

森林

科学

[特集]

地震と山地災害

シリーズ

森の危険な生物たち

皮膚炎を起こす甲虫類

うごく森

荒漠地化した土地に森を再生し利用する

現場の要請を受けての研究

鹿児島県における外来昆虫の侵入と防除対策の確立

No. **56**
June 2009



特集 地震と山地災害

I章 岩手・宮城内陸地震による
山地災害の現状と課題 3
井良沢 道也

II章 地震動と斜面崩壊のメカニズム 7
浅野 志穂

III章 強震動を契機に発生した
巨大岩盤層スベリ 11
—脊梁山脈東麓の大規模地すべり地形と
荒砥沢地すべり—
宮城 豊彦

IV章 岩手・宮城内陸地震災害 16
—地域の安全安心のための取り組み—
松山 康治

V章 島原市背後 眉山の大崩壊について 20
竹下 敬司

VI章 斜面災害発生に影響を与える
地震動の諸性質 23
川邊 洋

コラム 森の休憩室 II 樹とともに
樹を登る (2) 27
二階堂 太郎

シリーズ 森の危険な生物たち
皮膚炎を起こす甲虫類 28
岸本 年郎

シリーズ 現場の要請を受けての研究
鹿児島県における外来昆虫の侵入と防除対策の確立 32
臼井 陽介／岩 智洋

シリーズ うごく森
35 荒漠地化した土地に森を再生し利用する
田内 裕之

シリーズ 森をはかる
39 森林と大気熱エネルギー・物質交換をはかる
—シンチロメータによる測定—
中屋 耕
40 森林生態系における揮発性有機化合物をはかる
奥村 智憲

41 Information
ボックス
北から南から

森林科学 No.56

2009年6月1日発行

領 価 1,000円 (送料込み)

年間購読割引価格

2,500円 (送料込み)

編集人 中村 松三

発行人 日本森林学会

102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

郵便振替口座：00190-5-50836

電話 / FAX 03-3261-2766

印刷所 創文印刷工業株式会社

東京都荒川区西尾久 7-12-16

表紙写真：荒砥沢ダムと上流の大規模地すべりの全景

(地すべり規模：幅約900m、斜面長約1,300m、面積約98ha)

不安定土砂発生量は東京ドーム54杯分

地震と 山地災害



口絵-1 荒砥沢地すべりの冠頂部から移動体上部のリッジと陥没帯を望む(第Ⅲ章参照)



口絵-2 荒砥沢ダム貯水池から見た地すべり移動体土塊(背後に148mにも及ぶ滑落崖が見える)(第Ⅰ章参照)



口絵-5 周囲の山地が崩壊・地すべりを多発したため、壊滅的被害を被った北川の町の遠景(第Ⅵ章参照)



口絵-3 荒砥沢ダム上流の大規模地すべりの全景(移動方向に直行する2列のリッジが見える、右奥が荒砥沢ダム貯水池)(第Ⅰ章参照)



口絵-6 周囲の山地の斜面崩壊により壊滅した北川の市街地(第Ⅱ章参照)



口絵-4 尿前沢下流左岸の山腹崩壊群(第Ⅳ章参照)

I 章 岩手・宮城内陸地震による 山地災害の現状と課題

井良沢 道也 (いらさわ みちや、岩手大学農学部)

はじめに

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震から1年が経過した。本地震の震源は深さ8km(岩手県内陸南部)で、岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度6強を観測した。本地震による住宅被害は少なかったものの、多様な種類の山地災害が各所で発生し大きな被害を与えた点が、既往の地震災害と比べて特異的であると言える。現在も膨大な土砂が斜面や河道に残置しており、二次的な土砂移動により下流の市街地などへの影響も懸念されている。本稿では今回の地震による山地災害の特徴と対策について紹介していきたい。

1. 岩手・宮城内陸地震による山地災害の特徴

本地震はマグチュード7.2の直下型の逆断層型地震であり、近年の我が国の内陸地震としては最大級の規模である(図-1)。最大の地震加速度は3成分合成で4000ガルを越えるほどだった。本地震により約3,500箇所で崩壊や地すべりが発生し、約1億3千万m³もの不安定土砂が生じた。また、大規模なものだけで15箇所で河道閉塞(天然ダム)が発生し、これらの不安定土砂や天然ダムは、1年目を迎えた今でも今後の融雪や降雨により崩壊が拡大したり、天然ダムが決壊するなどして下流域に被害を及ぼす恐れがある。本地震による人的被害は、死者13名、行方不明者は10名で、そのほとんどが山地災害によるものである。こうした山地災害を発生させた原因としては地震による外力以外に、火山によって形成された脆弱な地質と地形が大きく関与している。本地域の地質は火山由来のもので、上層から、おおむね、固結度の低い溶結凝灰岩、軽石質凝灰岩、凝灰岩質の砂岩・泥岩からなっており、一部の地域では溶岩や貫入岩が加わる。崩壊の発生位置と最大加速度とはむしろ関係が乏しく、山地災害の発生分布域は比較的硬質で緩傾斜地形の多い栗駒山溶岩に覆われていない端部の遷

急線周辺に密集している。地震による山地災害の特徴である地形効果(尾根部など)の現れている箇所も多くみられる(第II章を参照)。なお、崩壊形態として通称:椅子(いす)型崩壊など多くのパターンに分けられた。こうした崩壊形態は地質・地形との間に関連が見られるなど、山地災害の発生分布や形態は特徴的であり、今後、詳細に要因分析をすることで、今後の同様の地震による山地災害の予測につながるものと思われる。

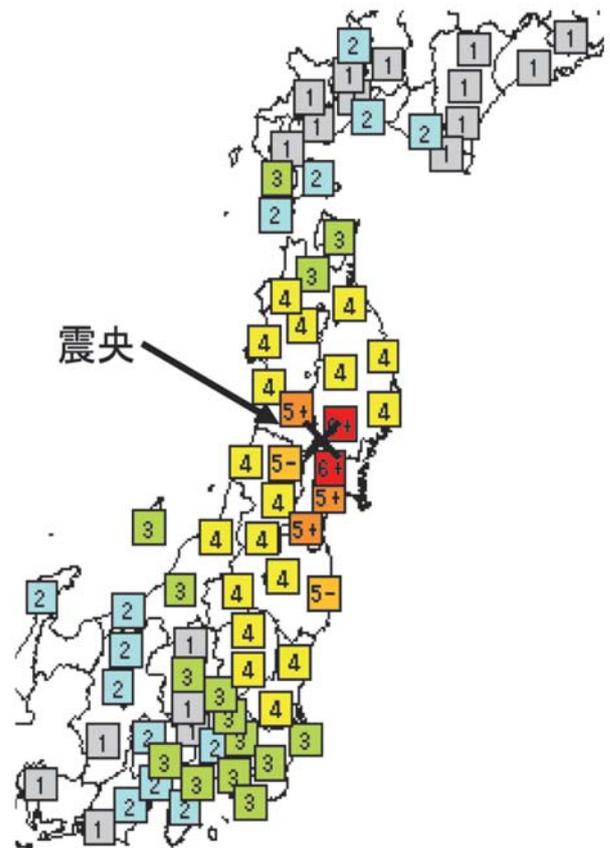


図-1 岩手・宮城内陸地震の震度分布 (気象庁HPより)

2. 史上最大級の荒砥（あらと）沢地すべり

栗駒火山南麓に位置する宮城県栗原市の二迫川上流にある荒砥沢ダム上流で巨大地すべりが発生した（第3章を参照）。この地すべりの最大の特徴は低山地で発生したこと、その巨大さである。標高が200～500mの丘陵性山地に位置しながら、土砂移動範囲は長さ1400m、幅900m、推定最大深さ150m以上で、移動土砂量は、約7000万m³程度と推定されている。本地すべりは国内でも史上最大級の規模である。

この地すべりによって、多量の土砂が荒砥沢ダム貯水池に入り込んだが、全体の一部の約150万m³が貯水池内に流入したと見られている。荒砥沢ダムは多目的ダムとして平成10年に完成したロックフィルダムで、堤高は74.4m、有効貯水容量は13,510,000m³である。宮城県の災害後の痕跡調査によると、地すべりの流入後、約3m程度の津波が発生したと考えられている。貯水池や海水域への土塊の流入に起因した津波による大災害は、1792年島原の眉山崩壊（第V章を参照）や1963年のイタリアのバイオントダムなどこれまでいくつか記録されているが、幸いにも今回の災害ではこうしたダムからの越流はなかった。これは地すべりが荒砥沢ダム貯水池とはずれた南南東方向に移動したためである。仮に、移動土塊がダム貯水池の方向であったら波高の大きい津波をもたらした可能性がある。

なお、本体の地すべりの移動が生じた直後から、不安定化した移動土塊は南側部の各所で2次的地すべりや崩壊を生じた。その結果、残存部として地すべりの移動方向に直行する2列の巨大なリッジ（山稜）が形成されている。なお最上部では約30分以上にわたって崩れが続いたことが目撃していた住民からの証言でわかっている。

3. 明暗を分けたドゾウ沢と産女（うぶすめ）川の土石流

今回の災害で1箇所では最も多数の死者・行方不明者（7人）を出したのが宮城県栗原市の三迫川上流のドゾウ沢の土石流である。まず東栗駒山の標高1,360m付近で大規模崩壊が発生し、崩壊土砂が4.8kmを流下し、下流部にある駒ノ湯温泉の旅館を襲った（写真-1）。崩壊の規模は、長さ約500m、最大幅約250m程度で、崩壊土砂は対岸斜面をのり上げ、その後偏流をしながらV字谷を下った。特に崩壊が発生した斜面に対向する斜面（土砂の進行方向の左側）では約90mの高

さまで土砂が到達した。崩壊地には流水の痕跡や周辺に残雪があり、また土石流の痕跡にはほとんど礫を堆積させていないことから、土石流は地震により流動化し極めて水分が多い泥流状態で流下したと推察される。土石流の流速を9～12m/sと推定すると発生から7～9分で旅館まで到達したことになる。2万5千分の1の地形図を見ると温泉旅館は河床から30mほど高所にあり、このような高台にある旅館に土石流が到達した理由として、今回の土石流が大規模であったこと、さらに対岸で大規模な地すべりが発生して土石流の向きを温泉旅館へ向けさせてことが関係していると思われる。

一方、本土石流とは対照的に岩手県磐井川支川産女（うぶすめ）川で発生した大規模崩壊はそのほとんどが直下に堆積し、一部の土砂は土石流となったが2km程度の流下に留まった（写真-2）。崩壊の規模は斜面長



写真-1 駒ノ湯温泉と対岸の地すべり（土砂堆積地の右の建物が駒ノ湯温泉）



写真-2 磐井川支川産女川に発生した巨大崩壊（1,000万m³を越える崩落土砂が川を堰き止めている。堰き止め土塊から湧出する水脈が見える。最近、滑落崖背後に大きな開口亀裂が見つかった。）

400 m、幅 350 m、最大滑落高さ 100 m である。狭窄部にかかっていた林道橋は破壊され流出した。狭窄部付近の河道は最大で 20 ~ 30 m 程度上昇している。産女川で発生した崩壊発生場所は栗駒山の東南に位置する笹森（ざるもり）山で標高 1,000 m 程度と低く、崩壊発生後の空中写真では、発生源にはドゾウ沢と違い残雪はなかった。このためドゾウ沢に比べ、山体中の地下水が比較的少なく、土石流流下距離が短かったと推定されている。まさに残雪の有無と流下途中での地すべりの発生が明暗を分けた土石流と言える。

4. 上下流に連続して発生した河道閉塞

今回の地震による河道閉塞は規模の大きいものだけで 15 箇所を数えた（国土交通省調べ）。このうち、宮城県内では、迫川で 7 箇所、二迫川で 1 箇所、三迫川で 2 箇所の計 10 箇所、岩手県内では、磐井川流域で 5 箇所生じた。今回の河道閉塞を原因となった土砂移動現象から見ると、①地すべり、②深層崩壊、③岩盤の崩落、④崩壊土砂の流下・堆積の 4 つのタイプに大別できた。

2004 年の新潟県中越地震では、芋川流域で 52 箇所の河道閉塞（天然ダム）が生じたが、その際に規模の大きかったものは地すべりによるものだった。これに対して今回の地震では地すべり以外に深層崩壊によるものも多いのが特徴である。さらに、いくつもの河道閉塞が上下流に連続して発生していること、規模が大きいものが多い、交通のアプローチが非常に困難で応急対策も至難な場所が多いことが特徴としてあげられる。

代表的な事例として市野々原地区について述べたい。同地区を流れる磐井川中流部の右岸斜面で大規模な地すべりが発生した。地すべりが生じた斜面の勾配は約 20°、崩壊地の幅は約 260 ~ 370 m、高さは約 120 m である。崩壊土砂はほぼ原形をとどめた形で河道を閉塞した。

