずしも健康に悪い影響が出るとは言い切れない。実際に、必須元素の基準も国によって異なっており、中ではかなり差の大きいものもある。例えば、クロムの摂取必要量に関しては、アメリカでは50~2000  $\mu\text{g}/\text{日}$ と設定されているのに対して、日本では25~30 (最大250)  $\mu\text{g}/\text{日}$ と設定されている。また、モリブデンに関しては、アメリカでは150~500  $\mu\text{g}/\text{日}$ と設定されているのに対して、日本では25~30 (最大250)  $\mu\text{g}/\text{日}$ と設定されている。このように、「基準値」は厳密なリスク評価に基づいて定められた絶対のものではなく、あくまでも一つの目安、或いは環境・健康管理の一つの尺度であると考えればよい。

## 3) デトックス関連要素

急性中毒のある物質を除き、体内で一定量以上

に蓄積されない限り、健康に影響のすることは殆どない。実際に、物質にもよるが、摂取しても、体内で吸収されずに体外へ排泄してしまうものもある。例えば、カルシウムと鉄の吸収にはビタミンDとCが必要と知られている。逆にビタミンCのほか、クエン酸、リンゴ酸、フィチン酸及び植物繊維等はキレート作用があり、亜鉛及び鉛等の金属元素を体内から排出させ、場合によっては特定の必須元素の欠乏症になる可能性もある。地中海沿岸で見られる亜鉛欠乏による小人症は一つ代表的な事例と言えよう。この地方の主食である小麦には亜鉛が含まれているが、フィチンも多く含まれているため、亜鉛は吸収されず体内を素通りしてしまう。その結果、亜鉛欠乏症が起こってしまった。

## 4) 相互作用の理解

複数の共存物質が吸収に与える影響及び共存物質による相互作用等については、未解明な点が多く、医学分野においてはこれから発展していく領域である。共存物質のほか、運動や温泉等による発汗や岩盤浴による皮脂の排出等もデトックス作用(ベネフィット)があるとされている。無意識的及び意識的なデトックスは有害物質から体を守る一つ重要な側面でもあると考えられる。

## 7. まとめ

医療地質は、地質学を中心とする多様な学術の融合に特徴づけられ、特に自然的原因の物質に関わる医療や健康の問題を取り扱う重要な研究分野のひとつである。最近、欧米では医療地質の要素

研究が進展し、土壌や地下水の地質汚染、食物と農用地との関わり、ミネラルや無機物質の食品安全など、広範な研究活動が行われている。今後、わが国でも健康科学や安全科学などの学術の重要性が増していることから、重点的に取り組むべき研究分野になると考えられる。ここでは、新たな学術体系としての医療地質研究の意義や社会的な貢献を中心に、これまで筆者らが実施してきた研究の成果について紹介した。この中で、わが国の表層土壌や地下水における自然的な原因による重金属類の濃集およびその地域的な分布、その基礎的なデータを用いた健康リスクの評価や環境疫学的な解析結果について論じた。地質学の新たな展開と社会への研究成果の反映などの観点から、ご意見をいただければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) Miomir M. komatina, 2004, Medical Geology Effects of Geological Environmnets on Human Health, Elsevier.
- 2) 駒井 武, 2008, 医療地質研究の意義, 第18回環境地質シンポジウム論文集, 地質汚染—医療地質—社会地質学会.
- 3) Olle Selinus and Adrian Frank, 2004, Essentials of Medical Geology—Impacts of the Natural Environment on Public Health, Elsevier.
- 4) 駒井 武, 川辺能成, 坂本靖英, 原 淳子 2007, 土壌汚染対策の課題と環境地質学の役割, 地学雑誌, 116 (6), 853-863.
- 5) 管野均志, 平井英明, 高橋 正, 南條正巳, 2008, 1/100万日本土壌図(1990)の読替えによる日本の統一の土壌分類体系—第二次案(2002)—の土壌大群名を図示単位とした日本土壌図, ドロジスト, 52 (2), 129-133.
- 6) 永塚鎮男, 1979, 天然林下において花崗岩から生成した黄褐色森林土の成因的特徴(第2報), 本土壤肥科学雑誌, 50, 91-97.
- 7) 原田 光, 1953, 鳥取県若桜町における蛇紋岩の風化について, 本土壤肥科学雑誌, 23, 137-140.
- 8) 原 淳子, 川辺能成, 駒井 武 (in press) 表層土壌の地球化学情報データベースの公開と活用, 地質ニュース.
- 9) 関 楊兎, 2005, 造岩鉱物中の重金属, 本土壤肥料学会編「土壌生成と重金属動態」, 博友社, 45-66.
- 10) Bradl H.B., 2005, Heavy metal in the Environment, Origin, Interaction and Remdiation, Elsevier Academic Press, pp. 269.
- 11) 原 淳子・川辺 能成・駒井 武・井本 由香利・杉田 創, 2007, 表層土壌評価基本図～宮城県地域～, 産総研地質調査総合センター, CD-ROM.
- 12) 原 淳子, 川辺 能成, 駒井 武, 2008, 表層土壌評価基本図～鳥取県地域～, 産総研地質調査総合センター, CD-ROM.
- 13) 張 銘, 原 淳子, 駒井 武, 2008, 環境疫学的視点による重金属バックグラウンドと平均寿命に関する考察, 第19回環境地質シンポジウム論文集, 地質汚染—医療地質—社会地質学会
- 14) 中嶋洋子・浦原聖可・阿部芳子監修, 2009, 食べ物栄養事典, 主婦の友社, 114-147.
- 15) 桜井弘・廣村信, 2001, 生体微量元素—その一般的な概念と最近の話題—, 現代化学, 44-51.
- 16) 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井豊・上岡晃(2004)日本の地球化学図. 産総研地質調査総合センター, 210p.

## 食文化と地質—ワインと地質の深い関係—

はしもと しゅういち  
橋本 修一\*

## 1. はじめに

食文化については浅学非才の身で、酒と食べ物には好き嫌いが無いだけの筆者が、大きなタイトルでの執筆を引き受けてしまい、たいへん恐縮している。しかし、筆者は地質関係学会の海外調査参加を通じて、地質家がワインの深い理解に大きな役割を果たしてきた例を知り、また、日本で地質とワインの関係に造詣の深い大先輩方のお話を伺う機会にも恵まれた。その一端を私のわずかな体験と合わせて紹介しておくことは、地質調査関係者が今後、食文化という広大な分野にどれだけ関与していけるのかを考察する上で、ひとつのヒントになることではないかと勝手に解釈して筆を進めることとした。

以下に、ワインを例にして地質と食文化のかかわりを紹介する。

なお、以下の記載の一部は、第32回 IGC (2004) 参加時の日本応用地質学会海外調査団報告に用いた資料を基に編集したことをお断りしておく。

## 2. ワインと地質学の深い関係

最近、テロワール-Terroir-という言葉をよく耳にする。ワインやレストランの紹介などで使われているが、この言葉が、地質学と深くかかわっていることを、どれだけの人が知っているだろうか。両者の関係は、“Terroirs et Vins de France (1985)”とその日本語訳である「ワインと地質-フランスワインランド探訪-」(市川慧氏主筆, 2005)に詳しく述べられている。まず、これらの文献・資料が世に出た経緯から話を進める必要がある。

話は30年前、第26回 IGC (万国地質学会議, 1980) パリ大会にさかのぼる。この時の地質巡検案内書として好評を博した“Geologie et Vins de

France”が修正・増補されて、先の“Terroirs et Vins de France”と名前を変えている。原著は仏語で第三版まで改訂されており、そのうち第二版を基に英訳版“The Wines and Winelands of France-Geological Journeys-(1989)”が出版されている。

本書は、ブドウの栽培とその土地との関係を正確かつ体系的に考察した最初の文献とされる。同書では、ブドウとワインの起源から、原産地呼称に関する法規制を述べ、その後、15のワイン大生産地について、それぞれの歴史、ブドウの種類、ワインの風味の特徴を、地形・地質・地質構造と関連させながら解説している。もともと地質巡検案内書であることから、地質図、地質断面図が豊富である。加えてワインの産地めぐりのルートマップ付なので、地質を理解しながらワインの味や食事を楽しめるという、知的好奇心が旺盛な人向けの楽しいツアーガイドブックでもある。

重要なことは、この本は、地質学者とワイン醸造学者合わせて25人が現地調査をふまえて執筆していること、公的機関であるフランス地質調査所が編集・出版しているという事実である。実に、フランスでは地質家が地質解説を合わせてワイン文化・食文化の理解・発展に貢献していたのであった。

驚くべきことに、1991年に応用地質学会第一回海外調査としてフランスを訪問された岡本隆一さんたちが、上記原著を当地・地質調査所の販売部で見出し、これをフランス語に堪能な故・市川慧氏の主筆で研究資料として翻訳している。これが先に紹介した「ワインと地質」の原型である。390頁に及ぶ大作は市川慧さんが2002年に亡くなられた後、岡本さん他の方々による編集が進められ、2005年、フランスワインと地質研究会研究資料No.1として結実している。関係各位のご努力に

\* 東北電力株式会社 土木建築部 課長

改めて敬意を表する次第である。

また、東大名誉教授・武田弘氏（鉱物学）は、本業の傍ら、自らワインとその地質について数多くのワイン産地、ブドウ畑を尋ねられ、ブドウ畑を構成する地質・地質構造、下層土、土壌、地形からブドウ種類について調査され、その成果を「ブドウ畑の自然環境」(CD) にまとめられている。この内容が高く評価され、武田さんは社団法人日本ソムリエ協会から名誉ソムリエの称号を授与されている。最近では2009年日本地質学会（岡山）などでの講演を通してご活躍中である。

このように、内外の地質関係者がワインと地質との深い関係について啓発的な活動をされていることは誇らしく思う。上記の文献・資料は、一般の方に、地質学が実は生活・文化に身近な学問・技術分野であるかを理解してもらう上でもっと世に知られて良いと思うが、惜しむらくは、いずれも研究会もしくは会員限定の資料であるため、一般の目に触れる機会が少ないことである。

### 3. 世界遺産認定に果たした地質の役割

筆者は、1993年の応用地質学会第3回海外調査団（団長・北村信東大名誉教授）・南仏～ピレネー山脈巡検に参加した際、幸運にも岡本さん（前出・当時会長）方からワインに関する多くの話を伺うことができた。また、当時訪問したボルドー、サンテミリオン地区で、地質学や地質家がワイン生産者にとっても重要視されていることを実感し、かつ感銘を受けた。

見学先のワイン醸造所シャトー・ブレールでは、技術部長のパスカル氏に案内していただいた。氏はわれわれが地質家集団と知ると、驚きとともに尊敬の感を抱いたようで（思い過ごしかも）、ブドウの品種、気候とブドウの品質、ワインの出来具合などを、地質の特徴と合わせて丁寧に説明し、さらに、一般見学者には見せないワインカーヴの奥深くまで丁寧に案内してくれた。当地の石灰岩起源の土壌はpH7.5-8.5で、ここで栽培したブドウから醸されたワインはモラッセの砂質土壌とは異なり、ボディの強い味になるとのことであった。