河道閉塞箇所の堰止幅は約 100 m、堰止長は約 800 m であり、湛水した水の量は約 173 万 m³ にも及んでいる。同地区の地すべり対策は林野庁東北森林管理局により、河道閉塞対策は国土交通省東北地方整備局により、連携して事業の実施が行われている。

5. 二次移動の危険性の高い地すべり地や土石流

地震の発生以降、災害調査が進捗してきており、そうした中で当初は目だたなかった山地災害が顕在化してきている。例として岩手県一関市の 2 箇所の地すべりと

土石流発生箇所をとりあげたい。市野々原地区の岩手県農林水産部所管区域と、山王山地区である。両地区とも未だに危険区域に存在する家屋（1 戸づつ）の避難解除がなされていない。前者は磐井川右岸で発生し河道閉塞を発生させた市野々原地すべりの対岸に位置している。当初の調査では、この地すべりは標高約 390 m 付近の傾斜変換線から発生した崩壊や小規模なものと考えられていた。しかしその後の踏査で背後の傾斜変換線上部の尾根の標高約 470 m 付近からの地すべり移動の可能性が指摘された。実際に亀裂も周辺に存在し、現在、ボーリング調査が実施され危険度把握がされている。もし現実移動の可能性があれば、第 IV 章で述べるように河道閉塞を発生させた市野々原地すべりは河岸段丘により移動体本体がある程度阻止されているのに対し、本地すべりは地形的に何も阻止するものが無いので非常に危険性が高いと言える。一方後者の山王山地区の崩壊発生直下には二股の谷が形成され、崩壊土砂が一部流動し、かつまだほとんどの土砂が流下部に堆積している。その勾配は 19 度と急である。降雨と違って、地震の場合は土石流を流動化させるに足りる水分が供給されない場合は大部分がほぐされたまま谷部に残るケースに該当している。こうした中途半端なまま土砂が斜面などに堆積している箇所や地すべりが多い現象は地震による山地災害の特有のものと言える。

6. 地域の復興へ向けての対策と課題

地震発生直後から国、県、市町村など懸命な緊急災害対策が行われた（第 IV 章参照）。行方不明者の捜索、孤立集落の住民の避難の支援、避難所の開設、二次災害防止のための警戒避難システムの構築や応急対策などである。ソフト対策としては工事の安全管理や下流の住民のために大規模崩壊地に伸縮計が設置されている他、雨量計、ワイヤーセンサ、監視カメラの配置がなされ、国・県・市の一体となった情報連絡体制が構築されている。こうした現場から得られる多くの情報は国、県、市町村間で共有され、実際に住民の避難に役立っている。今回のこうした応急対策の対応は体系化して他の災害へも活かされることが望まれる。さらに、本地震は歴史上に残るほどの大規模な山地災害が発生している。地震に伴う災害の事象と対策をとりまとめ、地震時の山地災害対策の検討や地震治山対策指針（案）の作成を検討する必要がある。

一方、今回の災害を考える上で山間部を襲った事象という社会的側面も重要である。今回の災害で多くの孤立集落が発生していることから、山間地において唯一の道路を保全する治山事業の推進が望まれる。また通信が途絶えた地区も多く、情報インフラの整備への支援も必要である。治山として山間地における避難所や避難路整備の支援はもとより、さらに観光客など一時的滞在者への周知も含めた山間地における土地利用・地域計画への検討も望まれる。こうしたいわば「地域復興学」とも言える分野の検討と対策が必要である。

7. 今後の山地災害対策を考える上でのキーワード

災害発生直後に緊急調査団による現地踏査を実施した。今回の調査を通じて、次の8点を指摘した（(社)砂防学会 WEB ページ）。

1) 様々なタイプの形態の土砂生産（土石流、斜面崩壊、地すべり、河道閉塞）の存在、2) 応急判定から均一の質の高い判定の実施、3) 中途半端なまま土砂が斜面などに堆積している箇所危険度把握、4) 既設の土砂生産、流出対策施設の大規模土砂生産時の効果把握、5) 流域としての長期のモニタリングの必要性、6) 山岳地の観光地を利用する一時的滞在者などへの周知、7) 地震による大規模土砂生産を考えた新たな対策手法の検討、8) 流域全体としての山地災害対策の取り組みの必要性

上述したように3)の問題などいくつか顕在化し、問題となっている箇所も多く、また、5)で指摘したように本災害は今後、数十年、あるいはそれ以上の長期間にわたって、土砂生産の発生した上流域だけでなく下流域まで大きな影響を与え続ける（第V章参照）。このため土砂ばかりでなく、流木、濁水、生態系などの面も含め長期モニタリングが不可欠である。また、栗駒山系は多雪地帯であり、雪による土石流、崩壊・地すべり箇所の再移動、河道閉塞箇所などへの影響把握も必要である。今回の地震による山地災害から得られる知見を集大成し、今後の地域の復興と流域全体の減災に反映させることが重要と言える。

おわりに

今回の災害は新たな地形輪廻（地形の創造）の一コマを見ている気がする。筆者がこれまで災害調査で経験した域をはるかに越えたものである。また、山村集落の孤

立化や現在も継続して進行している二次的な土砂生産など、改めてこうした問題への取り組みが急がれる。

東北地方は1896年の陸羽地震や1914年の秋田仙北地震、さらに2004年に発生し岩手・宮城両県に被害を与えた2回の地震など直下型地震によりたびたび大きな災害を被ってきた。2004年10月の新潟県中越地震、2005年10月のパキスタン北部で発生した地震、2007年3月の能登半島地震、そして2008年5月12日の中国四川大地震など、近年において国内外で大規模な山地災害を起こす地震が相次いで発生している。これらの地震による山地災害の発生予測技術の構築や二次災害防止手法の検討など、今後の地震による山地災害対策へ向け新たな治山技術の展開が望まれる。今回の地震による山地災害から得られる知見を集大成し、今後の地域の復興と流域全体の減災に反映させることが重要である。既に一部の災害地では後世に今回の災害を語り継ぐためそのままの状態を残したフィールドミュージアム構想もたちあがっている。今なお全住民が避難を余儀なくされている宮城県栗原市駒ノ湯温泉のある耕英地区は、戦後の開拓団が新たに開墾した地域である。現在は避難解除された岩手県祭時地区も戦後の開拓が進んだ地域である。その結果、温泉やスキーなど「観光」、「イワナの養殖」、「イチゴ栽培」などに新たに生活の糧を得るなど住民の苦闘の歴史のある地でもある。他地区においても多数の住民が避難を続行しており、一刻も早く避難解除がなされ、被災を受けた地域全体が復興することを願ってやまない。

参 考 文 献

- 1) 井良沢道也・牛山素行・川邊洋・藤田正治・里深好文・檜垣大助・内田太郎・池田暁彦（2008）：平成20年岩手・宮城内陸地震により発生した山地災害について、砂防学会誌，61-3: 37-46.
- 2) 林野庁東北森林管理局 WEB ページ：<http://www.tohoku.kokuyurin.go.jp/> 岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会（東北森林管理局主催）.
- 3) 国土交通省砂防部 WEB ページ：<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/>
- 4) 国土交通省東北地方整備局 WEB ページ：<http://www.thr.mlit.go.jp/>
- 5) 砂防学会 WEB ページ：<http://www.jsece.or.jp/indexj.html>

Ⅱ章 地震動と斜面崩壊のメカニズム

浅野 志穂 (あさの しほ、森林総合研究所九州支所)

はじめに

新潟県中越地震(写真-1)や岩手・宮城内陸地震(写真-2)等のように、山地や丘陵地で大きな地震が起きると多数の斜面崩壊が発生する。地震に伴う斜面崩壊の多くは、揺れの大きい範囲で集中的に発生し(口絵写真-1)、人命の損失、施設の倒壊やライフラインの寸断など地域社会に深刻なダメージを与える(口絵写真-2)。特に斜面崩壊の多くは地震で揺れている数十秒の間に発生していると考えられるため、避難する時間が少なく大きな被害に繋がりがやすい。これらの土砂災害に対する防災対策を効果的に行うためには、斜面崩壊の発生メカニズムを十分理解することが重要である。

斜面が崩壊する理由

斜面崩壊とは、斜面の土や岩などの土砂が塊(土塊)としてあるいは個別に斜面から分離し、重力に引っ張られて傾斜に沿って下方へすべり落ちる現象である。重力は地球上のどこにでも働いているので、少しでも勾配があれば斜面の土砂は常にすべり落ちようとする力を受ける。しかし実際には全ての斜面で崩壊が発生するわけではない。これは斜面の土や岩をすべり落とそうとする力(以下ここでは滑動力と呼ぶことにする)に対して、摩擦等のすべりに抵抗する力(以下ここでは抵抗力と呼ぶことにする)が働くためである(図-1)。言い換えると、斜面の土砂は滑動力とそれに対する抵抗力が常に釣り

合っており、その釣り合いが崩れたときに斜面崩壊が発生する。このため斜面崩壊のメカニズムを考える際には、滑動力と抵抗力に分けて整理するとよい。

土砂をすべり落とす作用

地震時に生じる力について考える。地震体験車や実際の地震などで床が揺れた時に、身体が揺すられたり家具が倒れたりするといった体験をした人もいるだろう。これは地震による地面の震動(地震動)によってその上に載っている人や物に力が働くためである。この力の大きさは直接計ることが難しいため、力の大きさを物体の動きで表す。具体的には力の大きさを地震動の揺れの速さの変化率(地震加速度)で表すことが多い。例えば摩擦が無い台の上を一定速度で動いている物体に力が加わると、加えた力の大きさに比例して物体の速度は変化して加速度が生じる。逆に言えば物体に加えた力の大きさは加速度で表せると言える。重力を重力加速度で表すように、地震動による力は地震加速度で表すことができる。地震時に斜面の土砂に働く滑動力は重力加速度と地震加速度を合わせることで表すことができる。

地震動は作用する大きさや向きが刻々と変化するが、ここでは斜面崩壊の危険性が高くなる向きに地震動が作用する瞬間を考えることにする。図-2は斜面の土塊に地震が作用したときの力の状態を示したもので、条件を簡単にするため地震加速度は斜面傾斜の下側向き水平方



写真-1 新潟県中越地震時の斜面崩壊 (撮影：岡本隆氏)



写真-2 岩手・宮城内陸地震時の斜面崩壊 (撮影：岡本隆氏)

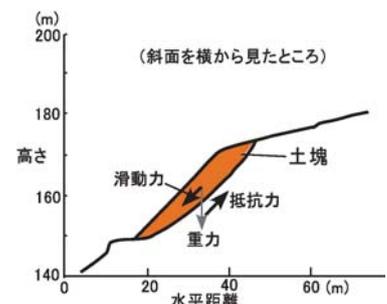


図-1 斜面の土砂に作用する力

向に働くものとしている。地震加速度が矢印の向きに大きくなった瞬間の力の釣合で斜面が安定かどうかを考える。

斜面の安定性を力の釣り合いで表す方法として斜面安定解析がある。斜面安定解析は次式のように斜面の土塊が発揮できる最大の抵抗力の大きさと全ての滑動力を合わせた力との比を求めて斜面の安定性を判断する方法で、その値を斜面の安全率と呼ぶ。

$$\text{斜面の安全率} = \frac{\text{土塊が発揮し得る最大の抵抗力}}{\text{土塊に作用する滑動力の総和}}$$

最大の抵抗力の大きさと滑動力の大きさが同じ時に安全率は1となり、それより滑動力が大きいと安全率は1より小さくなる。安全率の値が大きいほどその斜面は安定であると言える。この解析に地震動を考慮する場合、ある瞬間の地震加速度の大きさを重力加速度に対する割合で表して上式のそれぞれの力の中に入れて計算を行う。図-3は図-2の斜面を例として、地震加速度の大きさを徐々に変えながら、それぞれの場合の地震加速度と安全率の関係を求めたものである¹⁾。地震加速度が小さいと斜面は十分安定であるが、徐々に地震加速度が大きくなると安全率は小さくなり、ある時点で安全率が1より小さくなる。この時に斜面は力の釣り合いが保てずに崩壊が起こる。この方法により、斜面毎に安全率が1となる限界の地震加速度（ここでは限界加速度と呼ぶ）を見つけることができる。

地震動の伝わり方

これまで述べてきた様に、斜面に作用する地震動の大きさが斜面の安定性に強く影響する。このため大きな地震が発生した時に、森林が広がる山地のどこでどの程度の大きさの地震動が発生し易いか判断することは、地震時の斜面崩壊の発生を予測する上でも重要となる。