サンテミリオン地区の基盤は漸新世の石灰岩からなり、それらが建築用石材として採掘された後の、何層もある空洞を利用してワイン樽が寝かせてあった。当地区では紀元300年ころからブドウ栽培が始まり、大いに発展して現在に至っているとのことで、地表では一面のブドウ畑（写真1）、建物の石材は足元から調達し（写真2）、採掘後の岩盤空洞を地下定温貯蔵庫（写真3）としてワイ



写真1 サンテミリオンのブドウ畑の眺望

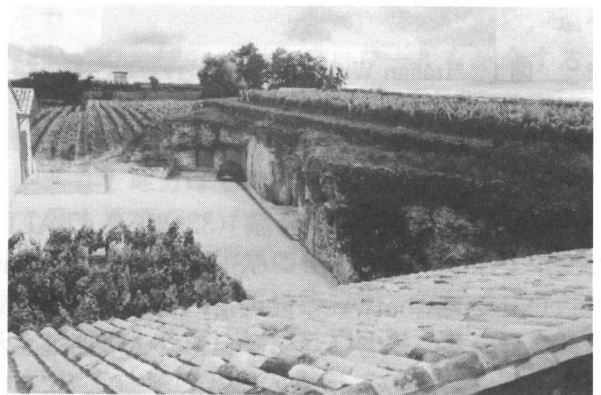


写真2 ブドウ畑の基盤は漸新統の石灰岩

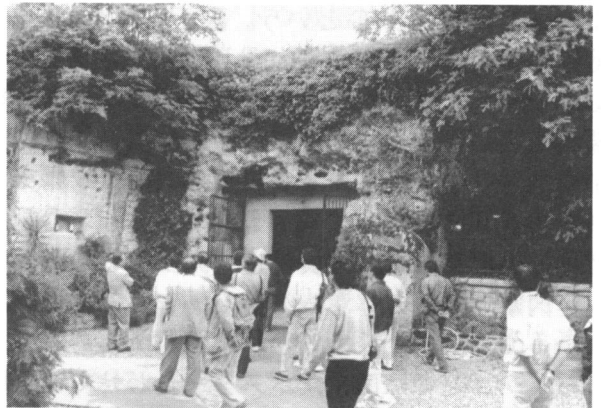


写真3 岩盤空洞を利用した貯蔵庫入り口

ンを醸す、という地形・地質・気候条件を最大限活用して発展を遂げてきたことになる。

、サンテミリオン地区は、その6年後、1999年に世界文化遺産として登録されているが、その申請時には、「地質」の説明が重要な役割を果たしたものに相違ないと感じたものである。

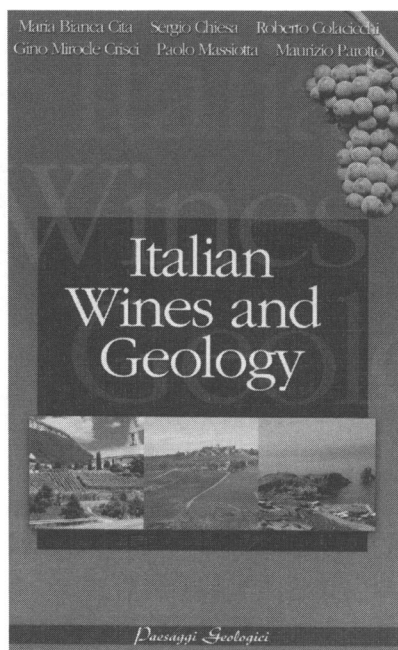


図1 “Italian Wines and Geology” の表紙

#### 4. 国際地質学会議で「ワイン」のセッション

第32回国際地質学会議(32ndIGC ITALIA 2004)では学術セッション78として“-Terroir-the connection between geology and wine”が設定されている。筆者は、フィレンツェで開催された同大会に参加し、上記セッションを聴講する機会を得た。

大会に合わせて刊行された“Italian Wines and Geology”(以後IWGという。図1)は、1980年のIGCパリ大会での巡検案内書と構成内容が類似している。イタリア北部、中部、南部ごとに地質構造の概要が述べられ、その後、産地ごとにブドウ畑の地形・地質からワインの種類まで、フルカラーで148頁にわたって記されている。6名の執筆者はそれぞれ層序、地質構造、火山などの地質関連専門家で、このうち一人がセッションのコーディネーターでもあった。

セッションでは口頭、ポスター合わせて37件、地元イタリアのほか、フランス、ドイツ、アメリカ、アルゼンチンなどのテロワール考察、ブドウの栽培とワインの個性決定に地質がどのように影響するのか、などの発表がなされた。以下に、同セッション聴講内容や“IWG”の記載からテロワールの概念、ワインと地質の関係を現地訪問結果の一部を交えて紹介する。

##### 4.1 “Terroir”とイタリアの食文化

“Terroir”の概念はセッション冒頭で紹介された。もともと「土着性の」という意味のフランス

語であるが、ワインの多様な地域性を表わす概念として「地形」「基盤地質」「土壌」「気候」「地下水」すべてが複合された、その地域の独自性を表わす学術語として用いられている。

IWGは「少なくともより品質の良いワインを」を標榜し、地質家のためには変化に富んだイタリアワイン、その「岩石」「土壌」「地形」「気候」「斜面の向き」「ブドウ」の多様な関係を知ってもらうために書かれている。

また、ワイン愛好家のためには“Terroir”の概念になじんでもらい、ワインができる風景を地質家の眼(3次元+時間)でもって読み込んでもらいたいという目的もあるという。

このセッションが企画された背景には、食文化の変化に対する危機感も存在している。つまり、かつてイタリアでは伝統的に家族で食事(昼、夕)の際にワインを飲む習慣があったが、最近では急激に生活パターンが変化し、家族揃っての食事回数も減り、若者はファーストフードでソフトドリンクやビールを飲むようになったため、ワインの消費量が減少しているとのことである。そうした「嘆かわしい」背景もあって、スローフード運動発祥の地イタリアのトスカナ州において、ワインと地質のセッションが企画されたのであった。

##### 4.2 イタリアワインの地質学的背景

一般的にブドウ栽培には、西向きよりは東向き畑が向いていること、粗く・緩く・軽い土壌のほうが、細粒で重く・密な土壌より適していること、一日の温度差もまた重要なことが、古くローマ帝国の時代から、知られていた。また、古来種のVitis viniferaの根は、土壌や基盤岩の割れ目の条件がよければ、水分を吸上げるため4mかそれ以上の深さに達することから、わずかの例外を除けば、ブドウは水はけの良い土壌が適しており、湿地には耐えられないことも知られている。

なお、ヨーロッパブドウは上記Vitis vinifera一種のみで、栽培種としてのブドウ品種名(カベルネ、シャルドネ、ピノ…等々)は全てその変種になる。

##### 4.3 ワイン法と格付け

ワインと地質を語るにはワイン法を知っておく必要がある。なぜなら、フランスを筆頭にワイン生産国の多くはワイン法を制定しており、それぞれの生産地域、使用品種、栽培法、醸造法、熟成条件などを規定し、伝統・個性・品質を守っているからである。フランスでは1935年、原産地統

制呼称法（通称 AOC 法）が世界で最初に制定され、もっとも厳格に守られているようである。規定が細くなるほど産地の限定ができ、地形・地質もより詳しく説明可能となる。また、規定が細かいほど格が高いということになる。

呼称はラベルに表示されるので、ラベルに記された内容を読み取ればワインの素性を概ね知ることができる。さらに、味の基礎になるテロワールを理解し、ブドウ畑の地形、土壌から地質・地質構造にまで考察が及べば、ワインに対する一層の理解が深まり、楽しみも増える。

ただ、ワイン法による格付けがワインの個性のすべてではない。規定が混乱気味のイタリアワインのカテゴリーの法的整備状況を例に紹介する。

イタリアでは、1963年、原産地統制呼称法によって最初に DOC (Denominazione di origine controllata) が設けられて以降、順次法整備がなされ、現在は上位から下位へ、下記の4つのカテゴリーに分類されている。より上位の格付けを得るには土壌組成、ブドウ種の割合、生産量、ヘクタールあたりの品質限量など、詳細の申請が必要となっている。

DOCG (DOC e garantita-controlled and guaranteed appellation 保証付原産地統制呼称)

DOC (as above, but not guaranteed 原産地統制呼称)

IGT (indicazione geografica tipica=typical to the geographic area 地域特性表示) 1992年

VT (vini da tavola=table wine)

このうち上位2者の総生産量に対する割合は13~15%ということで、審査はかなり厳しい。イタリアワインを購入する場合、上記ランク付けは参考になる。ただ、VT中にも最高ランクに匹敵する品質も散見されるという。申請をしなければどんなに質よく、美味くてもVTと表示することになる。

一方、ECはこれとは別に高品質のワインに VQPRD (Vino Qualita Pregiata Regione Determinata=wine quantity prestigious region determined) 表示をつけている。これはDOC表示と並行して付けられる場合もあるが、全てに付いているわけではないので話はややこしくなる。

また、現実的にはワイン鑑定家(たとえば Veronelli, 1983; Hugh Johnson)は上記の公式呼称とは別に、独自に三ツ星や四ツ星をつけて格付けを行なっている。さらに、同じ地域の異なるメーカーが類似した紛らわしい名称をつける場合もあるので、名称表示の混乱は極まるが、現地人は

全く意に介さない。結局、IWG 著者の責任でベストワイン・地域代表の34銘柄を推薦しているのがいかにもイタリアらしい。

ところでワインラベルには、上記格付けのほか生産者、産地、ブドウ収穫年 (vendemmia) 他が記される。その記載法もまちまちで判りづらいが、次の表現は一般的である。

CLASSICO=伝統ある良質な産地であることの表示 (キャンティクラシコなど)

RISERVA=法定の熟成期間より長く熟成させたとの表示

SUPERIORE=規定のより高いアルコール度数を示す

## 5. イタリアのテロワールの事例

それでは、実際にIWGを参照しながら、巡検で訪問した地域の一部のテロワールを紹介する。

### 5.1 トスカナ地方

トスカナ地方はその品質と評判によってイタリアで最も重要なワイン生産地域のひとつである。同地方はイタリア半島の中北部、アペニン山脈の西側を占めるが、地質は複雑で、岩相はタービダイト堆積物から泥灰岩、砂岩からなり、これらがDOC生産地域の基盤となっている。特に同地方南限に分布する多孔質でカリウムの豊富な火山砕屑岩の土壌が、ブドウ栽培には最適である。

トスカナ地方のブドウ栽培は非常に古く、エトルリア時代(紀元前8—6世紀)から始まっていることが知られている。細かい歴史は省くが、IGC会場となったフィレンツェとシエナの間のキャンティ地方が名実共に最も有名で、トスカナの5つのDOCGワイン全てを産出している。近年、当地名が伊・ワインの代名詞として有名になりすぎ、他地方産でもキャンティと表示する例が増えていくという。そこで本来のキャンティ産である事を示すために、キャンティ クラシコ (Chianti Classico) と表示し、また、封印には黒い鶏のシールをする事で品質が保証されている。

ワインの出来具合は、その年のブドウの作柄に左右される。最近では1997年の作柄が最良で、また、2003年も高温でブドウの成りは良かったが生産量が例年の半分しかなかったという。写真4は、R社のChianti Classico, Riserva Ducale・金ラベル、1997DOCGのラベルである。澄んだルビー色、馥郁とした香気は繊細でタンニンはほのかで雑味がなく、価格に違わず、期間中試飲した中で最高の1本であった。