地震は断層やプレート境界などにおいて、力を受けた岩盤の急激な破壊やずれなどによって発生する大きな工

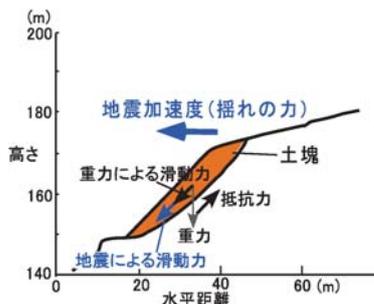


図-2 地震時に土砂に作用する力

ネルギーを持った波（地震波）が伝わって、地面が震動する現象である。地震波のエネルギーは周囲に拡散し、地盤内を伝わる途中で熱などに变化して減少するため、一般的に地震動は地震の発生源から遠くなるほど小さくなる。また地震発生源におけるエネルギーの大きさは岩盤の破壊の状況やずれの大きさなどによっても変わる。このような地質学・地震学的観点から各地域の広域的な地震危険度の評価²⁾などが行われており、その結果は広域の斜面崩壊の発生危険度の検討に利用できる。

一方で実際の斜面防災を考える上では、斜面単位などもっと小さいスケールで斜面崩壊の危険度を評価することが必要で、地震動も斜面毎に考えることが必要となる。地震動は波として伝わる途中で、地盤の性質により反射や回折、減衰などを繰り返す。このため各地に生じる地震動はそれぞれの場所の地質や地形の特性の影響を受けて変化する。これを地震動のローカルサイトエフェクトと呼ぶこともある。

地形による地震動の増幅

実際の山地は、一般的にさまざまな地形が複雑に組み合わせられており地質構造も複雑である。このため地震時の斜面ごとの崩壊発生を詳細に検討するためには、山地斜面に生じる地震動について斜面毎の検討も必要になる。その一例として崩壊が発生した山地における地震動の分布の検討事例を次に示す³⁾。

図-4は新潟県中越地震時に大規模な斜面崩壊が発生した山体において、各場所で斜面傾斜の下側方向に生じる地震加速度の最大値の分布が示されている。実際の地震動の詳細な分布を観測のみから推定することは難しいため、この例では実際の山体をコンピュータ上に三次元のモデルとして再現し、地下深部に一樣な地震波を入力して地盤の揺れが地表まで伝わる様子を計算した結果から求めている。地下深部に加える地震波は一樣であるが、

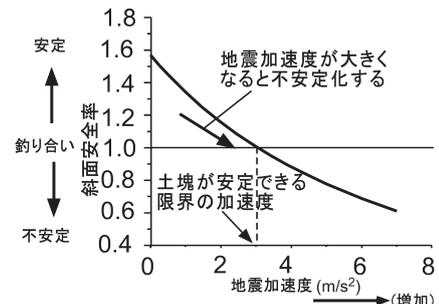


図-3 地震加速度と斜面の力の釣り合い (1)を一部改変)

図-4のように地表に伝わる地震加速度には、地形や地質の影響を受けて場所により変化する。特に尾根付近の緩斜面から急斜面に変わる部分や山麓の緩やかな斜面などで地震動が増幅し、斜面の傾斜方向に大きな地震加速度が発生する傾向が見られる。これは尾根付近では地表面の形による地震波の回折の影響のため、また山麓の緩斜面では厚く軟らかい表層土の中で地震波が繰り返し反射するために地震動が増幅したと考えられる。図-4には地震加速度の分布と併せて大きな崩壊が発生した場所が示されており、これらはいずれも地震加速度が大きく作用したと考えられる尾根や斜面上部付近が崩壊の発生源となっている。またこの周辺の耕作地や住宅地などがある山麓の緩やかな斜面でも多数の斜面崩壊が発生していた。このように地形的に大きな地震加速度が生じやすい場所で斜面崩壊の発生する危険性は高くなる。一方で前述の様に実際の斜面崩壊は滑動力と抵抗力の両者の影響を受けるため、具体的な崩壊の危険性を検討するには各斜面の抵抗力についても併せて詳しく検討することが必要である。

斜面の変位で崩壊の危険性を考える

これまで述べてきた斜面の安全率による崩壊発生危険度の検討は、時間的に変化する地震のある瞬間の力の釣り合いについて考えたものである。しかし実際の地震は時間の経過と共に揺れの方向や大きさが刻々と変化し、例えば瞬間的に大きな地震加速度が働いて力の釣り合いが崩れても次の瞬間に地震加速度が安定側に大きく作用すれば、大きな斜面の変位には至らない場合も有るかも知れない。力の釣り合いが崩れても斜面に亀裂が出来る程度の僅かな地表の変化だけで、重大な災害とならなければ

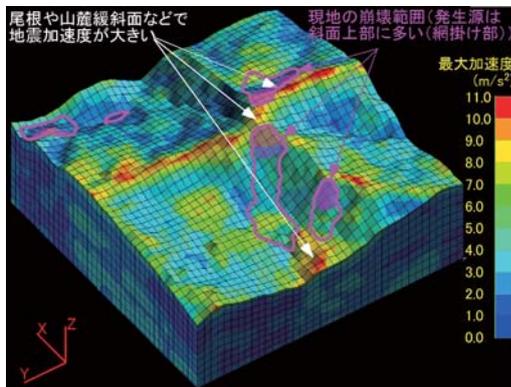


図-4 山体における斜面傾斜下側向きの地震加速度の最大値の分布 (3)を一部改変)

変位も許容できるという場合もあるだろう。特に地震による崩壊は揺れの大きな地域に集中的に多数発生するため、防災対策を行う時でも災害の度合いを考えて実施することが実際には必要となる。このためにも大きな地震が発生したときの斜面の変位の大きさから斜面災害の危険性を考えることが、実際の防災対策を検討する上で必要となってくる。

地震時の斜面変位の例

地震時の斜面の変位とは実際にはどのようなものだろうか。自然斜面において実際の地震発生中の瞬間的な変位を計測することは難しいので、地震動を再現する台(振動台)の上に作った人工斜面に、人為的に地震を与えて崩壊を発生させる実験が行われている。次にその一例を示す⁴⁾。この例は兵庫県南部地震時に実際に崩壊が発生した斜面を模した実験斜面を振動台の上に設置して、実験斜面を振動させて人為的に斜面を崩壊させている(図-5)。この時に計測された振動台の加速度と崩壊土砂の移動量の時間変化が図-6に示されている。実験の条件を単純にするため斜面傾斜の下側向きの水平に地震加速度が規則的な波となるように振動を与えている。図-6によると、崩壊土砂の内部で計測した移動量は振動の波に合わせる様に移動と停止を繰り返しながら増加しており、よく見ると斜面傾斜の下側向き方向に地震加

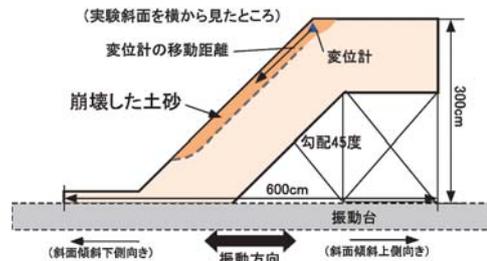


図-5 地震時斜面崩壊実験 (4)を一部改変)

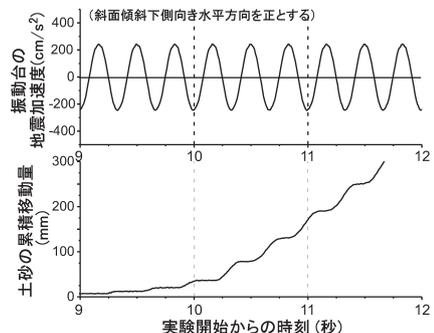


図-6 地震動と土砂の移動量 (4)を一部改変)

速度が大きくなると土砂の移動が始まり、逆に斜面傾斜の上側向きに加速度が大きくなると移動速度が減じるという特徴がある。このように地震時の斜面の変位と地震加速度には密接な関係があることが分かる。

斜面の変位量の予測

斜面の危険度を土砂移動による斜面の変位で検討するには、地震が発生したときの斜面の変位量を予測する手法が必要となる。地震時の斜面変位量を推定する解析手法の1つとしてNewmark（ニューマーク）法がある⁵⁾。図-6の様に斜面傾斜の下側向きに加わる地震加速度が徐々に大きくなり、図-3の例の様な斜面の安全率が1より小さくなる限界加速度より大きくなると、斜面の土砂は斜面に沿って下向きに動き始め斜面変位が発生する。この解析手法は斜面が持つ限界加速度を超える大きさの地震加速度により土砂が移動し、加速度が小さくなると停止すると考えて変位量の計算を行う。この移動と停止を地震動の波ごとに逐次計算を行うことで、最終的な地震時の斜面変位量を求めることができる。この手法は考え方が分かりやすく応用範囲が広いと、さまざま改良が加えられながらダムや堤防などの土構造物の耐震設計などにも利用されている。

一方でこの手法を自然斜面の崩壊の発生予測に利用する場合、振動中や土砂の移動中に生じる土砂自体の強度変化を考慮できないこと、予め崩壊土砂の形を予想し、土塊が斜面から分離した時の面（すべり面）が直線か円弧の形を仮定する必要があること、塊の形が変位の途中で変わってしまう様な長大な移動に対応できないこと等の課題もある。この様な問題に対してNewmark法の改良等と並行して、例えば移動に伴う土砂の性質の変化については、振動によって繰返し力を受けたときに土の強度低下が生じるモデルを用いて中越地震の時に発生した地すべりを再現するなど、新たな解析手法についての研究⁶⁾等も進められているところである。

おわりに

近年大きな地震が日本のみならず世界各地で発生し大きな災害を引き起こしている。地震の発生予測については、地球科学的見地から多くの研究が行われているところであるが、直近の大規模な地震の発生を予知することはまだ難しい。このような状況の中で山地における斜面崩壊などの土砂災害を軽減するためには、まずはどの様

な場所が危険となり易いのか、崩壊が発生した場合の被害の規模などを予測することが重要となる。本節では主に斜面崩壊の引き金となる地震動の面から斜面崩壊への影響を述べてきたが、同時に崩壊に対する抵抗力などそれぞれの場所の斜面が有する特性の把握も重要な研究課題となっている。

斜面の土砂災害防止の観点から地震による斜面崩壊に関する研究が本格的に始まったのは比較的最近のことであり、そのためまだまだ不明な点も多い。地震による斜面崩壊の災害を防止・軽減するためには、物理的に災害を軽減するハードウェア的対策、警戒避難により災害を軽減するソフトウェア的対策の両面からの取組が必要である。そのためには実際の斜面崩壊の詳細な研究を踏まえて、地震による斜面崩壊の発生機構について明らかにしていくことが必要である。

参 考 文 献

- 1) Asano, S., Matsuura, S., Ochiai, H. and Okamoto, T. (2004) : Estimation of landslide hazard by the seismic acceleration in a mountain area, *Landslides: Evaluation and Stabilization*, Balkema, 435-439.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2008) : 全国を概観した地震動予測地図 (2008年版), 地震調査研究推進本部 (www.jishin.go.jp/main/index.html).
- 3) Asano, S. and Ochiai, H. (2008) : Influences of earthquake motion on slopes in a hilly area during the Mid-Niigata Prefecture Earthquake 2004, *Landslides and Engineered Slopes*, CRC Press, 1375-1379.
- 4) 浅野志穂, 松浦純生, 岡本 隆, 松山康治 (2003) : 振動台実験による斜面の地中変位量の計測, *日本地すべり学会誌*, 40 (2) : 30-33.
- 5) Newmark, N.M. (1965) : Effects of earthquakes on dams and em-bankments, *Geotechnique*, 15 (2) : 139-160.
- 6) 若井明彦, 鶴飼恵三, 尾上篤生, 樋口邦弘, 黒田清一郎 (2007) : 層理面のひずみ軟化挙動に起因する流れ盤斜面の地震時崩壊の有限要素シミュレーション, *日本地すべり学会誌*, 44 (3) : 1-11.

Ⅲ章

強震動を契機に発生した巨大岩盤層スベリ

—脊梁山脈東麓の大規模地すべり地形と荒砥沢地すべり—

宮城 豊彦 (みやぎ とよひこ、東北学院大学)

はじめに

2008年6月14日に、岩手・宮城両県境付近の奥羽脊梁山脈東麓で発生したM.7.2の内陸直下型地震では、3000ヶ所を上回る地点で斜面災害が発生した。山地や丘陵地で直下型の地震が発生した場合、震度6弱以上の強震域で、こうした災害が頻発する。2004年の新潟県中越地震、同年のパキスタン北部地震などを調査すると、震源断層の上面にあたる岩盤(断層の上盤側)で斜面災害が集中する傾向が顕著であった。今回の内陸地震でも約9割が上盤側に集中している。ただし、上盤側全域で斜面災害が発生しているわけではない。地震の強震動が引き金となり、主に地形や地質条件が弱い場所で、それぞれの土地の性質に対応したタイプ・規模の破壊が表れたと言う方が適切ではないか。この点は、他の報告で議論されることとなろう。

奥羽脊梁山脈は、典型的な島弧-海溝系の主軸で、世界で最も新しい造山帯の一つであり、南北延長550kmの大山脈であるが、その東西幅は僅か10~30km程度しかない。この狭い山岳地域は、水準点改測によれば年10mm程度の急速な隆起が継続しており、河川の下刻などによる浸食地形の形成も活発である。さらに火山や埋積されたカルデラ構造、断層、過去に動いた地すべり地形なども複雑に分布し、世界でも類例を見ない極めて多彩な地形・地質地域が広がっている。これらがさまざまな破壊現象を引き起こした要因と言える(図-1)。

宮城県栗原市の荒砥沢ダム上流では、丘陵地を開析する数本の支流をまたいで、延長1300m、幅950m、最大深さ150m以上、移動土砂量約7千万m³に及ぶ巨大な地すべりが発生した。この規模の事例はいわゆる地すべり地形としてみれば決して稀ではないが、現実はこの規模の破壊的な地すべりを目の当たりにして、純粋に驚愕の念を覚えたのは筆者だけではあるまい(写真

1)。荒砥沢ダム上流の地すべり(荒砥沢地すべりと称する)は、地震時に大規模に動き、現在は破壊によって局地的に生じた不安定箇所が緩慢な変動を続けているのみで、おおむね地すべり性の変動は終息しているようである。ここでは、荒砥沢地すべりの変動実態を明らかにし、近隣地域に分布する類似の巨大地すべり地形と荒砥沢地すべりとの類似性を検討したい。

荒砥沢地すべりに見る大規模岩盤スベリの特徴

荒砥沢地すべりは、何処に発生したか：荒砥沢地すべりの発生位置を、地形・地質学的に整理してみる。本地すべりは、二迫川上流の、栗駒火山の泥流など火山性の堆積物からなる斜面が、第四紀初頭にもたらされたと見られる火砕流堆積物が背面を作る海拔500m内外の丘陵地に移行する辺りに発生している。1982年に刊行された地すべり地形分布図(清水ら1982)に記載され、宮城県・(社)日本地すべり学会実施のAHPによる地すべり地形再活動危険度評価では62点とされていた。つまり、地すべり地形の再活動であるという見方がなされる

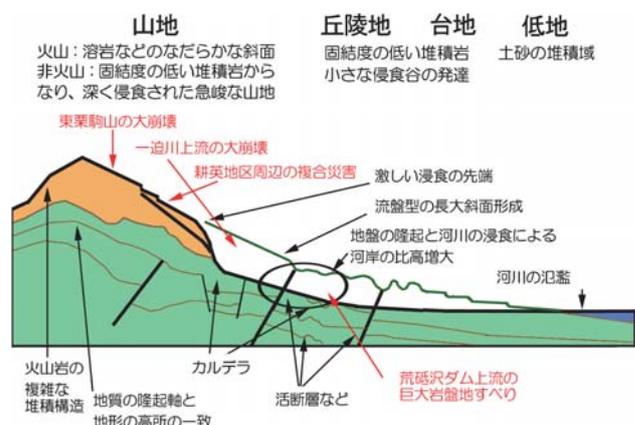


図-1 奥羽脊梁山脈東麓部の地形地質構成の概要と今回の斜面災害発生位置の傾向

が、この点は後で議論される。変動域をやや詳細にみれば、その破壊は、地すべり地形形成時の破壊で生じた移動体が、斜面上に残存した状態にあり、且つその地塊は、荒砥沢ダムに流入する3本の溪流によって複数に分割されていた。つまり、今回の地震で大きく移動した地塊は、側壁を持たない状態にあった(図-2)。地質学的にみれば、この破壊は、藤縄(1990)が指摘するように、第三紀中新世末のカルデラ堆積物に生じ、大まかにみてカルデラ壁を復元するように発生している。カルデラ堆積物は火砕流堆積物や集塊岩などの堆積を経て、リグナイトを含む泥岩や細粒砂岩などの細互層、凝灰岩、軽石質凝灰岩、溶結凝灰岩などからなる。

荒砥沢地すべりの動き:地震発生翌日撮影の空中写真(国土地理院・国際航業)を用いて地形分類を行い、地すべり地の変形構造を把握し、同時に2006年撮影の空中写真も併用して、地震前後の地形変化を観察した(図-3)。これにより移動体形態、移動方向、局地的な歪分布、二次的破壊、不動域のキレツ、空間的な変位・変形などが理解された。地すべり全体の動きは、空中写真・上空調査と現地踏査などから、「末端からスランプなどの運動様式で順次遡及的に崩れた」と言うより、移動体下半部ほぼ2/3が概ね一体で滑り、その直後上半部に見られる2列のリッジを構成する土塊が順次移動したと見られる。この移動は、目撃者の証言からみて、地震時か又はその直後数分間に発生・終了し、その後移動体の周辺部や主滑落崖での大規模な崩落が数十分継続した。

ボーリングコアの解析などから想定されるスベリ面相当層の走行傾斜は、ほぼ東落ち4度である。従って、



写真-1 移動体のバルジ上から見た西側側壁（旧地すべりの変形構造が見える）

地すべり移動体の移動方向は、地層の傾斜方向（東方）に動くことが想定されるが、移動体側部を規定した溪流や荒砥沢ダムなどの解放部が存在したことからやや南方に偏位した。この結果、スベリ面の勾配は2度程度といった著しく平坦なものとなった。移動体の変形構造から推定できる地すべりの運動は、ほぼ水平なスベリ面を形成して巨大な土塊が約300m移動したブロックグライド型の地すべり変動であった。さらに、移動体下半部の変形状況と2006年撮影の空中写真判読結果を重ねると、この移動体主部の変形はほぼ無かったこと、一方でその先端部は、200m余りも不動域にオーバーラップしていること、V字谷状の溪流部(図2-B溪流)が押し曲

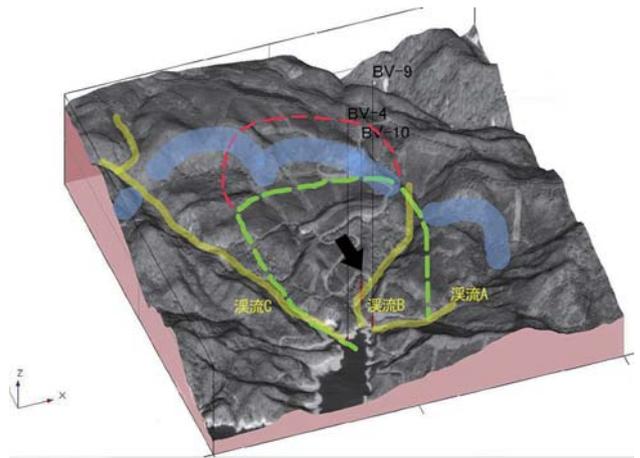


図-2 荒砥沢地すべりの発生域の地形概要

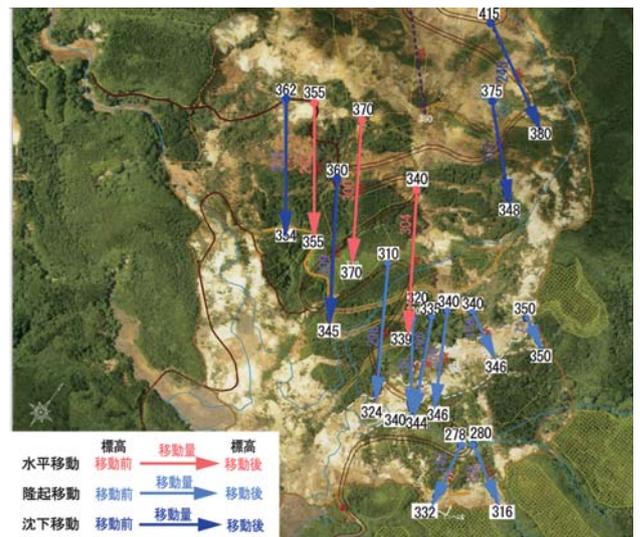


図-3 空中写真の比較判読による移動体の変形構想（東北森林管理局 2008 に加筆）

がり、隆起（70 m 程度）して圧縮擾乱帯を形成し、また先端部が短縮変形を被って、約 100 m 縮んだこと、先端部の不安定土塊量は 600 万 m³ に達したと見積もられる。ダムへもたらされた多量の泥流や地すべり土塊は、この圧縮部がダム方向へ開放されていたこと、ダム湖と溪流の水が押し曲げ変形に伴って、高含水量土塊を形成し、泥流発生の素因になったと考えられること、一方で移動体主部が未変形であることから、地すべり前後の地形情報から同一地点の移動ベクトル Z 値を用いてスベリ面勾配を推定すると 1～2 度という極めて平坦であると想定されることなどが指摘できた。かくも平坦なスベリ面で発生する地すべりには、摩擦力がほぼゼロになることが必要である。極めて激しい強震動に下から突き上げられて、持ち上がるような動きがあったのではないかと（田村ら 2008）。図-4 は、荒砥沢地すべりの地形・地質断面である。この断面から先に述べた地すべり活動の特徴が理解できる。移動体の中の巨大なブロックには、今回の破壊以前に発生していた大規模な地すべりによる変形構造がそのまま保存されている。また、スベリ面の観察によれば、今回のスベリ面は、顕著な粘土化やスメクタイト系の粘土の著しい集積などのような過去のスベ

りを示唆する積極的な情報は確認できていない。これらの事実は、今回の巨大な地すべりは、砂岩・泥岩の互層中に発生したものの、過去の地すべりのスベリ面を踏襲したものではないことを示唆する。今回の地すべりは、地すべり地形の位置に発生してはいるが、厳密な意味で再活動型地すべりとは言えないのではないかと。

地震時の巨大な地形変化は、その後の微地形の再編をも促す契機となっている。しかし、地震直後の表層崩壊は別として、その後地形景観を大きく変貌させるような規模の 2 次破壊は生じておらず、移動体はおおむね安定している。一般に、ある物性・地形・水文特性を有する斜面に、重力性の破壊が生じた場合、地すべりのように斜面上に分離された移動体が残存していれば、その移動体は初期の物性や形状特性を大きく変更させられているに違いない。この物性や地形・水文特性の変化は、次の破壊の初期条件となる。つまり地すべりとは、不安定化した物質が安定するために動く現象だが、そのことで自らに変化が生じる側面を併せ持つ。これを地すべりの自律的破壊過程と呼ぶ（宮城 1990）。地震動によって大規模な地すべりが生じたが、これを契機に自律的破壊過程が進行するだろうか。この場所には、既に地すべり

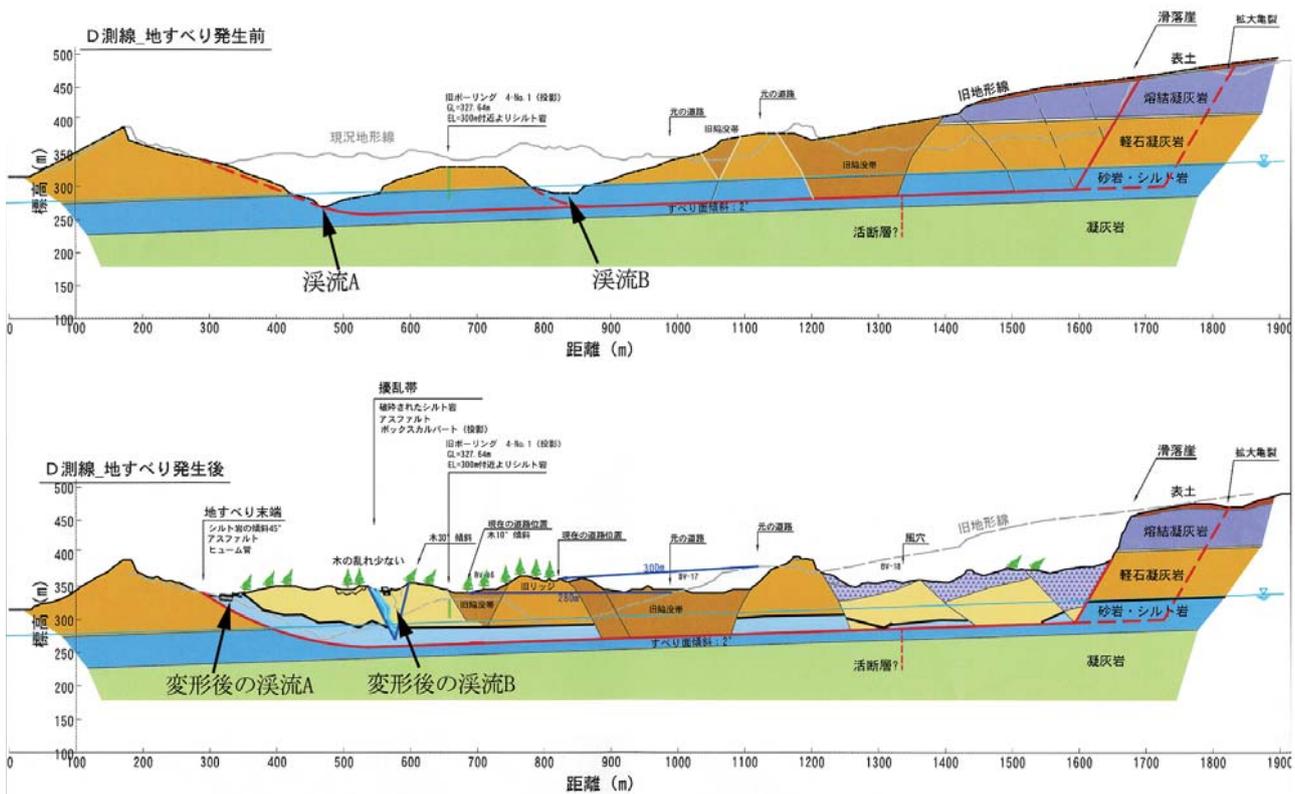


図-4 荒砥沢地すべりの地形地質断面（東北森林管理局 2008 に加筆）

地形が形成されていたが、今回の地すべりが、当時のスベリ面を用いたとは想定しにくい。また、その範囲も、地すべり地形を細分化するような形で切り取られて動いたわけではない。地震地すべりの場合、上記に示した自律的な破壊過程が順調に進行するかどうかは検討の余地がある。