写真4 イタリアワインラベルの記載例

一方03年ものはまだ新しいのでDOCクラス以上はまだ市場に出回っていなかった。というのも、このクラスのワインは、樽で18ヶ月、その後瓶詰めにして8ヶ月の熟成を要すること。しかる後、サクランボ、干しスモモ、シナモン、ココアのしっかりしたアロマを伴い、舌触りの良い鞣革の香りが長く、しっかり残る、ルビー色をしたフルボディのワインとなる、と説明されている。

ちなみに、このラベルでは、最上部に生産者(社)名、ロゴの下に銘柄、ブドウ収穫年(1997)、伝統的良質産地(Classico)、格付け(DOCG)、法廷より長期熟成(Riserva)となっている。

## 5.2 ロンバルディア地方

ミラノを州都とするロンバルディア州は、広い割にブドウ栽培面積は狭く、4地区でDOCワインが生産されているに過ぎない。アルプスの麓に発達するValtellina地区のワインSassellaがある。

Valtellina地区の東西方向に延びる谷はTonale構造線に沿っており、北側斜面(南向き)のみが畑になっている。そして石垣で狭い段々を囲っている点で後述するアオスタ渓谷と似ている。アオスタと異なるのは段がやや傾いていることと、短く、低い段の列が傾斜に直交していることである。Valtellinaワインの特徴は、Nebbiolo種(地元ではChiavennascaと称する。ピエモンテ州から移入)から生産されるタンニンの強い赤である。基盤岩は粗粒でルーズな氷河堆積物で薄く覆われており、灌漑は不要である。

Sassellaの名前は地区の中心Sondrio市のSas-



写真5 Grolla

sella 聖堂(南向きの日当たりのよい片麻岩尾根に位置)に由来する。ガーネット色をわずかに含んだルビー色で、シンプルでなめらか、調和がとれており、10年以上の熟成も可能である。レオナルド・ダ・ビンチに絶賛されたほどValtellinaワインの中で最も有名である。16世紀の作家Ostasio Landoは『Sassellaは世界一のワインだ』と述べたそうだが、同じブドウ品種から醸されたピエモンテのBaroloと比べると、地質・気候環境の違いのせいで複雑性と優雅性では劣るとされる。自分の土地・産物を世界一と自慢するのはイタリア人の普遍的な特性らしく、そのポジティブな楽天性は見習うべきところがある。

## 5.3 アオスタ渓谷

アオスタ渓谷州はイタリアの北西辺境で、1948年にイタリア領となった州で文化的にもフランスに近い。概ね東流するDora Baltea川の左岸、南向き斜面の段々畑にブドウが栽培されている。ローマ時代の遺跡があるなど街の歴史は古いが、ワイン醸造については近代的ワイナリー設立が1990年と浅く、急速に発展している。耕地面積は狭いものの、Blanc de Morgex, Torrette, NusなどのDOCワインが生産されている。ブドウ品種としてワインと同名のBlanc de Morgex, Petit Arvine, Petit Rougeなどがある。

基盤の地質は、片麻岩、雲母片岩、石灰質片岩、オフィオライト、石炭系頁岩などである。ブドウ畑の斜面は数100m厚のガサツな氷河堆積物、融氷流水堆積物からなっていて、ブドウの根が深く張るのに役立っている。気候は低温で高湿度である。

学会でも同地域のテロワールについて2件のポスター発表があった。Blanc de Morgexの謳い文



句は「ヨーロッパ最高のワイン」“The highest wine of Europe”である。何が最高かという点、ワイン畑の標高が900-1200 mと欧州では最高標高にあるということである。品質が最高とまでは宣伝していないので謙虚であるが紛らわしい。Blanc de Morgexは、石炭系の変成岩上を覆う氷河堆積物上で栽培されているブドウ種で、同名のワインは淡い緑黄色で酸味のある繊細な風味があるとされる。

なお、冬場の寒さが厳しい当地方では厳寒時、飲み口がいつぱいついた回し飲み用の怪しげな德利Grolla(写真5)に、熱々のコーヒーとグラッパを入れて体を温める風習があり、ワインより蒸留酒が好まれているらしい。同じイタリアでも地域により文化は多様である。

## 6. 日本におけるテロワール

食文化は、ワインひとつとっても地域ごとに多様である。ワインの個性は決して地質だけで説明できるものではなく、品種、作柄、気候、土壌、気温などが複合したものとして表現される。そのなかで、イタリア、フランスでは味や香りという官能の世界に、基礎的知識として地質を知ること、より理解が深まり豊かになることを地質家が示し、食文化をリードしていることは頼もしいことである。これらは日本において地質関連業が食文化・農業分野にどのように関与・寄与が可能であるかのヒントになるものと思われる。

ただ、日本の場合、たとえば食糧自給率だけみても、世界的に見てかなり厳しい現実があり、簡単にものを申せない状況がある。

農水省の試算によると、日本の食料自給率は、熱量ベースで、1960頃は80%近くあったものが、1993冷害で37%と極端に減り、その後やや持ち直したものの最近10年はほぼ40%で、先進各国中では最低レベルである。先に事例を示したフランスは120~130%、イタリアでも最近落ち気味であるものの60%以上を保っている。

地域、作物による差が顕著であるものの、米以外の大半は輸入に頼っているという事情がある。さらに後継者不足も深刻で、筆者の中学時代の友人に果樹栽培農家と米農家がいるが、いずれも息子に後を託そうにも、難色を示され嫌がっている。どの職種でもそうだが、将来に希望を持てる状況が必要である。

このような日本において「テロワール」という認識を、たとえば、ワインと同じ醸造酒ということで、米と酒の場合はどうであろうか。

日本酒の場合、醸造過程で水を用いるので、ブドウ品種とそのできのよしあしで味の大半が決まる『最も自然な酒』ワインと違うところであり、難しさもある。ブドウと違い、むしろ水の良し悪しが大きく左右する。酒米の品種と栽培地域の土壌、造り酒屋が用いる水の素性、とそれらの複雑に織りなす味と香りの世界、日本酒版テロワールは相当に難しそうである。

果樹栽培についてはもう少し地質の違いと地形―表層地質の違いから、栽培に適した地域の選定や味の特徴を記載し、ある地域の作物のもつ味の個性をより深く理解するうえで役立つかもしれない。たとえば果樹園の多くは丘陵地、山の斜面に展開している例が多い。福島盆地の果物畑は、福島盆地西側において、福島盆地西縁断層帯の活動で隆起側の水はけのよい緩斜面を利用している。宮城県利府町の梨畑は中生代三畳系の風化した丘陵緩斜面を主に展開している…などである。

しかしそのようなことは説明できても、それだけではどう発展できるか不明である。フランス、イタリアの場合でも、地質家とワイン醸造家の共同作業として、初めてテロワールの概念を展開が可能になっている。日本における場合でも、同様の連携が必要になるだろう。

## 7. ネガティブからポジティブに

フランスにせよ、イタリアにせよ、必ずしも最初から順調に今日のワイン文化が確立していたわけではない。フランスのワイン法は、大凶作の後、まがい物の流通を防ぐ対策として成立した経緯もある。結果的に法律的な整備や保護が後の発展の大きな要素になっている。

イタリアの場合も、ワインの消費量が減って何とかしようという危機感からスローフード運動やら、テロワールを学術セッションにするところまでもってきたともみることができる。困難を対処する方策は後ろ向きではなく、ポジティブに、楽しくおいしく展開することで、むしろいろんな説明が可能となって、食品の素性が明らかになって、ひいては食の安全にもつながっていくものと考えられる。

## 8. おわりに

ワインを初めとする醸造酒、その原料となる果物、穀物など味の微妙な差をいかに説明するか、けっして地質だけで説明できるものではないにしても、最も基礎である地質から「地味」(農産物の

生産力からみた地質のよしあし)を語る試みは価値があると思う。もともと地味な地質調査業ではあるが、地味を豊かにするために、食の分野、農

業分野との連携もひとつの選択肢かもしれない。ワインと地質がよきヒントを与えているものといえる。

# 地下流水音探査による崩壊発生場所の予測 —一般市民個人からの調査依頼に応えられるユニークな技術—

た だ やす ゆき  
多 田 泰 之\*

## 1. はじめに

日本列島は脆弱な地質と急峻な地形からなり、台風・梅雨などによる豪雨で風水害が生じやすい。そのため、わが国では明治時代まで1件の風水害で数千～万人規模の犠牲者を出してきた。しかし、今日では種々の防災対策が進み、1件の風水害による犠牲者数は数十人の規模にまで減少している。これは人口比に直すと約120万人に1人の確率であり、今日の国土がいかに風水害に対して強くなったかがよく分かる。一方で、わが国の経済発展は都市部に人口を集中させるとともに市街地を拡大させた。その結果、地域によっては宅地開発が山間部にまで及び、崖の直下や沢の出口に宅地が造成され、極めて土砂災害に脆弱な土地利用形態を生み出した。また、近年の温暖化は大規模な台風や集中豪雨の発生頻度を高めるなど、土砂災害の誘因の大規模化を招くことが予測されている。このような背景から、今後、少なくなった土砂災害による犠牲者数を更に少なくするには、土砂災害による死亡原因の内最も多い、崩壊に対する対策・技術開発が求められている。

一般に、崩壊の原因は地形・地質などの素因と地下水などの誘因に分けられ、両者の条件が揃った場合に発生する。これまで崩壊の発生しやすい場所の推定は、因子得点法・統計・数値解析などから評価されてきた。しかし、これらの方法は、地形・地質などの素因から危険な斜面を抽出する手法であり、誘因である地下水の評価は不十分であった。その原因は、広域な山地の何処に地下水が流れているかを簡便に調べる手法が無いためであった。

そこで、本稿では地下水の流れる「音」の強弱

から地下水が集中して流れる場所を特定し、豪雨時に崩壊の起こる場所を予測する試みを紹介する。

## 2. 地下流水音の性質とその探査

### 2.1 測定装置と測定方法

崩壊は豪雨時に発生する。これは雨水が土層中に浸透し斜面に地下水位が形成されることで、土の強度が失われるためである。そのため、広い山地の中で崩壊が起きる場所を特定するには、この地下水位が形成される場所を特定しなければならない。

一般に、谷型斜面では尾根型斜面に比べると地下水位が形成されやすく、崩壊が生じやすい。しかし、現実には尾根型斜面でも崩壊は発生している。これは、単純に現地地形のみで地下水位が形成されやすい場所を特定できないことを示唆している。例えば、平常時には岩盤深部に地下水位が位置するが、豪雨時に地下水位が上昇し、特定の岩盤の亀裂や地質境界などから湧出する事例や、過去の時代に谷であった場所が降灰や火砕流などによって埋没し、現在の谷の位置と一致しない事例などは、そのよい例である。このように、地下水位が形成されやすい場所は、現地地形のみでは特定できない場合が多く存在する。地形・地質などの素因から危険な斜面を抽出する手法の予測精度に限界があるのは、このような理由によるものと考えられる。

そこで、崩壊の発生する急勾配の斜面で、地下水位の形成されやすい場所を調べるために「地下流水音探査法」を開発した。

地下流水音の測定装置と測定の様子を写真1に示した。地下流水音の測定装置は、①センサー、②測定器、③ヘッドホンで構成されている。各部の機能は次の通りである。

\* (独)森林総合研究所 水土保持研究領域 山地災害研究室



写真1 地下流水音の測定の様子

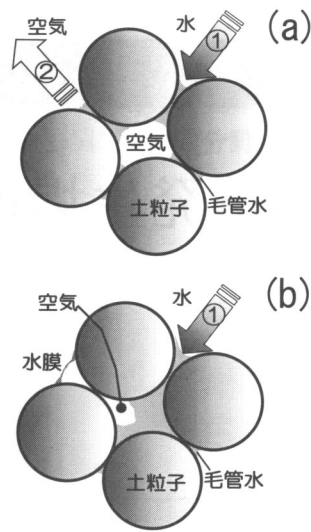


図1 土層中の水と空気の様子

①センサー：風等の雑音を防ぐために、 $\phi 0.8 \times 10$  cm のステンレス棒を写真1に示したセンサーへ取り付け、これを地表面へ挿入し地下流水音を捉える。

②測定器：測定器は、センサーで捉えた地下流水音を増幅する増幅回路、風等の雑音を遮断するフィルター回路、地下流水音の音圧を指示するレベルメータからなる。フィルター回路はセンサーで捉えた流水音のうち特定の周波数帯の音を取り出し、現場で発生する雑音に柔軟に対応できる。また、レベルメータによって、音の強弱を視覚的に判断できる。

地下流水音の測定装置は、総重量 900 g と非常に軽量であるだけでなく、最も大きい測定器のサイズは  $17.5 \times 7.0 \times 10.5$  cm と小型で、足場の悪い山地の作業に十分利用できる。

## 2.2 地下水流の発する音波

一般に、地下水位の形成されていない斜面土層は、図1(a)に示すように、土粒子間の空隙に空気と水が存在する不飽和状態となっている。不飽和状態では土粒子間の小さい空隙に毛管水が存在し、大きい空隙には空気が存在する。ここへ図1(a)に示すように①から水が浸入すると、土粒子間の空気は②へ押し出される。しかし、空気の抜け道には、土粒子間にある毛管水でふたがされているので、空気はこれを押しよけねばならない。このとき、シャボン玉を膨らませると同じように、土粒子間の空隙にあった毛管水は空気によって押し出され、図1(a)のように進行方向に水膜が生じる。そして、水が土粒子間の空隙をうめると同時に割れてしまう。この水膜が割れる瞬間に「ポコ」と気泡のはじける音が発生する。この気

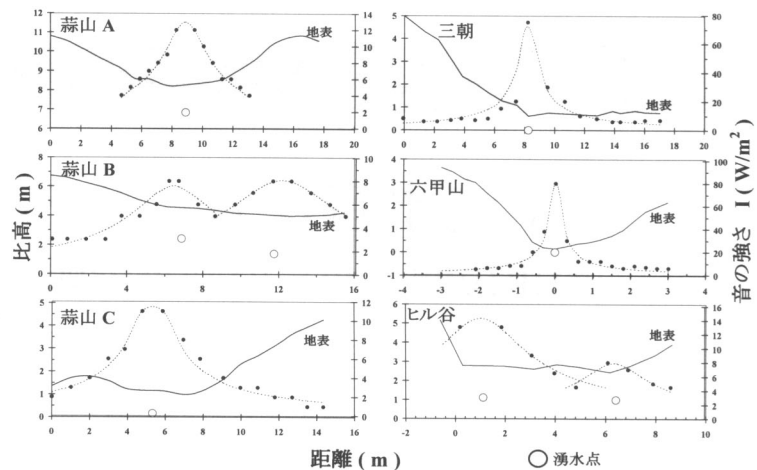


図2 湧水の位置と地下流水音の分布

泡の音色には「コロ」・「ポコ」・「ボコ」など音の高さの異なるものがある。これは土粒子間のすき間の大きさによって、気泡の大きさが変わるためである。大きい気泡は低い音を、小さい気泡は高い音を発する。このような大小さまざまな大きさの気泡が土の中で多くはじけることで地下水の流れる音は生じる。一方、地下水が多く流れている場所では、土の中の空気と水が盛んに交換される。つまり、地下水が多く流れている場所ほど多く気泡がはじけ、地下水の音の強さが強くなる。地下流水音探査は、平常の降雨後にこの音の強い場所を探すことで地下水の流れる場所を特定している。

## 2.3 湧水の位置と地下流水音の分布

地質や地盤の密度の異なる自然斜面において、地下流水音探査を行った事例を紹介する。図2は、岡山県蒜山高原、鳥取県三朝町、兵庫県六甲山、岐阜県上宝村ヒル谷の、湧水が確認された場所の周辺で、地下流水音を測定した結果である。図中の実線は地表面の形状を、○は湧水点、あるいは降雨時の湧水によってできた地中の穴（地中パイプ）の位置を表している。また、●は、地表面で測定した地下流水音の強さを表している。何れの調査地においても○で示した湧水点の直上で地下流水音が最も強く、湧水点から離れるほど地下流水音は弱くなる。また、蒜山Bやヒル谷に見られるように、この傾向は湧水点が複数存在する場合も同様である。

このように、斜面のどこを流れているか分からない地下水の位置は、地下を流れる水流の発する音の強さから特定することが可能となった。

## 3. 崩壊の場所と地下流水音の強さ

崩壊が既に起きた場所で地下流水音の強さを調べてみた。図3は15年生のスギが植林された花

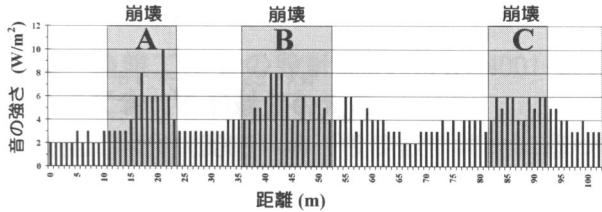
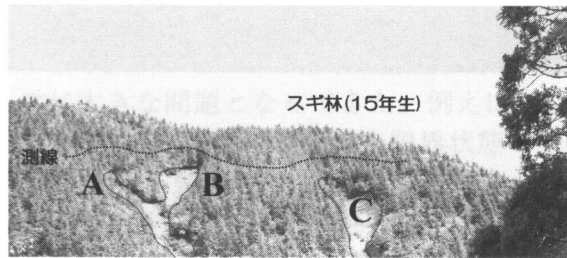


図3 崩壊地での地下流水音の測定例

崗岩を地質にもつ山で発生した崩壊の写真である。この山にはA・B・Cの3つの土層厚の薄い崩壊が生じていた。この3つの崩壊の上方、写真中の破線で示した位置で地下流水音を測定した結果を、図3のグラフに示した。グラフの横軸は距離を、縦軸は地下流水音の強さを表している。また、図中の灰色のハッチは、写真に示した3つの崩壊の位置を表している。

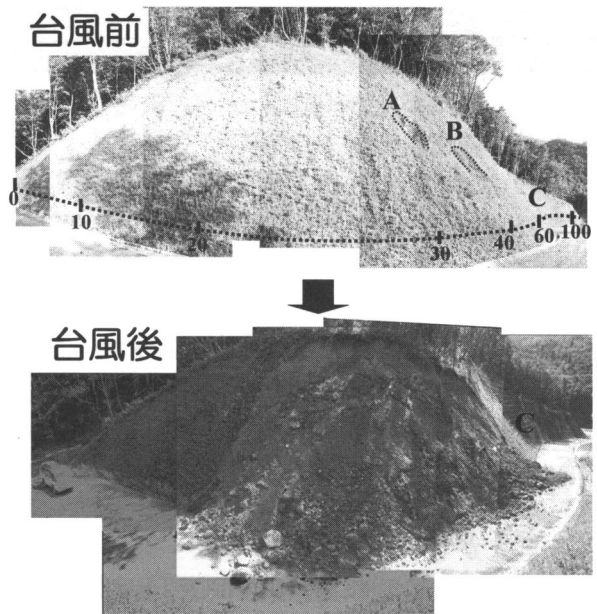
崩壊の起きていた場所では、周囲に比べて地下流水音が強く、地下水が集中して流れている場所で崩壊が生じていることが明らかとなった。このような結果は、谷型・尾根型などの斜面形状や地質の種類に関係なく、他の多くの斜面で確認された。山の中で地下水の流れる場所を知ることが、崩壊の発生場所を予測するために極めて重要であることが明らかとなった。

#### 4. 地下流水音による崩壊の場所の予測

今後崩れる危険性の高い場所の予測を写真2の上側に示した林道法面で試みた。調査では、写真2の上側に示した林道法面の破線の位置で地下流水音を測定した。その結果、法面には図4に示したように地下水が集中し、崩れる危険性が高いと考えられる地下流水音の強い場所(図4中の矢印の範囲)が発見された。

その後、台風によって連続雨量約200mmの降雨があり、この法面では写真2の下側に示すように崩壊が発生した。この台風で発生した崩壊の範囲を図4に照合すると、崩壊は地下流水音の強い図4中の破線の範囲で発生していることが明らかとなった。

これらのことから、「地下流水音探査法」が崩壊の危険性の高い場所を探すのに有効であることを確認できた。



地下流水音の強い場所で崩壊が発生

写真2 台風前後の林道法面の様子

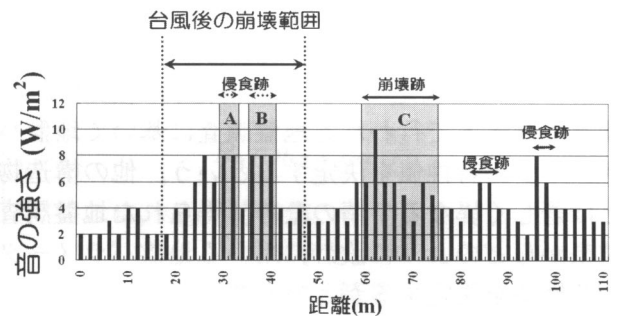


図4 台風前に測定した地下流水音の分布

本手法は従来地質調査で用いられてきた電気探査等に比較すると、簡便かつ低コストなものであり、今後研究の蓄積は必要であるが、本稿の副題にもあるように、「うちの裏山は大丈夫だろうか?」といった、一般市民個人からの調査依頼に応えられる可能性を秘めているのではないかと考えている。今後は、一人でも多くの人を土砂災害から守るために、誰でも簡単に地下水の流れる場所を特定できるように測定器に改良を加え、この手法を広く普及させたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 多田泰之・藤田正治・堤大三・小山敢・河合隆行 (2005): 地下流水音による地中水みち経路の推定, 水工学論文集, No. 50, p. 283~288
- 2) 多田泰之・藤田正治・堤大三・小山敢・河合隆行・奥村武信 (2007): 地中水みちと崩壊発生位置の関連性, 砂防学会誌, Vol. 60, No. 4, p. 25~33
- 3) 多田泰之 (2008): 地下流水音を用いた崩壊発生場所の予測について, 水利科学, Vol. 52, No. 5, p. 83~115