広域で見た大規模岩盤地すべりの分布

奥羽脊梁山脈の主山稜から東側、岩手県の焼石岳から宮城県蔵王連峰までの地域について、木全（1983）が地すべり地形の分布状況を把握している。そのデータをもとに、大規模なブロックグライド型の地すべり地形のみを抽出し、地質図に重ねたのが図-5である。

この範囲には、大規模岩盤地すべりが28箇所ほど確認されており、その中の一つが今回大規模な破壊が生じた荒砥沢地すべりである。寺戸（1978）、Miyagi（1979）、宮城（1981）、清水ら（1983）、木全（1983）、八木（1990）、地すべり学会東北支部（1992）、Yagi（1996）、八木（2003）などがこれらの大規模地すべりについての記載を行っている。これらの報告の中には荒砥沢地すべりと運動様式やスベリ面の深度、移動体の形態などの点で、極めて酷似した地すべり地形も数箇所確認できる。例えば、仙台市太白区の茂庭地区には、幅1.5km、延長約2km、移動体の厚さ約100mの巨大地すべり地形がある。この地すべりは、主滑落崖と移動体との間に最大幅約300mの凹地を形成し、移動体の先端部は、当時の谷になだれ込んだと見られる。スベリ面はシルト岩と砂岩の互層部分に生じた、約4度の平滑な勾配を持つ典型的な岩盤層スベリである。移動体の一部に取り込まれた樹幹や球果、葉などから、この地すべりの発生は最終氷期最盛期の20,140 ± 530 yr.BP. (TH-439) と見積もられた。また、船形山北麓の白沼地すべり（写真-2）は、平面面積が6 × 10⁶m²の巨大地すべりである。この地すべりも勾配約5度の平滑なスベリ面を用いた大規模な岩盤層スベリの地すべりと考えられている。このスベリ面は鮮新世の湖沼成堆積物であるが、その上位に厚い火砕流堆積物や溶岩を載せ、その厚さは100mに及ぶ。地すべりはこの岩体が一気に動いたものと考えられる。移動域は、大小さまざまな規模の地塊に分割されているが、開析谷の侵入やいわゆる従順化の微地形的な特徴は全域を通して顕著ではない。地すべり形成時期は、主滑落崖対面の移動体崖面に、約

1万年前の降下とされる尾花沢軽石が堆積していることからこれ以前と考えるのが妥当である。

大規模岩盤地すべりと内陸直下型地震の関係

先に述べたように、荒砥沢地すべりは極めて深く、且つ緩やかで平滑なスベリ面を持つ大規模な岩盤スベリである。このような地すべり発生メカニズムには、内陸直下型の地震による強振動が関与している可能性がある（田村ら 2008）。仙台周辺の茂庭地区や白沼地すべりなども、極めて緩勾配で極めて厚い岩盤層スベリであり、かつ一旦大規模に動いた後は長期間にわたってその後の

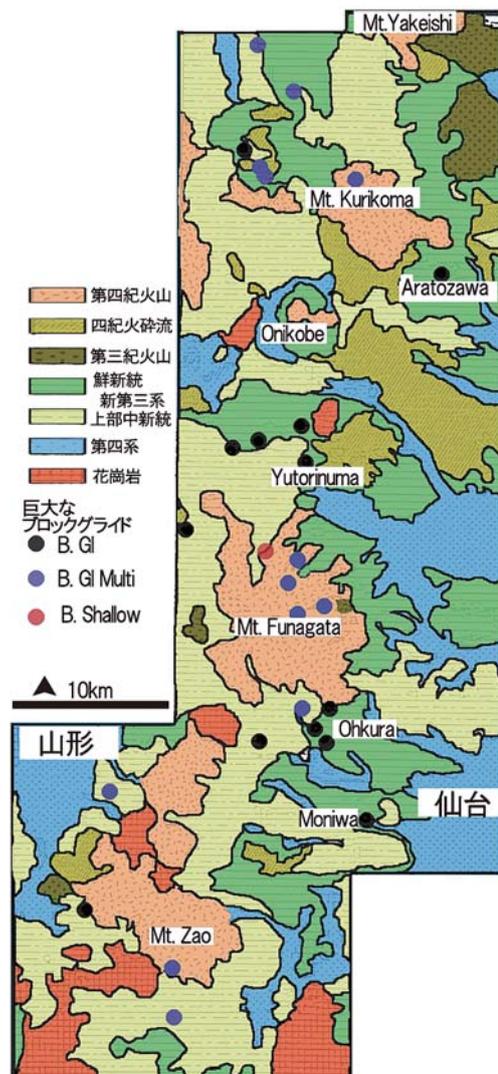


図-5 奥羽脊梁山脈東麓、焼石嶽から蔵王山までの斜面に確認される大規模岩盤スベリ型地すべり地形の分布（木全 1983 をもとに作成）



写真-2 船形連峰北麓に発生した大規模な岩盤層スベリによる地すべり地形

破壊が顕著ではない。いわゆる自律的な破壊過程をたどらない。こうした地すべりは、雨水や融雪水などのような、言わば日常的な降水に関連して生じた地すべりとは考えにくく、地震性地すべりとし存在している可能性がある。例えば、茂庭地すべりの場合は、仙台市の市街地東縁を限る長町一利府線の上盤側に位置する。仙台の西部に発達する鉤取—奥武士線の上盤側にも、類似の大規模岩盤地すべりが複数箇所存在する。内陸直下型地震を発生させる活断層の分布が更に明らかにされていけば、荒砥沢地すべりと形態・運動様式ともに類似するこれらの地すべり地形の形成要因としての内陸直下型地震の可能性が検証されるのではないかと。

謝辞

本報告は、社団法人日本地すべり学会東北支部の岩手・宮城内陸地震緊急調査団、林野庁東北森林管理局などの調査、対策委員会などでの議論、千葉県立博物館八木令子氏などとの共同研究を元に作成することができた。以上の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

小川内良人・笠井史宏・宮城豊彦・橋本 純 (2009) 一迫川流域の地すべりと崩壊について, 4学協会岩手宮城内陸地震調査報告書 (印刷中).

木全令子 (1983) 東北地方第三紀層地域に発生する大規模崩壊の地形学的研究. 東北大学大学院理学研究科地学専攻修士学位論文, 119pp.

清水文健・大八木則夫・井口 隆 (1982) 地すべり地形分布図 第2集「仙台・村上」. 防災科学技術研究.

田村俊和・稲崎富士・下司信夫・下川浩一・須貝俊彦・中島和敏 (2008) 岩手・宮城内陸地震 (2008年6月14日) による地変 (速報), 地学雑誌, 114巻7号, 697-703.

地すべり学会東北支部 (1992) 「東北の地すべり・地すべり地形—分布図と技術者のための活用マニュアル」, 地すべり学会東北支部, 142pp.

寺戸恒夫 (1978) 奥羽山脈中央部の大規模 Mass Movement. 東北地理, 30-4, 189-198.

東北森林管理局 (2008) 岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会資料 (第1回～第3回).

藤縄明彦・藤田浩司・高橋美穂子・梅田浩司・林信太郎 (2001) 栗駒火山の形成史, 火山, 46, 269-284.

Miyagi, T. (1979) Landslide in Miyagi Prefecture, Northeast Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser.7 (Geography), 28-1, 91-101.

宮城豊彦 (1981) 仙台都市圏の地形的基盤—とくに、仙台周辺の古期崩壊地形について—, 東北学院大学東北文化研究所紀要, 12, 21-29.

宮城豊彦 (1990) 地形分類による地すべり地の危険度評価. 地すべり学会シンポジウム, 「地すべり危険箇所の把握に関する諸問題」 論文集, 1-5.

宮城豊彦 (2008) 2008年岩手・宮城内陸地震の初動調査記録と巨大な岩盤地すべり. 地理, 53巻11号, 21-31 および口絵・表紙.

八木令子 (1990) 船形山・泉ヶ岳火山の最終氷期以降の大規模地すべり地形. 東北地理, 42, 131-151.

Yagi, R. (1996) Development Series of Landslide in the Central of Ohu Backorn Range, Northeast Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 7 (Geography). 46-1, 49-89.

八木令子 (2003) 地すべり移動体の微地形構成とその配列パターン: 地すべり地形の発達過程解析手法としての地形分類の意義. 地形, 24-3, 261-295.

Ⅳ章 岩手・宮城内陸地震災害

—地域の安全安心のための取り組み—

松山 康治 (まつやま こうじ、林野庁東北森林管理局森林整備部治山課 (現・林野庁国有林野部業務課))

はじめに

平成20年6月14日8:43分に発生した岩手・宮城内陸地震は岩手県南部を震央とする直下型地震で、マグニチュード7.2、最大震度6強を観測し、建物や人的被害は比較的少なかったものの、広範囲で大規模な山地災害を発生させた(図-1)。

今回の地震による山地災害は、道路もないような山岳奥地で広域かつ同時多発的に発生したことが特徴である。国有林だけを見ても、崩壊箇所数は2,300箇所以上、荒廃面積は1,154haに達し、被災区域の国有林面積28,187haの実に4.1%が荒廃した。山地災害の発生形態は山腹崩壊、地すべり、土石流など多様であり、土砂の一部は溪流に流れ込んで河川をせき止め10数カ所以上の天然ダム(河道閉塞)を形成した。また、いたるところで道路が寸断

され孤立集落が発生するなど、多くの住民が避難を余儀なくされた。

林野庁東北森林管理局では、今回

の地震により発生した様々な形態や規模の山地災害に対して、災害直後の初動対応、本格的な災害復旧に向けた対応など、地域の安全・安心の確保のために、様々な取り組みを行ったことから、これらの概要について述べる。

災害発生時の初動対応について

林野庁では、今回のような大規模地震に伴う山地災害が発生した場合、地震直後に起こりうる二次災害の防止に全力を注ぐこととしている。そのためには災害の全容をいち早く把握し、得られた災害状況から対策を最優先して行うべき箇所を抽出して、応急対策を迅速に実施することが重要である。これらに関し林野庁東北森林管理局では、地震直後において以下のような初動対応を取った。

(1) ヘリコプター等を利用した災害状況の把握

今回の山地災害は非常に広範囲にわたって発生し各地で道路を寸断したため、被害状況の地上からの把握は困難な状況にあった。そこで担当職員がヘリコプターに乗り、上空から山腹崩壊や地すべりの発生位置や規模などの被害状況を把握した(写真-1)。調査結果は、以後の応急対策工事や警戒避難支援対策の迅速な実施に活用された。

(2) 応急対策工事の実施

山地災害に対する対策工事は、短期的に災害発生危険が高まっている箇所に対して緊急的に対策を行う応急対策工事と、長期的視野に立って恒久的に災害を防ぐ災害復旧工事に分けられる。地震直後には災害復旧工事の準備が整うまでの間、前者の応急対策工事が優先して行われる。今回の山地災害に対する応急対策工事には、一日も早く被災地域に安全・安心を提供するため、土石流の発生源となる河道に溜まった土砂の掘削や流木災害を起こすおそれのある倒木の処理、国道(生活道路)の迂回路として



図-1 主な被災区域位置図



写真-1 ヘリ調査により不安定な土砂が溪流に多く残存していることが確認された産女川上流の崩壊地(岩手県一関市)

用いられる林道に堆積した崩土の除去(写真-2)などが挙げられる。また工事に際しては作業員の安全を確保するため、建設機械を遠隔からリモコン操作で操る無人化施工を一部で利用した(写真-3)。一連の応急対策工事により被害の拡大や二次災害の発生を防止するとともに、孤立集落への通行を確保し、地域へ貢献することができた。