# 地質リスクを考慮した地盤調査

ほんじょう ゆうすけ\*  
本城 勇介\*

## 1. まえがき

最近10年ほどの間、特にWTO/TBT協定に基づく日本政府の政策、欧州におけるStructural Eurocodesの制定が明確になったことなどを背景に、設計コードの性能規定化や限界状態設計法の概念に基いた改定が盛んである(本城, 2002, 2004, 2010; 本城・松井, 2004)。特に地盤構造物関連の設計コードの改定では、地盤構造物の設計では、個々のサイトで行われる地盤調査に基いて地盤パラメータの特性値を決定するという、他の構造物とは著しく異なる事情のため、得られた地盤調査結果からどのように設計に用いる地盤パラメータの特性値を決定するかと言う問題が、一つの焦点となっている。特にEurocode7の開発では、この問題が終始議論され、多くの関心を今も集めている(CEN, 2004; Orr and Ferrell, 1999)。この小文で、どの程度の地盤調査を行うべきかという問題も関心を集めている。この発表では、この特性値決定の問題について、最近の設計コードにおける動向を述べ、さらにこの問題に対する筆者の将来展望について述べたい。

特性値決定の問題に関連して、筆者は実務者からしばしば、バラツキのある地盤調査データから

地盤パラメータの特性値をどのように決定すべきか、また何個位のサンプルを取れば充分なのか、さらに調査ボーリングの間隔をどの位にすべきかを問われる。しかしこれらの間に答えるためには、「何をどの程度正確に知りたいのか」という前提が明確でなければ、答えることができない。また、設計する構造物と地盤調査地点の位置関係も当然問題になる。

## 2. 設計コードにおける地盤パラメータ特性値

### 2.1 設計コードの開発と特性値の定義

図1は、Ovesen (1993) がEurocode7の開発の中で提案したものである。この図は、地盤構造物の設計を構成する要素を説明したものである。設計では、荷重、地盤パラメータ(各土層の力学特性、土層構成、地下水の状態等)を決定し、計算モデルにより照査を行って構造物の諸元等を決定する。このときそれぞれの要素は不確実性を持つので、これを考慮して、その上で適切な安全性の余裕を導入する必要がある。この安全性余裕の程度を合理的に与えるのが、設計コードの役割であり、設計の課題である。

このような点が認識されると、地盤工学における設計が、鋼やコンクリートといった工業的に規格化された材料を用いる場合と大きく異なることが理解される。自然が提供する材料である地盤では、サイトごとに地盤調査と試験を行い、その地盤パラメータの値を決定しなければならない。どのようなサイトに建設される地盤構造物でも、コード作成者が意図した、種々の限界状態に対する同程度の安全性余裕を確保するためには、各サイトで求められる地盤パラメータの特性値の決定方法が、ある程度標準化されている必要がある。そうでないと、地盤調査者や設計者の恣意的な判断

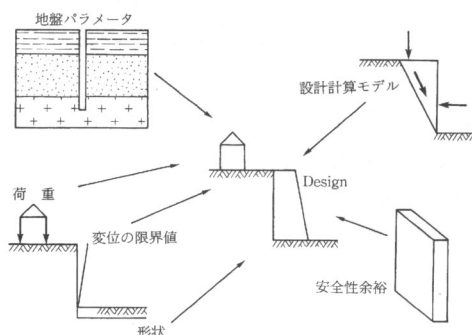


図1 地盤構造物の設計に関わる諸要素

\* 岐阜大学工学部社会基盤工学科教授

により、導入される安全性余裕が、まちまちになってしまう。この理由により、特性値の決定方法は、常に大きな問題となってきた。例えば Eurocode7 では、これを「特性値は、限界状態の発生に影響を与える値の注意深い推定値 (cautious estimate)」と定義している。しかし、この定義をめぐる議論は依然として決着していない。

## 2.2 地盤工学会の設計原則 (JGS4001-2004) における特性値の定義

地盤工学会 (2005) の「性能設計概念に基づいた基礎構造物等の設計原則」(JGS4001-2004) では、地盤パラメータの特性値の定義を、次のように与えている (2.4.3 節)。

- a) 特性値は、設計で検討する限界状態を予測するための基礎・地盤のモデルに最も適切な値として推定された地盤パラメータの代表値である。
- b) 特性値の決定にあたっては、理論や過去の経験に基づき、地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。
- c) この特性値は、原則として導出値の平均値 (期待値) である。この平均値は、単なる導出値の機械的な平均値 (算術平均値) ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案しなければならない。また、地質学的・地盤工学的な知見や過去の類似のプロジェクトで得られた経験を十分に反映し、複数の調査・試験法の計測結果の整合性 (調和性) なども総合的に判断して求めた注意深い平均値の推定値でなければならない。

ここで、もっとも重要視されなければならないのは、地盤パラメータの特性値を平均値と規定していることである。このことによりこの値の決定に「安全側を見よう」等の、地盤調査者や設計者の恣意的な判断が入ることを避けようとしている。一方で、平均値を求めると言う明確な目標を与えることで、地盤調査結果の解釈に必要な多くの有益な工学的な判断 (Engineering judgment) は、これを奨励している。

なお、特性値に平均値を採用すべきであるという大きな理由に、設計計算で用いるモデルが複雑になるほど、基礎構造物の設計では、地盤と構造物の相互作用のため、個々のパラメータの値を割引いたほうが安全か、割増したほうが安全かは

概にいえない場合が多くあると言う点がある。

さらに、設計者が設計のなるべく最後の段階まで、構造物のもっともありそうな挙動を追跡できるような設計法が、特に地盤構造物のように工学的判断を必要とする構造物の設計では、好ましいということも、特性値に平均値を用いるべきであるという理由である。

## 2.3 特性値の決定と地盤調査

さらに設計原則 (JGS4001-2004) では、一般的な統計理論を用いて、下記のように特性値を決定することを、その備考で述べている (2.4.3 節の備考)。

ばらつきを持った導出値の頻度分布に基づいて特性値を設定する場合、データを地質学的・地盤工学的知見や過去の経験に基づいて十分に吟味し、異常値と判断されるものを取り除いた後、算術平均値を算出する。特性値は、平均値の統計的な推定誤差を次の式により考慮して決定する。

$$R_k = m_R \pm t_{\alpha, v} \frac{S_R}{\sqrt{n}}$$

- ここに、 $R_k$  : 特性値,  
 $m_R$  : 標本平均,  
 $S_R$  : 標本標準偏差,  
 $t_{\alpha, v}$  : 自由度  $v$  の  $t$ -分布の  $\alpha\%$  点,  
 $v = n - 1$   
 $n$  : 標本数 である。

また  $\pm$  は、当該基本変数の性質により、安全側となるようにとる。

この定義は、得られているサンプルが独立に同一の正規分布に従っているという、標準的な統計学のもっとも一般的な仮定に基づいている。このような考え方は、Eurocode7 の特性値の推定でも応用されている (Orr and Farrell, 1999)。

「地盤コード 21」のこのような考え方は、最近改定された「港湾の施設の技術上の基準」(港湾教会 2007) や、現在改訂作業が進行している道路橋示方書でも採用されており、今後の日本の設計基準の基本的な考え方となって行くと考えられる。

## 3. 地盤調査の将来像

最後に、地盤調査と地盤パラメータの決定の将来像について簡単に触れておきたい。

種々の不確実性を考察の対象とし、これらの不確実性に対して適切な安全性の余裕を持つ構造物

の設計を行う信頼性設計法では、通常次のような不確実性要因を考える。

- ① 物理的不確実性：地盤特性の空間的バラツキ，材料の品質のバラツキなど。
- ② 統計的不確実性：限られた調査から地盤特性を把握するときに生じる推定誤差。
- ③ モデル化誤差：複雑な現象を単純化・理想化したモデルで近似する誤差。
- ④ ヒューマンエラー：人為的に混入する不確実性。勘違い，計算間違いなど。

実際に信頼性設計解析を行う場合，これらの不確実性が相互にどの程度の高さで解析結果に影響を与えるかを把握した上で，地盤パラメータの特性値を決定する。特に地盤構造物では，地盤パラメータの空間的なばらつきと，調査位置と数が限定されていることから，統計的不確実性との関係と取り扱い，重要な問題である。最近では多くの研究成果が，統計的不確実性が予想以上に地盤構造物では支配的であることが，共通の認識となりつつある。しかし，この問題を完全に定式化して，定量的に提示した研究はまだ見られていない。

水文学では，30年位前は現在では集中型モデルといわれる方法が主流であった。流域降雨と流出曲線の推定が，河道設計においては重要な問題であった。リモートセンシングや各種の降雨測定技術，データ処理能力の飛躍的な進歩により，現在ではいわゆる分布型モデルといわれる流出解析が主流となっている。そこでは，流域をメッシュ上に区切り，空間的にリアルタイムで収集されるデータを処理して，より正確な予測がなされる。

地盤調査の問題においても，すでに調査地点と構造物の相対的な位置，調査の数や質を考慮したモデリングが行われている。このような方法が，その不確実性の定量化を含めて一般化すれば，地盤調査においてもリスクを考慮した合理的な調査の位置，数，質などが決定されてゆく時代がくるのではないだろうか。その端緒は，すでに見え始めていると思われる。

#### 参考文献

- 1) CEN 2004, 1997-7: *Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 1: General Rules*.
- 2) 本城勇介 (2000): 包括基礎構造物設計コード「地盤コード 21 Ver. 1」の提案, 土と基礎, Vol. 48, No. 9, pp. 17-20.
- 3) 本城勇介 (2002): 地盤構造物の性能設計, 土と基礎, Vol. 50, No. 1, pp. 1-3
- 4) 本城勇介・松井謙二 (2004): 地盤工学分野における国際的な設計コードの動向と展望, 土と基礎, Vol. 52, No. 2, pp. 17-20
- 5) 本城勇介 (2004): 地盤構造物の設計論と設計コード, 土と基礎, Vol. 52, No. 12, pp. 10-14.
- 6) 本城勇介 (2010): 性能設計, 地盤工学会誌, vol. 58, No. 1.
- 7) 地盤工学会 (2005): 「性能設計概念に基づいた基礎構造物等の設計原則」(JGS4001-2004)
- 8) Orr, T.L.L. and E.R. Farrell 1999, *Geotechnical Design to Eurocode 7*, Springer—Verlag, London.
- 9) Ovesen, N.K. (1993): Eurocode 7: A European code of Practice for Geotechnical Design, Proc. International Symp. Limit State Design according to Eurocode 7, pp. 1-20.