(3) 警戒避難支援体制の構築

地震により不安定に堆積した土砂の移動による二次災害の発生から地域住民や捜索活動の従事者を守るため、被災現地に土石流センサーや監視カメラなどの監視・観測機器を設置した。土石流センサーとは土石流の発生を自動検知するための装置である。土石流の発生が懸念される渓流を横切るようにワイヤーを懸けておく。土石流が発生し付近を流下するとワイヤーが切断される。このときワイヤーにつなげた感知器から電気信号が発せられる。これらの情報を警報装置(サイレン、赤色灯)で受け、下流域にいち早く知らせたり、関係者が携帯電話やパソコンを利用していつでも確認できるシステムを導入した。これらの対策により、被災地における行方不明者の捜索活動を安全に行うことができたほか、地域住民の迅速な警戒避難を支援することができた(図-2)。

(4) 本格的な災害復旧対策に向けた事前準備

応急対策工事後におこなう、災害復旧事業予算による本格的な復旧整備のために、先行して対策工事を行う必要のある箇所の現地踏査や測量を、全国の国有林治山技術者で編成された治山技術エキスパート部隊(森林土木技術者)や調査会社の協力を得ながら実施した。これにより得られた成果をもとに、林野庁本庁に災害復旧工事の事業採択を申請した。

申請にあたって特に優先したものは、①人家の裏山や生活道路沿いの危険斜面での山腹工事(地すべり防止工事)や、②多数の崩壊地を包含する各溪流の合流点等へ

の治山ダムを設置などの、人命・財産の保全に直接的に関わる箇所での工事である。

本格的な災害復旧に向けた対応について

地震直後の初動対応及び応急対策工事の実施と並行して、詳細な調査や検討を行い、復旧の方針がある程度とりまとめられると、引き続いて恒久的に災害を防ぐための災害復旧工事に取り組むこととなる。東北森林管理局では、現在までに災害復旧に向けた対応を以下のとおり実施してきている。

(1) 空中レーザー測量を利用した災害規模の把握

岩手・宮城内陸地震では広域に膨大な数の崩壊が発生した。林野庁としてはこれら全ての情報を得る必要があったが、従来の現地踏査を中心とした調査では、短期間に個々の崩壊地や天然ダム(河道閉塞)の位置や規模等の詳細データを取得することは困難であった。そこで近年の技術向上が著しい空中レーザー測量を利用することとした。空中レーザー測量とは、ヘリコプターやセスナなどの航空機に搭載されたレーザー発射装置からレーザーを地表面に向けて面状に発射し、その反射時間の分布を計測して地形の形状を捉える測量方法である。高密度に発射されるレーザーは、地表面が植生に覆われていてもその一部は地表面まで届くため、森林帯においても地表面の形状を正しく計測することができる。空中レーザー測量は災害規模の把握に非常に有効であった。特に一迫川上流は天然ダム(河道閉塞)が多く道路も寸断されていたため現地調査が困難を極めた流域であるが、空中レーザー測量は、地形形状や位置情報の精度が高いため、短時間で崩壊や天然ダム(河道閉塞)の位置と規模などの災害状況が的確に把握でき、現地作業や対策工を計画するための基本データを迅速かつ効率的に得ることができた(図-3)。

(2) 山地災害対策検討会の設置

大規模な山地災害が発生するようなケースでは、その対策指針を検討するために学識経験者や専門家を中心とした検討委員会を設立することが多い。今回の災害においても、多数の天然ダム(河道閉塞)や大規模な山地災害が広範囲に発生し、状況把握、優先すべき対策、恒久的



写真-2 林道上の崩土除去作業のようす(岩手県一関市祭時集落への迂回路)



写真-3 無人化施工バックホウによる河道開削工事のようす(機械に取り付けたカメラ映像を見ながらリモコン操作)

な復旧対策等について専門家の助言を得る必要があったことから、平成20年7月12日、学識経験者等で構成された検討会（座長：東北学院大学教養学部 宮城豊彦教授）を設置して、より適切な復旧計画を検討していただいた。平成20年12月20日の第8回検討会で整備計画と整備目標が取りまとめられ、これらを踏まえ、早急な災害復旧に向けて鋭意取り組むこととした。

(3) 災害復旧工事の実施

災害復旧事業として事業採択を受けた109箇所（治山45箇所、林道64箇所）において、できるだけ速やかに現地調査と対策工の設計を行い、工事を順次発注した。特に緊急性の高い箇所については、融雪出水期に地下水位が上昇し斜面が不安定化して崩壊が再度発生したり、渓流に堆積した天然ダム（河道閉塞）が決壊して土石流化したりすることを想定し、数mもの積雪の中、鋭意工事を進め、融雪出水期の前に一部の工事を完成させたところである。このうち、岩手県一関市の産女川上流に設置した治山ダム（3月20日完成）は、4月21日頃に融雪出水に伴って発生した土石流を捕捉し、下流の集落や道路への被害を防ぐことができた（写真-4）。

(4) 長期的な復旧計画の作成

空中レーザー測量で得られた災害規模データや、山地災害対策検討会で取りまとめられた整備計画・整備目標、学識経験者等からの助言などを参考として、長期的な復旧計画である「治山事業全体計画」を作成した。

本計画は、地震により激甚な被害を受けて荒廃した山地を、将来的に緑豊かな森林に復元しようとするものである。具体的には、荒廃した渓流に治山ダムを設置して荒廃の拡大を防いだり、崩壊斜面に山腹工や緑化工を施して斜面上の土砂移動を抑制し、植生の早期回復を促したりする事業が主体となる。今後、地域の復興計画や自然環

境に極力配慮しながら治山工事等を実施し、一刻も早く安全で安心な地域が取り戻せるよう努めることとしている。

関係機関との連携・地元要望への対応について

大規模地震による山地災害は広域で同時発生するため、単一の機関で全ての災害に対応することは不可能であり、当該地域の国、地方自治体、そして地元住民が一致協力して対策を効率的に進める必要がある。

林野庁東北森林管理局では、地域住民や地元自治体からの要望に迅速かつ的確に対応するため、国土交通省、岩手県、宮城県等の道路・砂防・ダム他の関係部局と密接に連絡・調整の上、連携して危険地区の調査や応急工事等を実施してきた。例えば、地震直後の平成20年6月の岩手県及び宮城県からの要請を受け、宮城県の迫川地区において平成21年度より民有林直轄事業として新規事業に着手し、岩手県の磐井川地区でも従来の事業区域を拡大したところである。

また、平成20年10月には、宮城県栗原市の要請を受け、東北地方整備局、宮城県、森林総合研究所、国土技術政策総合研究所と合同で「民家裏斜面防災点検」を実施した（写真-5）。民家裏斜面防災点検とは、栗原市長から住民避難の解除に資する検討材料の一つとして、地震で亀裂の入った山などの危険性に関する状況整理を要請され、各機関が連携し、亀裂の有無や規模について現地確認を行ったものである。本点検の結果は、栗原市の防災計画の立案や警戒避難対策に活用してもらうために、速やかに栗原市へ説明の上、公表した。

迅速かつわかりやすい情報発信について

現地調査等によって得られた山地災害の状況については、当該調査機関のみで所有するのではなく、広く一般



図-2 警戒避難支援システムの構築例

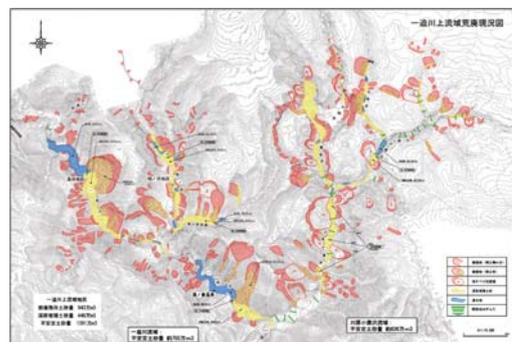


図-3 空中レーザー測量の解析例（山地災害対策検討会資料より）

に向けて公開することで、地元住民の安心や自治体の判断基準に役立てることができる。東北森林管理局では、得られた災害情報等について以下のような形で一般に向けて情報発信を行った。

(1) 山地災害発生状況の情報公開

災害直後にヘリコプター等を利用して得られた山地災害発生状況については、東北森林管理局ホームページ (<http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/>) を利用して直ちに一般に公表するとともに、その後の降雨等で崩壊地に変状が生じた場合は、現地踏査等の結果を随時加えながら更新した。

これらの情報は、地域住民への注意喚起や安心につながる情報として、また、地元自治体などの他機関での対策に役立つ情報として活用された。

(2) 災害復旧に係る対応状況の情報公開

林野庁東北森林管理局が行う応急対策工事・災害復旧工事の実施状況や警戒避難支援体制の構築状況、地元要望への対応状況等については、流域別・地区別に時系列で整理した一覧表を同局ホームページに掲載して、これらの進捗状況を迅速に公開することに努めた。また、わかりやすい情報とするために状況写真やイラスト等を添



写真-4 融雪出水に伴って発生した土石流を捕捉した治山ダム（大きな石礫はダムで捕捉され、細かい土粒子を含む流水のみが流れているようす）（岩手県一関市産女川上流）



写真-5 民家裏斜面防災点検のようす（宮城県栗原市）

付したり、きめ細かく適時な情報とするために毎日更新した（図-4）。

これらの情報は、地域住民に一定の安心を提供できるという意味で有効であったと考えられ、一部の地元自治体からはわかりやすいとの評価をいただいているところである。

さいごに

森林は私たちの暮らしに豊かな恵みと潤いを与えてくれる。しかし、ひとたび山地災害が発生すると、多くの森林が失われ、森林から私たちが与えられていた恩恵を失うことになる。

森林を復元するためには長い年月が必要である。林野庁東北森林管理局では、治山事業の実施により森林の再生力を高め、森林の復元にかかる期間を短くすることで、一刻も早く安全で安心な地域を取り戻し、地域の皆さんが豊かで潤いのある暮らしを実現できるよう努力を続けている。

【岩手県内の対策】	
実施箇所	これまでの取組状況
① 国道342号線察時集落迂回路 	地震により孤立化した察時(まつるべ)地区につながる国道342号線の代替路として国有林野内の林道(桂沢林道・東桂沢林道・板川林道)を緊急整備(6月24日より暫定供用中)
② 市野々原地区(磐井川) 	【警戒避難支援対策】 神橋計6基設置 【応急・復旧対策】 ・亀裂に雨水が浸透するのを防止するため、ブルーシートにより地表を被覆 ・6月19日 民有林直轄地すべり防止災害関連緊急事業採択
③ 磐井川地区 上流 	【警戒避難支援対策】 ・土石流センサー1基設置 【応急・復旧対策】 ・6月23日 国有林野内直轄治山災害関連緊急事業採択 (東桂沢 山腹斜面の復旧対策)
④ 産女川地区(磐井川) 	【警戒避難支援対策】 ・土石流センサー2基設置 (今後、監視カメラ、雨量計、土石流センサーを追加設置予定) 【応急・復旧対策】 ・6月23日 災関事業採択 (産女川上流 土砂流出抑制対策)
⑤ 祖沢川地区 	【警戒避難支援対策】 ・土石流センサー2基設置 (原前川・大寒沢)

図-4 災害復旧に係る対応状況の情報公開の例（東北森林管理局ホームページより）

V章 島原市背後 眉山の大崩壊について

竹下 敬司 (たけした けいじ、九州大学名誉教授)

まえがき

長崎県島原市の背後に近接して眉山が聳えている。眉山は天狗山(710m)、七面山(818m)を主峰とする二つの火山体が南北に連なった複合火山の総称である。この眉山の南峰の天狗山の東斜面が、1792年(寛政4年)に、大崩壊を引き起こした。幅1.3km、長さ1.5km、高さ700mの大崩壊である。当時、港湾状態にあった島原集落を襲い、さらに海上を1.5km以上も走って海中に堆積したのであった。この海中への崩土の突っ込みによって、有明海を横断する津波が発生し、これが、対岸の熊本県(肥後)側の海岸集落を破壊したのであった。「島原大変、肥後迷惑」と呼ばれる大災害で、併せて2万人余の死者がでたと伝えられている。

通常の山地の場合、大崩壊であっても、若干の補助工事を行えば、植生が回復し、緑の山林景に復元するのであるが、天狗山崩壊地の跡地は、200年以上を経過した現在も、崩落、浸食を継続し、森林復元への兆しを見せていない。崩壊の原因と、滑落崖の活性維持の事由とを究明したい。

これとは別に、1792年の崩壊の折、北に隣接する七面山の東側斜面源頭部にも大規模な滑落崖が発生し、スランプ型の崩壊性変形を生じている。その後、若干の侵食解体を進めながらも、半崩壊の形状を維持し続けている。将来、強い地震を受ければ、天狗山崩壊に準ずるような大崩壊が発生するのではないかと心配されている。平成3年以降(1991～95年)に発生した火砕流起源の火山灰降灰によって、この地区にも土石流が頻発したのを契機にして、七面山東側の大崩壊に関しても、強い関心もたれるようになってきた。これについても機構を検討したい。