# これまでの軌跡～これからも・・・

おか のぶ じ  
岡 伸 次\*

## はじめに

私は、平成2年4月に地質調査業の業界にお世話になり、本稿を執筆している平成21年10月で約20年が経過しました。

この20年間、入社当初から現在にいたるまで、業界の主たる業務である地盤調査、防災関係の調査・設計、当時流行していた物理探査（高密度電気探査など）を経験し、現在は土壤汚染に関する調査・対策工事に携わっています。

以下に、私が現在に至るまで経験してきた仕事（現場および業務）と当時の感想について紹介します。

## 1. 入社～3年目時代

平成2年4月に入社して、初めての仕事は、「図面の色ぬり」でした。当時は、報告書が“青焼き”の時代であり、A0およびA1サイズ（まれにB0）の平面図、縦断図および横断図の着色を色鉛筆で行っていました。図面の出来映えは、ムラだらけだったことを今でも鮮明に覚えております。

現場でボーリング作業を初めて見たのは、某市営住宅の建て替えに伴う土質調査の現場でした。

当時は、図1に示すハンドフィード型ボーリングマシンで作業をしていました。今日は、図2のオイルフィード型ボーリングマシンが普及しており、ハンドフィード型ボーリングマシンを見かけることはほとんどなくなりました。

この頃のことでも最も記憶に残っているのは、ボーリング屋さん（オペレーターおよび助手）がモンケン（63.5 kgの鉄の塊）を担ぎ上げたのを見たときでした。私は、学生時代にラグビーをしており、力持ちを自負しておりましたが、彼らには決して力自慢をしないことを堅く誓いました。

## 2. 3年目～5年目

このころになると、現場での作業や業務の全体像をそこそこ覚えてきた時期で、上司、先輩と一緒にではなく一人で現場に行くようになり、出張も経験しました。

最初の出張は、山間部におけるゴルフ場造成に伴う地質調査の現場でした。この現場で、岩盤ボーリング、岩盤の透水試験、弾性波探査を経験しました。

当時、携帯電話を持っていなかったため、その場で判断出来ないことは、公衆電話がある所まで

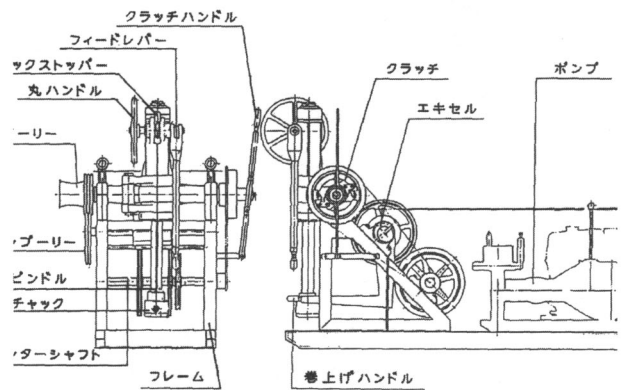


図1 ハンドフィード型ボーリングマシン

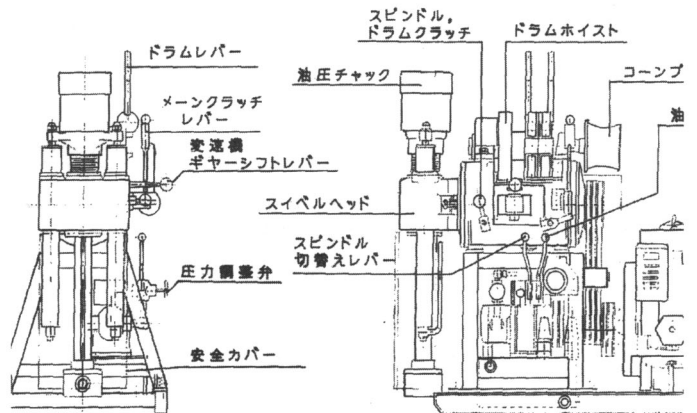


図2 オイルフィード型ボーリングマシン

\* 中央開発株式会社関西支社

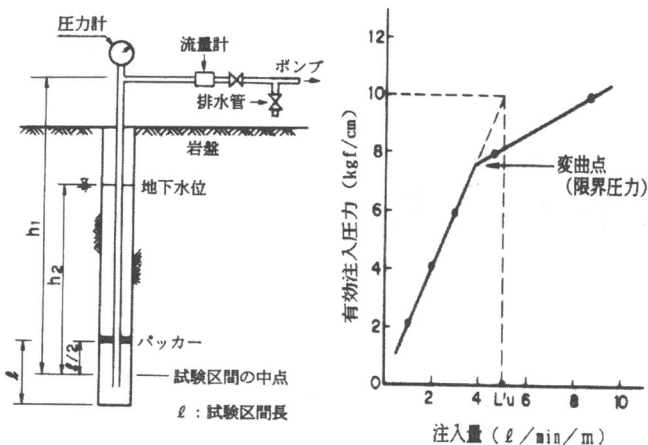


図3 透水試験概要図

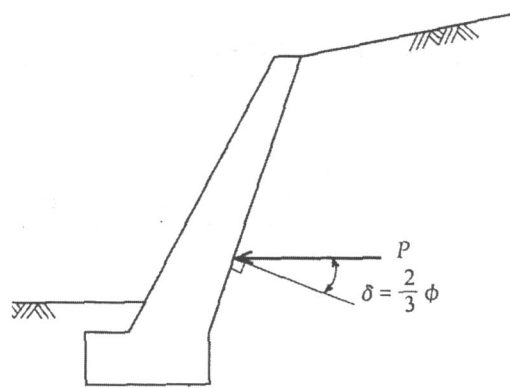


図5 もたれ式擁壁 (土圧作用位置)

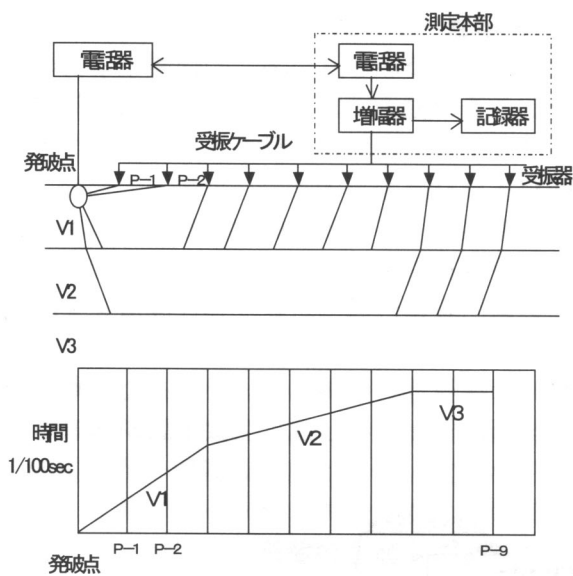


図4 弾性波探査装置と走時曲線

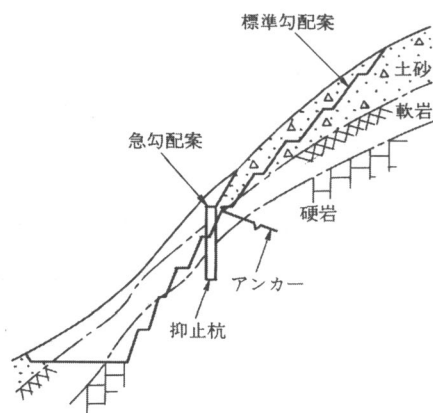
走り、報告、連絡、相談をしていました。

### 3. 6年目～7年目

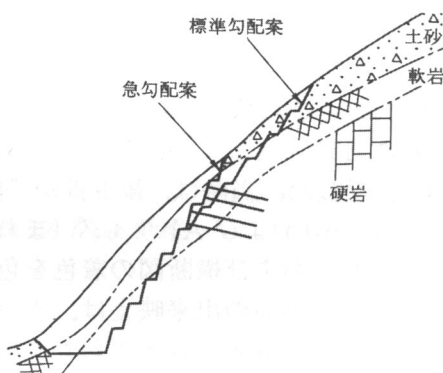
構造物基礎の設計・施工のための地盤調査、山間部における大規模造成工事を経験し、これらの経験をもとに、当時興味を持っていた斜面防災に関する調査から設計を行う機会を得ました。

斜面の安全性を評価する上で、地盤定数あるいは岩盤評価をシビアな数値に設定することに迷うことはありませんでしたが、対策工の設計となると容易

ではありませんでした。例えば、擁壁の設計では、設計条件および地形条件等を考慮して、最適な位置に設計したとしても、関係者の理解が得られるまで10cm単位で設置位置を変更することを受け入れることが困難でした。個人の都合が優先されて、公共構造物が作られることへの矛盾との戦いでした。



(a) 抑止杭+アンカー案



(b) アンカー案

図6 切土部分の対策工

### 4. 8年目～14年目

この6年間は、これまで培ってきた地盤調査に関する経験とわずか2年程度ではありましたが実際に設計業務に従事した経験をもとに、構造物基礎の設計・施工のための地盤調査、地下水調査、軟弱地盤解析や地すべり機構解析を担当しました。

具体的な業務内容は、地表踏査やボーリング調査、室内土質・岩石試験などの調査に加え、高密度電気探査(物理探査)を併用した調査・解析を行うようになりました。

凡例

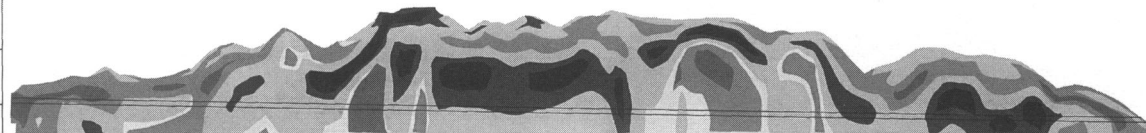
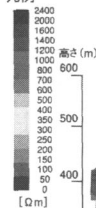


Table with 48 columns and 15 rows containing geophysical data points and text descriptions.

図7 地盤モデル (高密度電気探査)

5. 15年目～現在

約5年前から、土壌・地下水汚染に関する業務を担当することになりました。

これまでの、ボーリングをして土を採取することはあっても、水を採取することは初めてのことでした。

1年程すると、土や水を採取するといったハード面での土壌調査に関して要領を得られるようになりました。

高密度電気探査に関しては、測定準備～現地測定～解析までを担当することができ、地形条件や地質条件によって測定方法を適宜選定することや解析を行う際のノウハウを当時は身につけることができました。

また、ボーリング調査結果による地質断面と高密度電気探査の解析断面をいち早く比較・精査することができ、現地の測定状況も踏まえた評価を行っていました。

ボーリング調査という従来から行われている調査手法に加えて地盤を面的に可視化するための物理探査に携わることもできました。

土壌・地下水汚染調査を始めたころは、化学に関する知識がほとんどなかったのに、『門前の小僧、習わぬ経を読む』といった諺があるように、少しずつではありますが、土壌・地下水汚染に関する知識をため込んでいるところです。

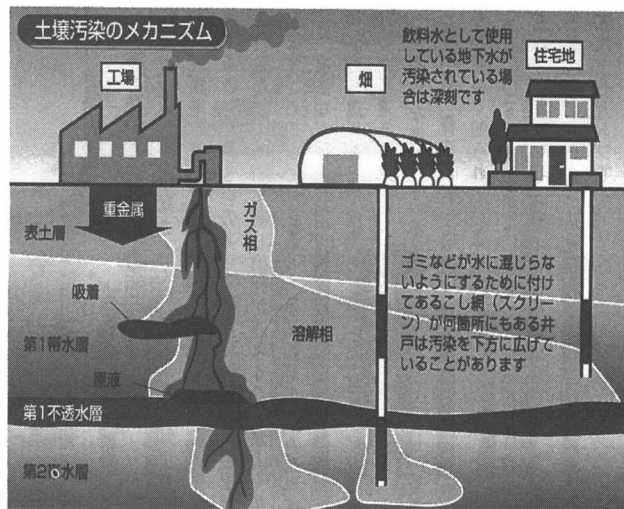


図8 土壌汚染のメカニズム

私は、実際に手にとって土をさわったりすることで、この業界に入ってボーリング調査に携わった頃のことを思い出し、どこか懐かしさを感じています。

最近では、土壌・地下水汚染調査から浄化工事までの業務も担当するようになりました。

これまで、調査業務だけを行って来ましたが、工事については土壌・地下水汚染調査と同様で初めての経験でした。

土壌・地下水浄化工事には、土質および地下水の情報が不可欠であり、工事計画を行うにあたってはこれらの情報が重要となります。

今後は、土や地下水の状態に詳しい当業界に対して汚染原因の除去、周囲への汚染拡散防止のための対策工事を任されるが増えてくると考え

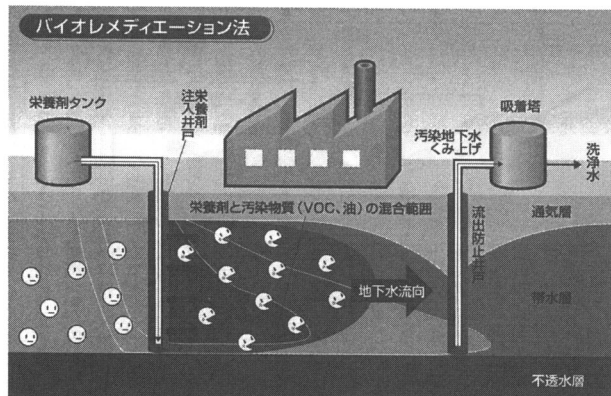


図9 浄化工事（原位置分解）

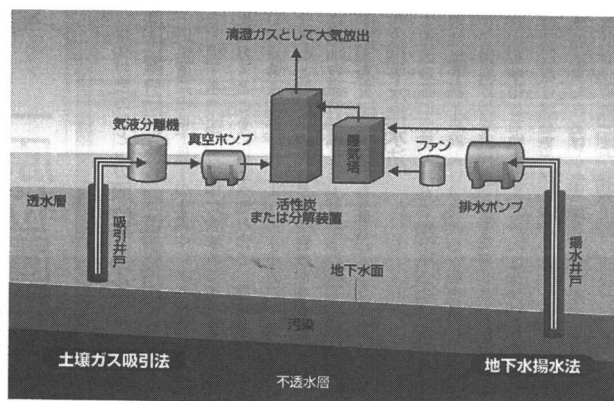


図10 浄化工事（原位置抽出）

## 6. これから・・・

これまで携わってきた仕事を振り返ると、構造物基礎調査、斜面防災に関する調査・設計、軟弱地盤調査、地質調査、物理探査と様々な調査に携わってきました。

次は、どんな業務を行うことになるのだろうか。実をいうと非常に楽しみにしています。

新しい業務では、改めて新入社員時代のように新鮮な気持ちをもって取り組むこともできるからです。

私は、どんな困難なことに対しても、これまでも、これからも、『気合いと根性と自信』を持って諦めないで切り抜けるしかないと思っています。

本稿を執筆している時まで、大きな事故を起こす事もなく、業務を遂行することができました。良き指導者、親切な周囲の方々、優秀な後輩達に恵まれたことの結果であると考えております。

私は、生涯現役でありつづけたいと思っておりますので、今後も関係各位の皆様には、ご指導、ご鞭撻の程よろしくお願いたします。

## 参考文献

- ・ 関東地質調査業協会：新編 地盤調査の実務
- ・ 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針
- ・ 日本道路協会：道路土工 のり面工・斜面安定工指針
- ・ トンネル調査研究会編：地盤の可視化と探査技術 比抵抗高密度探査法の実際
- ・ NPO 土壤汚染技術士ネットワーク：イラストでわかる 土壤汚染

ます。

## 各地の博物館巡り

### 琵琶湖疎水記念館



写真1 訪問者で賑わう琵琶湖疎水記念館

#### はじめに

京都市営地下鉄東西線「蹴上」からインクライン沿いの坂道を下ると、本日紹介する「琵琶湖疎水記念館」があります。

この記念館は、平成元年、京都市により琵琶湖疎水竣工100周年を記念し建てられたもので、昨年10月に開館20周年を期にリニューアルオープンしたばかり。

筆者は、5年ほど前に1度訪れたことがありましたが、展示物も増え、なお見ごたえのある資料館となった印象です。

筆者が訪れた日曜日も、子供連れの家族、制服姿の学生、年配のご夫婦など、様々な年代の訪問者で賑わっていました。

ここで、以下に展示物等のご紹介をする前に、「琵琶湖疎水」についての簡単にご説明を。

京都にとっては、古くより琵琶湖の水を得ることが祈願でした。さらに、それまで都として栄えた京都が、明治維新による東京奠都に伴い衰退の危機にさらされます。

その状況を憂いた、時の京都府知事・北垣国道は、祈願であった琵琶湖の利水実現と京都のまちへ活力を取り戻すことを目的として、疎水建設を構想します。

そして、その構想を実現させるために着任したのが、当時、東京の工部大学校を卒業したばかりの田邊朔郎をはじめとする技師たちです。

明治18(1885)年に着工した疎水工事は、5年後の明治23(1890)年に第1疎水の竣工を迎えます。その後、発電所や浄水場、第2疎水の建設も進み、現在の京都のまちの骨格ともなるインフラの基礎が出来上がります。

#### 各階の展示資料紹介

ここからは、記念館内の各フロアの展示内容をご紹介します。

##### 1階 第1展示室

琵琶湖疎水の計画や建設の過程を知ることのできる資料が展示されています。その中でも疎水建設に尽力した、府知事・北垣国道、測量技師の島田道生、土木技師の田邊朔郎などに関わる資料が多く展示されています。

また、疎水工事では、当時、総延長日本一となる2436mのトンネルが建設されましたが、その工事が全工事の中でも最大の難工事と言われました。その工事に際しては、日本初の堅坑を採用しています。

同展示室には、当時の堅坑内での作業状況を示した模式断面図が、絵画のように美しい測量実測図らとともに展示されています。

その他にも、琵琶湖疎水や水道に関する資料を閲覧できる図書閲覧室もあります。

##### 地階 第2展示室・第3展示室

第2展示室には、琵琶湖疎水の果たした電気事業、運河事業、水力事業など様々な役割についての資料が展示されています。

第3展示室には、現在の京都のまちの基盤を形成した京都市3大事業や水道事業に関する展示がされています。

また、ここでは、記念館の南に位置する蹴上発電所周辺の復元模型も展示されており、建設当時から現在に至るまで、この疎水事業が京都のまちにとって重要な役割を果たしていたかを改めて実感させられます。

## 訪問を終えて

当時の技術的制約の多い環境での難工事に従事した、学校を出たばかりの田邊朔郎技師の活躍ぶりを思うと、現在の技術者としても見習うべきことが多くありました。その中でも、当時、適用例のない様々な工法を現地施工へと落とし込む吸収力、発想の柔軟性、そしてそれらを用いた工事を実現させる意志の強さは、同じく若輩の技術者として大いに見習うべきと感じました。

また、ここで、この記事を見ていただいて訪問を検討していただいている方へご提案を。

資料館の充実した資料群はもちろんですが、記念館周辺に残る関連の産業遺産もぜひ一緒にご見学を。それらを目の当たりにすると、改めて、この事業、そしてそれらを成功させた技師たちの偉大さを感じることができるかと思います。

近くには、南禅寺や無隣庵をはじめとする観光名所も多いことですし、ぜひじっくり時間を割いてのご見学をお勧めいたします。

最後に、今回の訪問では、井垣館長に展示物のご説明を伺いながらの見学ができ、展示物を眺めるだけでは見えづらい、当時の時代背景や工事の過酷さについて、詳細にお教えいただきました。

紙面を借りて、改めて井垣館長をはじめとする職員の皆さんへ御礼申し上げます。

## お問い合わせ

琵琶湖疎水記念館

〒606-8437 京都市左京区南禅寺草川町 17

TEL.075-752-2530/FAX.075-752-2532

開館時間

3月1日～11月30日 午前9時～午後5時

12月1日～2月末日 午前9時～午後4時30分

休館日

毎週月曜日（月曜日が祝・休日の場合、翌日休館）

年末年始（12月28日～1月3日）

アクセス

市営地下鉄東西線「蹴上」下車徒歩7分

市バス5系統、57系統「法勝寺町」下車徒歩4分

参考 URL

<http://www.city.kyoto.lg.jp/suido/>

（松尾賢太郎 中央開発株式会社関西支社）



写真2 疎水建設当時の実測図



写真3 蹴上地区周辺の復元模型

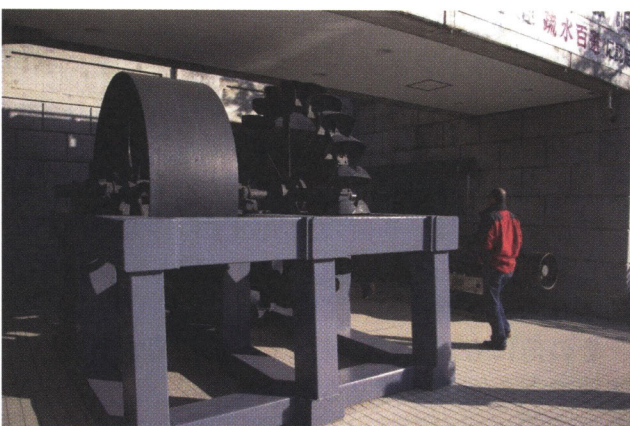


写真4 野外に展示されるペルトン式水車

### 2階 廊下西側・東側展示

ここでは、現在の琵琶湖疎水の写真や、琵琶湖についての記念碑、トンネルに掲げられた扁額などの写真が展示されています。

また、同階には約40名まで収容可能なAVホールも完備されています。

### 屋外展示スペース

記念館周辺のスペースには、水力発電所で使用されたペルトン式水車やスタンレー式動力用発電機などが展示されています。

# 車窓から見る地形・地質

## 加賀の白山 石川県加賀市～金沢市 JR 北陸線

### はじめに

JR 北陸線は、滋賀県米原市から新潟県上越市を結ぶ 353.8 km の鉄道である。この内、石川県を通るのは加賀市から河北郡津幡町の区間であり、県境付近以外はほとんど平野部を通過している。平野部の区間で南東方向に目をやると、前衛の山並の奥の奥にそびえる白山が見える。

白山は、日本国内において 2000 m 以上の最西端の山であり、さらに豪雪地域であるため、前衛の山々が緑あふれる春でも遅くまで残雪が残り、晩秋には紅葉した山々の奥に早くから冠雪して白くそびえている。このため白山という名がついたようである。

石川県内の JR 北陸線で唯一海に近い場所が手取川河口付近である。手取川は白山を源とする河川で平野部では扇状地を形成しており金沢平野が広がり耕作が盛んである。この水は白山の恵みの一つである。

以下に、北陸線の金沢平野から見える風景の近景から順に奥へ紹介する。

### 手取川扇状地

手取川は古く暴れ川として河道を変化させ、長い年月を経て現在の位置（扇状地左岸端付近）となっている。この暴れ川は洪水時に白山やその周辺から多くの土石を運搬して扇状地を形成している。扇頂は旧鶴来町であり北陸線が通る付近は扇端に当たる。扇状地上の集落は、洪水を避けるために微高地に立地しており、島集落と呼ばれる景観を形成している。主に扇状地中流域において現在でも「水島」「田子島」「源兵島」などの地名が残っている。