雲仙・眉山山体の安定性に関する地形・地質学的特性

(1) 侵食・崩壊現象と基岩特性

平成の雲仙火山災害においては、火砕流が激しく流下して直接災害を及ぼしたと同時に、その過程で多量の火

山灰を噴出して被害を拡大したのが特色であった。稜線越しにも降灰し、流域の浸透能を低下させたため、強雨時には度々、集中流が生じ、それによって、激しいリル、ガリー侵食を発生させたのであった。広範囲に堆積した火山灰が、その後の降雨によって、粘着性の強いモルタル状の緻密軟層に変身し、地表に密にへばりついて、その流域の浸透能を激減させたのであった。眉山の東側斜面にも、稜線越えの火山灰の飛来があり、その厚さが、一時期数cm以上に達した。当然、表面流の発生が多量となり、土石流発生分布・規模と頻度とを激増させたのであった。この中であって新たに気付かされたのは、急峻～険阻な裸岩斜面の流域でも、激しい土石流の発生増があったことである。45度以上の斜面は土砂礫の堆積安息角を越すため、裸岩環境となっており、普段から激しい流出がある箇所となっているのであるが、このような箇所でも小強度の降雨下で土石流が発生したのであった。顕著なガリー侵食の発生に、意外さを感じ、調査を進めたところ、遠望では一枚岩風に見えながらも、割れ目が多く、基岩としては、高い浸透能を有している状況が見いだされた。この割れ目孔隙が粘着性の強い火山灰で覆われたため浸透能が一挙に低下し、局所的に強い集中流が発生した。ここで、通常強度を持つ基岩であれば、侵食は発生しないのであるが、眉山の東斜面を構成する岩石は、母岩から碎片として離脱し易く、水流侵食に対して極端に弱い性質であることが見いだされた。以下、この基岩の崩壊・浸食に関連する性質を列記する。

○火山灰を原材料とするシルト～細砂組成の岩石であり、一見、緻密な様相を呈しているが、多量の水蒸気を含んで堆積・固化したためか、細～小孔隙率が高く、比重が小さく、破断し易い。○基岩から離脱・分散した場合、1cm～8cm程度の小角礫となる。軟質ではあるが、レンガ様の強さを持ち、基岩構成中に細粒化して、自ら浸透能を低下させることは少ない。

ここで、分布箇所を調査したところ、次のような火山

特有の環境が見いだされた。

○火山の噴火火道が、溶岩、熔結凝灰岩によって充填されている場合、それらの材料の貫入・上昇に際して、火道周辺に堆積していた既成の山体（熔結凝灰岩等）が、強い側圧を受けて破碎される。あるいは、割れ易い潜在節理を持つようになる。○割れ目間隙の増加によって基岩層としての強度を低下させると共に、体積を増加させて、山体に歪を生じる。体積増は隣接空間を持つ抵抗とのバランスで行われるため場所によって異なっている。いずれにしても、地震動に弱い変質である。○割れ目は、多様な形状で組み合っているため、隣接する礫との関係は不安定な場合が少なくない。山

体は不安定な組み合わせのレンガ状の高層構造物となっており、地震動に弱い。

(2) 脆弱基岩層の分布と、浸食・崩壊実態との対比

火道周辺の基岩が、水流侵食にも、地震動にも弱い構造物として、火山体を構成していることに着目し、現実に発生した土砂災害との対応を検討する。図-1は、眉山とその周辺の地形地質概念図である。以降の文中では、地名などについての解説を省略するので、図上に示した溪流名（1～6溪）、不動斜面（A、B、C）、凡例に示した基岩名（凝灰角礫岩等は記名省略）、堆積区分名（崩壊前の扇状地、崩壊時の堆積・流山、崩壊後の土石流扇状地等）を参考にして頂きたい。

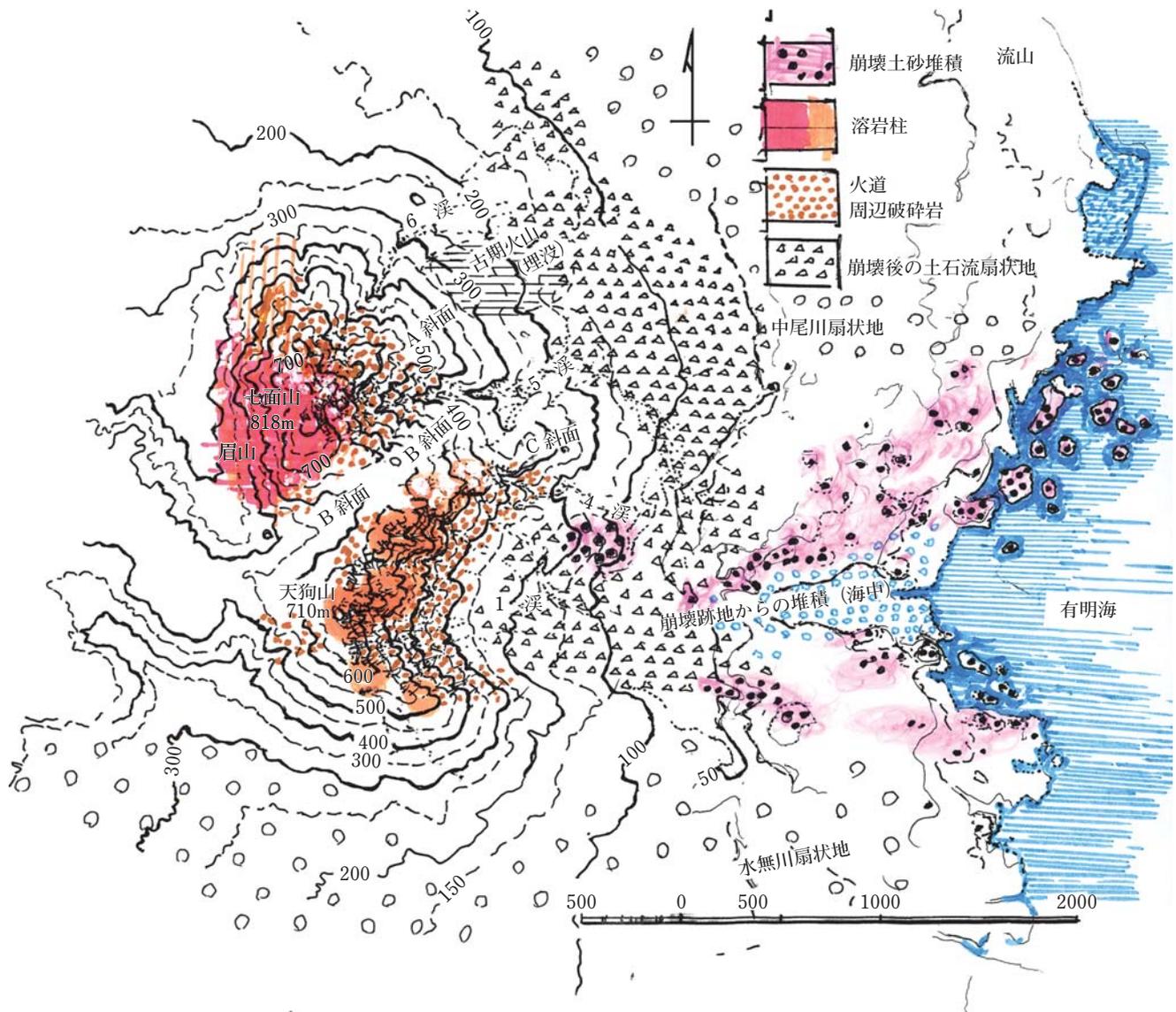


図-1 眉山地形地質分類概念図 — 50m等高線地形図—

① 天狗山大崩壊：崩壊発生の誘因として、激しい地震動と、熱水の上昇とが挙げられている。この地区は、温泉の源泉地帯であり、基岩は温泉風化によって、粘土化が進んでいたと考えられる。想定滑り面は、一部が海面下にあり、加えて地下水の上昇があったため、地滑り発生に必要な水条件は、十分すぎるほど整っていた。これに地震動が加われば、山麓に近い底部滑り面の付近は、容易に液状化し、地すべり性の崩壊を発生したと考えられる。この滑動を受けて、支えを失った中腹部以上の山体も崩壊したと考えられる。しかし、ここで、重要なのは、中腹以上の山体の崩れ方である。脆弱な破碎基岩は地震動と基部喪失の影響を受けて、一挙に崩壊し比高600mの位置のエネルギーを保持しながら1.5km余も海上を走ったものと想定される。

② 七面山の半崩壊：この崩壊地を刻む5溪、6溪の源頭部は、溶岩柱の部分を除くと、水流侵食に弱い破碎岩で構成されている。崩壊後～現在に至るまでの浸食は、この弱体部を選択するように進展し、源頭部付近を集中的に解体している。浸食の入っていないA斜面は、将来、七面山本体とは離れた山体に変貌する傾向を見せている。現在、A斜面を中心にした大規模崩壊が懸念され、調査解析が必要とされているのであるが、この源頭部の解体が、正負何れの方に影響するのかわからない。但し、A斜面自体が微滑動の傾向をみせているので、要注意である。(図-2参照)

③ 侵食・後退を続ける天狗山崩壊：天狗山の滑落崖は、200年間に200m以上の後退を行なっているが、なお、衰えを見せずに侵食後退を続けている。通常の山地であ

れば、崖の下には30度内外の安息斜面が形成されるため、後退につれて崖の比高は縮小するのであるが。眉山ではその気配が希薄である。細片化しやすく、比重の小さな破碎小礫では10度未満の安息面しか形成できないからである。

④ 崩落を継続する湯江川、赤松谷源頭部：火山活動が終息し、緑が回復し始めてから15年に近く、雲仙では土石流の発生が、殆ど見られなくなった。しかしながら、湯江川、赤松谷の源頭部では崩落が続き、それに連動する土石流が発生している。地形的な検討を加えたところ、この源頭部付近が、今回および、かつての熔岩噴出の影響を受けた破碎岩で構成されているためと判断された。冬季の霜上、凍上、暖季の強雨によって崩壊が頻発している。

⑤ 裸になりやすい溶岩柱、岩脈：九州各地の火山山地を観察すると、聳立する安山岩の岩峰、絶壁を連ねる稜線部の岩脈をみるのが珍しくない。これらの成因に、ついては、単に、周辺山体よりも、これらの岩体が硬い材質だからとの回答が多いようである。その答えに間違いはないのであるが、もう一つの理由として、これらの岩塊が貫入に際して、その位置を占めた際に、周辺の基岩を軟弱化したことを加えることが必要と考えられる。普通、地質的な変質は、過去の遺産として取り扱われるものが多いのであるが、火道周辺の破碎岩の存在は、現在に近い事象となっているだけに留意が必要である。

⑥ 溶岩ドームの安定性：雲仙普賢岳では、山頂部を中心にして、多量の溶岩ドームが形成されている。単に頂上を覆うだけではなく、それらが、厚い舌状の形で山頂から上腹部にかけて下垂分布しているので不気味である。これらが破壊、転動して山麓に災害を及ぼすのではないかと危険視されているからである。これらのドーム岩塊は、多孔隙質の火砕流崖錐、火道周辺破碎岩の上に載っているため、地震等によって、崖錐、基岩が圧碎された場合、不等沈下によって、どのような挙動をするのかが分かっていないからである。崖錐内の空隙が潰れ、ドーム全体がおだやかに沈下するのであれば、問題はないのであるが、崖錐、ドームの堆積機構が判っていないため、安定解析が行なわれていないのが実情である。

参 考 文 献

雲仙岳・眉山地域治山事業総合調査報告書(平成5年～平成20年)熊本営林局。

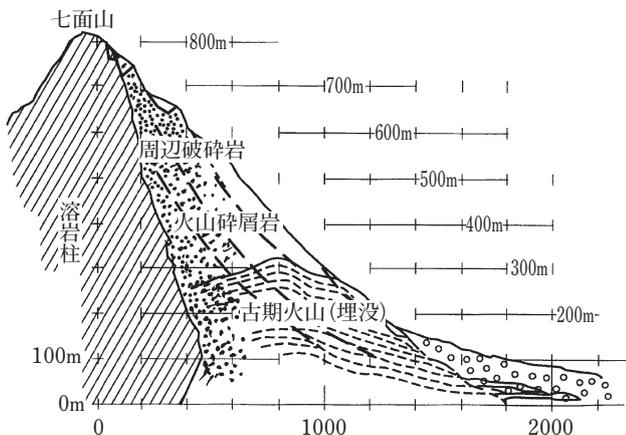


図-2 七面山地形縦断面図(SW—NE)(凸高所) 地質構造(概念図)と滑り面(概念図)とを併記

VI章

斜面災害発生に影響を与える地震動の諸性質

川邊 洋 (かわべ ひろし、新潟大学農学部)