### 前衛の山並

白山を望むと、平野との間には 3 つの高度が異なる地形が見られる。手前より能美丘陵、能美山地、加賀山地である。このうち加賀山地には白山も含まれている。

能美丘陵は、標高 200 m 以下の低平な地形を示しており、構成する地層は砂礫を主体とする中期更新世の未固結堆積物である。地形がなだらかなため造



図 1 JR 北陸線の位置



写真 1 白山の遠景（手取川鉄橋付近より）



写真 2 手取川扇状地（手取川鉄橋付近より）

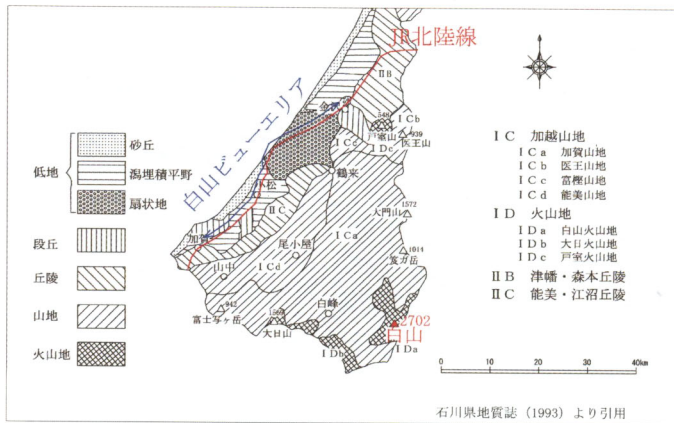


図2 石川県南部の地形区分

成が容易で工場や団地などが近年建設されている。

能美山地は、標高 200～500 m の小起伏山地であり加賀山地の前山的性格の山地である。構成する地層は新第三紀中新世の火山性岩石である。ここに分布する凝灰岩は加工が容易なため古くは石材として切り出していたようである。浸食に対する耐性が弱い地層であるため、手取川では深い矩形の谷を形成し、手取峡谷として知られている。

加賀山地は、標高 1000 m 以上のピークを有する大～中起伏山地であり石川県内では最も標高の高い山地である。構成する地層は、飛騨変成岩や中生代の堆積岩よりなる。中生代の地層はジュラ紀～白亜紀の手取層群であり、恐竜の化石が多く産出していることで有名である。また、手取層群分布地は、1874 年にドイツ人学者ラインが旧白峰村の手取川沿い（桑島化石壁）で採取した植物化石についてガイラーがまとめた研究や、1894 年に小藤文次郎が手取川流域の地質調査を行い日本初の日本語で書かれた地質調査報告書を発表するなど、日本における地質学・古生物学研究の発祥の地ともされている。

## 白山火山

白山は、石川、福井、岐阜の 3 県にまたがる火山であり、富士山、立山とともに日本三名山のひとつに数えられ、信仰の山としても知られている。白山という名の峰は存在せず、御前ヶ峰 (2702 m)、剣ヶ峰 (2677 m)、大汝峰 (2684 m) の白山三峰を中心とする周辺山峰の総称である。

白山は成層火山とされているが、火山活動の変遷や崩壊などにより白山三峰の北側が欠落しており富士山や浅間山のような美しい円錐形は消滅している。このためゆったりとした山容に見える。北陸線より見える部分の白山火山噴出物の分布は標高 1500～2000 m 以上の部分であり、その下位には手取層群が分布している。このため白山はほ



写真3 白山山頂付近（左剣ヶ峰、右御前ヶ峰）大汝峰より望む

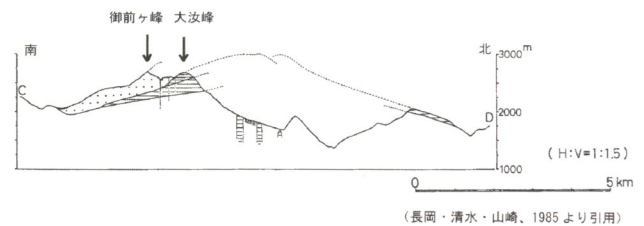


図3 白山の南北断面図

とんどが手取層群からなるようである。実際、登山してみると、登山道で見られる地層は、弥陀ヶ原手前の標高 2300 m 付近まで手取層群の礫岩や砂岩が見られる。

## おわりに

早春に遅くまで残雪を冠して唯一白色を残す白山、日本海に沈む夕日に照らされ薔薇色に染まる白山、晩秋にいち早く冠雪して冬の訪れを知らせてくれる白山、真冬の晴れ間に周辺の山よりさらに白く光る白山など、白山は遠くから見ても美しい山です。しかし、体力に余力がある方は是非登ってみてください。遠くから眺めるのとまた違った美しさを感じることができると思います。車で白山登山口へ向かう場合は手取川に沿って行きます。途中、手取峡谷や桑島化石壁があり、さらに上流には 1934 年の大洪水の時に支流の宮谷川から流出した高さ 16 m の大岩である通称百万貫岩も見られます。

白山の恵みは水であり、美味しいお酒、美味しいお米などもあります。別の白山の恵みとして温泉もあります。北陸地方に旅行を計画しているのであれば、是非、白山を眺め、白山に登り、白山を飲み食べ、白山に浸かってみてはいかがでしょうか。

## 参考文献

- 1) 石川県・北陸地質研究所：石川県地質誌，1993
- 2) 鮎野義夫：新版石川県地質図，1992
- 3) 石川県白山自然保護センター：白山火山噴火活動調査報告書，1991

[泉 正博 ((株)日研技術)]



# 沖縄県宜野湾市 豊富な湧水に支えられる 大山ターナム畑

## はじめに

私は東北地方の出身であるが、ここ沖縄県に引っ越して9年目になる。いまでこそ見慣れてしまった景色だが、エメラルドグリーンの海やどこまでも青に突き抜けた空を初めて目にしたときは、あまりの美しさに思わず咆哮したことを憶えている。沖縄県といえば多くの観光スポットがあることは言うまでもないが、これに勝るとも劣らず有名なのが沖縄郷土料理である。沖縄そばやゴーヤチャンプルーなど、沖縄に来たら是非とも食して頂きたい料理は多数あるが、列挙していたらきりがないので、ここでは特に私のお気に入りである「どうるわかしー」という料理を紹介しよう。沖縄観光経験のある方でも耳慣れない料理であるかと思うが、この料理はターナム（田芋：サトイモの一種）という沖縄特産の芋を中心にした料理で、お祝いの席などに出される縁起物である。いまでこそ頻繁に食卓へのぼるようになったターナムだが、貧しかった時代にはなかなか食べられるものではなかったという。



沖縄県宜野湾市大山のターナム畑

## 地形地質

沖縄県中南部に位置する宜野湾市の西海岸，こ

こに県内でも一、二位の生産規模を誇る広大な「大山ターナム畑」が広がる。

沖縄県南部地域の地質は、第三紀鮮新世の島尻層群を基盤岩とし、その上位に第四紀更新世の琉球石灰岩が不整合に分布する。島尻層群は泥岩層が卓越しているため難透水性であり地下水の遮水層としての役割を果たす。一方の琉球石灰岩は多孔質の岩盤、あるいは未固結砂礫状を呈しているため、豊富な地下水を蓄える地下水涵養層となっている。

宜野湾市においては、このような層序に加えて、島尻層と琉球石灰岩の地層境界が西傾斜を呈しているため、周辺地下水が一様に西へ流れる地質構造となっている。

宜野湾市の地形は、東部の石灰岩台地と西部の沖積低地に分かれる。西部を形成する沖積低地は、南北に走るいくつかの石灰岩段丘崖によって区切られており、最低位面はラグーン地形を形成している。したがって、西へ流れる地下水は段丘崖の脚部で豊富な湧水として地上に出現し、ラグーンへ流れ込むこととなる。

この湧水は戦前から生活水や農業用水として利用され、周辺市民の生活を支えてきた歴史を持ち、



宜野湾市の位置



現在の水源地 湧水量は豊富である<sup>2)</sup>



戦前から生活用水として利用されてきた豊富な湧き水<sup>1)</sup>

現在でもターンム畑の農業用水として利用されているのである。

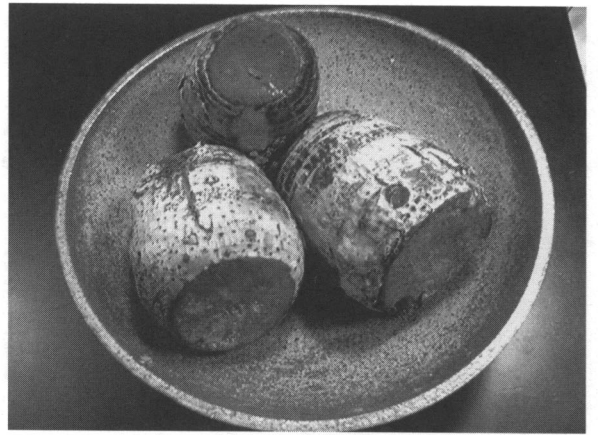
### 大地の恵、湧水を利用したターンム栽培

ターンム栽培農地の第一条件は、なんとと言っても豊富な湧水である。一年を通して湧水量が豊富であり、かつ一定の水温を保つ宜野湾市大山はターンム栽培にはもってこいの土地というわけだ。また、豊富な湧水があれば栽培が簡単であることもターンムの特徴である。

ターンムは、稲田の周辺で副次的に栽培される事が多く、大山ターンム畑のように専用の水田で栽培されることは珍しい。しかし、ターンムの味は水田に用いる水質に左右される。そのため稲田の周辺で栽培されたものよりも、湧水域のターンム専用水田で栽培されたもののほうが味がよいとされており、大山ターンム畑産のターンムは高級品として取引されてきた。

島尻泥岩と琉球石灰岩の地質構造がもたらす豊富な湧水を利用して栽培されるターンムはまさに大地の恵といえよう。

現在では、稲作の消滅に伴ってターンム畑の数も少なくなり、専用水田で大規模に栽培されるタ



茹でたターンムです

技術eフォーラムで沖縄を訪れた際には是非御賞味あれ！

ーンムは、この宜野湾市大山地域と金武町の二つを残すのみとなった。

### おわりに

沖縄在住の地盤技術者であれば、著しく不均質な琉球石灰岩の力学強度の評価には誰もが頭を悩まされたことがあるだろう。また、島尻層群泥岩層は、沖縄本島南部東海岸地域において典型的な第三紀層地すべり地帯を形成している地層であり、梅雨や台風襲来期には毎年、島尻泥岩の地すべりと格闘していることと思う。

一方で、これら二つの地質構造が織り成す自然の恵みは、戦前から人々の生活を支えてきたことも事実であり、豊富な地下水資源は現在においても、農産物のほか地下ダム建設の基盤層として有効活用されている。

今年の技術eフォーラムの開催地は沖縄県である。研究発表の後には、泡盛を一杯やりながら、是非ターンム料理を楽しんでいただきたいと思う。ここで本来は御紹介した「どうるわかしー」の写真を掲載すべきところであろうが、それは11月に開催されるeフォーラムのときのお楽しみということでやめておこう。そして時間が許すのであれば、宜野湾市大山に広がる広大なターンム畑を眺めにきてはいかがだろうか。

### 引用・参考文献

- 1) 宜野湾市：普天間飛行場周辺障害防止対策事業中原地区排水路全体計画調査報告書，1982
- 2) 宜野湾市：普天間飛行場周辺障害防止対策事業中原地区排水路全体計画調査報告書，1982

〔(株)シビルエンジニアリング：佐々木 史〕