1. はじめに

地震動に起因する斜面災害の発生には、誘因や素因として様々な要因が絡んでいる。たとえば、地表面に達した地震動の特性（振幅や周波数構成など）は、①震源における地震そのものの性質、②震源からの距離や地表までの伝播経路にある地殻の性質、さらに③地表近くの複雑な地質・地形・地盤条件の相乗効果を受けている。とくに③は、誘因となる地震動の性質に重要な影響を及ぼしているばかりでなく、斜面災害発生の素因としても大きく関わっている。これらの誘因と素因を整理すると、次のようなものが挙げられる。

誘因 ・ 地震断層の位置と破壊過程

- ・ 最大振幅（加速度、速度、変位）
- ・ 周波数特性（卓越、最大振幅）
- ・ 主要動の継続時間

素因 ・ 地質

- ・ 地盤の土質工学的性質
- ・ 地形（傾斜、標高、方位、凹凸、斜面形など）
- ・ 地盤の固有周波数（固有周期）
- ・ 地震前後の降雨状況

従来、地震による斜面災害の原因として、地質や地形などの素因が注目されてきた。例えば、地質の強度はどうか、地形は揺れやすい凸状の形をしているか、傾斜は急か、などである。それらの素因はほとんど変化しないものであり（地形は長い目で見れば徐々に変化しているが）、現に存在するものなので捉えやすい。それに対して、直接の誘因である地震動そのものは、山地での観測がほとんど行われていないことと、斜面災害対策を考えると、どのような地震動がいつ襲ってくるか分からない以上、地質・地形などの素因を指標とせざるをえないという事情もあり、誘因と斜面災害の関係についての実態解明は進んでいない。しかし、ここ数年、国内外で地震災害が多発したことを背景に、この方面の考察が徐々に進められるようになってきている。

そこで本稿では、斜面災害の発生に影響を及ぼしそうな地震動の特性をいくつか挙げ、考察を加えてみたい。一般に地震災害との関係で重要な地震動の性質は、上記のように、最大振幅と周波数特性および主要動の継続時間である。さらに、直下型地震の場合、震源断層（たとえば地表に現れなくとも）の破壊過程や、複雑な構造の地表層での地震波の伝わり方も斜面災害の発生形態に影響していると考えられる。

2. 地震動の振幅

地震動の振幅には、加速度・速度・変位がある。地震動の大きさの尺度としては、一般に最大加速度（加速度振幅のピーク値）が用いられている。加速度は地震動の強さを表す尺度として、より小刻みな揺れに相当する短周期成分の特徴を表しているのに対して、速度はエネルギーを表す尺度として、よりゆっくりした揺れである比較的長周期の成分（1～数秒程度の周期）の特徴を表している。すなわち、小規模で浅い崩壊、固い岩盤での崩壊は、より短周期の振動に反応し、大規模で深い崩壊、軟らかい地盤での崩壊は、より長周期の振動に反応して発生するということができる。

後述の図-2に示されているように、兵庫県南部地震での神戸における最大加速度と、2年後の鹿児島県北西部地震時の宮之城における最大加速度はほとんど同じ値であるが、災害に大きな差が生じたのは、両地域の社会的条件の違いもさることながら、宮之城の最大速度が神戸の半分以下であったことが原因であると考えられる。

3. 周波数特性と地震動の大きさ

どのような周波数（逆数は周期）の振動がどの程度の大きさ（振幅）で含まれているのか、というのが周波数（周期）特性である。地震動は様々な周波数の振動が合成されたものであり、周波数特性は地震動の性質として大変重要である。振幅の大きい振動成分があるとき、そ

の成分の周波数を卓越周波数という。一方、表層地盤には最も振動しやすい固有の周波数(固有周波数)があり、そこに入ってきた地震動の卓越周波数と表層地盤の固有周波数が一致すると、表層地盤に共振が起こり、一気に不安定化する。

図-1は、常時微動を用いて、表層地盤の固有周波数を地質毎に求めたものである(川邊ほか 1999)。表層崩壊を集中的に発生させたのは中段の花崗岩地帯であり(固有周波数6~7Hz)、入射地震動の卓越周波数との関係が目されるが、山間部での地震動記録がないので確認することはできなかった。

ここで、最大加速度、最大速度および卓越周波数の3者の関係から、地震動の特徴を考えてみる。表-1はいくつかの地震のK-NET((独)防災科学技術研究所)による観測値である。また、図-2は、地震力の指標となる最大加速度と地震エネルギーの指標となる最大速度の関係を示したものである。

新潟県中越地震の時の小千谷では、加速度・速度ともに非常に大きな地震動が記録されている。卓越周波数1.7Hz(卓越周期にして約0.6秒)は信濃川の厚い堆積物上での値であり、山地での卓越周波数はもう少し大き

かったであろうと考えると、それと同じ程度の固有周波数を持つ、すなわち共振を起こしうる地盤が、山古志村一帯に存在しても不思議ではない周波数である。

能登半島地震では、穴水は最大加速度、最大速度ともに大きく、神戸(兵庫県南部地震)の地震動に近い値を持っている。一方、富来の最大加速度は穴水と同じ程度であるが、最大速度はその半分強で、宮之城(鹿児島県北西部地震)の値に近い。

卓越周波数に注目すると、富来は、穴水はもとより、神戸・宮之城より遙かに高い周波数成分を含んでいる。富来観測点の表土の層厚が5m弱であるのに対し、穴水観測点では約17mあり、この地盤の違いが、穴水での速度振幅の増幅、周波数の減少(長周期化)を引き起こしていると考えられる。表土層の薄い山地斜面や海岸沿いの海食崖には、富来の記録に近い地震動が襲来したのであろう。

このような地震動の特徴は、落石や中小規模の崩壊は発生しているものの、地すべり地帯にも拘わらず、顕著な地すべりの発生が見られなかったという能登半島地震の特徴に符合する。

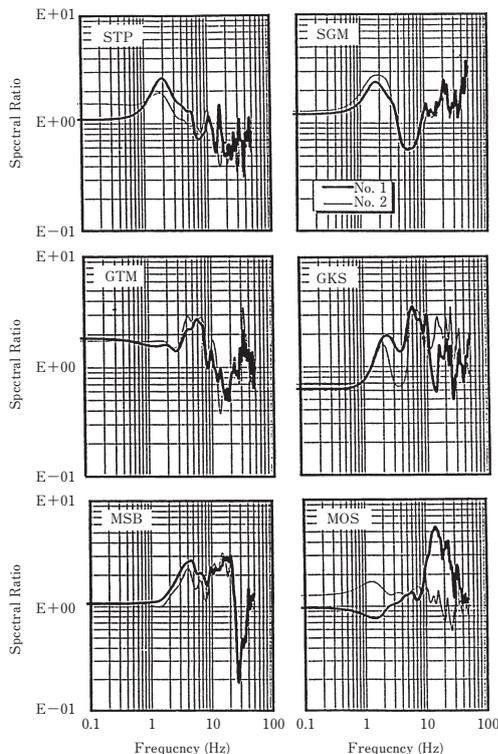
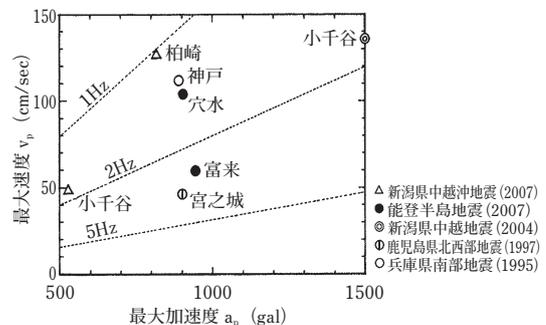


図-1 常時微動のH/Vスペクトル比(川邊ほか1999)
(上段:シラス、中段:花崗岩、下段:四万十層群)

表-1 最大加速度・最大速度・卓越周波数

地震名	観測点	最大加速度 度 (gal)	最大速度 (cm/s)	卓越周波数 (Hz)	
				卓越周波数 (Hz)	卓越周波数 (Hz)
新潟県中越沖地震	柏崎	813	127	0.3-0.5	
	小千谷	527	48	2.5	
能登半島地震	輪島	547		1.0	(2.4)
	能都	665		1.8	(3.0)
	穴水	903	104	0.8-1.0	
	富来	945	60	(2.5-2.8)	5.5-6.0
七尾	220		0.6-0.8		
新潟県中越地震	小千谷	1500	136	1.7	
兵庫県南部地震	神戸	891	112	1.0-3.0	
鹿児島県北西部地震	宮之城 (NS)	902		1.5-3.5	
	宮之城 (EW)	46			

- * 神戸のみ気象庁、他の観測点はK-NETのデータ。
- * 宮之城以外の観測点の振幅は3成分を合成した値。
- * ()内の卓越周波数は振幅が小さい方を示す。



*点線は等価卓越周波数 ($a_p/2\pi v_p$)

図-2 最大加速度と最大速度の関係

4. 震源断層の破壊過程（震源過程）

横ずれ成分の大きな断層では、断層面が延びていく方向で主要動S波の振幅が最大になり、断層に直交する方向に地面を揺らす。能登半島地震において、各斜面方位に占める崩壊の面積比を調べた結果によると（図-3、佐藤 2007）、推定断層（走向：東北東-西南西）に直交するほぼ南向きの斜面で多発していることが分かる。想定断層を挟んで北西側（図-3 左図）も南東側（同図 右図）も同様の傾向を示していることと、断層に直交する向きでも、北向きの斜面では少ないことから、崩壊を発生させる一撃となった主要動の振動方向をも示唆しているようである。

断層破壊が進行していく方向では、ドップラー効果により、振幅の大きな短周期の振動が生成される。新潟県中越地震の場合は、断層破壊は震源（川口町）から北北東方向（山古志村を通り、栃尾市方面）の浅所に向かって伝播していったと考えられている（東大震研 2004）。その様子は、図-4 の断層面上でのすべり量の分布に示されている。

断層破壊面の走向と東山丘陵の谷筋の走向がほぼ一致したため、谷に面する斜面は斜面に直交する地震力を受けたことになる。図-5は斜面崩壊・地すべりの分布図（国土地理院 2004）であるが（震央は川口町）、図-4の断層破壊域（震源域）に崩壊・地すべりが密集していることが分かる。震源域は余震域とほぼ重なるが、同時に崩壊分布域とも重なることは、直下型地震の場合によく経験することである。

逆断層では、上盤側でとくに被害が大きいであろうことも、上記のことから頷ける。斜面災害が集中した新潟県山古志村一帯は逆断層の上盤側に位置している。

したがって、これらのことを考慮して、崩壊分布を解釈する必要がある。震源の浅い内陸直下型地震では、崩壊は震央からの距離に従って分布することはない。図-6は、断層からの距離に応じて崩壊密度が減少していく様子を示したものである（川邊 1987）。

5. 波動伝播過程での地震動の変質

地下深所で発生した地震動は、一般に浅い層ほど伝播速度が遅いため、屈折により地表近くでは層構造に垂直に伝わってくる（図-7）。地表付近が軟弱なところでのこの傾向が強い。したがって、主要動(S波)の振動は層理面に沿った方向となる。流れ盤構造の斜面では、層理面

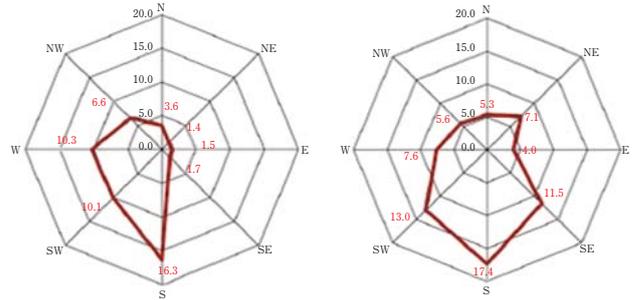


図-3 各斜面方位に占める崩壊の面積比（佐藤 2007）
（左図：想定断層線より北西側、右図：想定断層線より南東側）

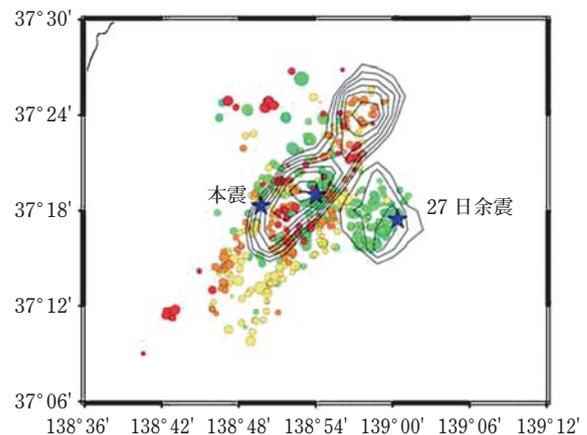


図-4 断層面上でのすべり量の分布（東大震研 2004）



空中写真により判読した斜面崩壊地。地すべり、表層崩壊、岩盤崩落などが含まれます。崩壊地と堆積地を一括して表示しています。
空中写真で判読できない小規模な斜面崩壊地が表示されていない場合があります。
●使用した空中写真：国土地理院撮影の1/10,000空中写真(2004/10/24撮影)、(株)パスコ撮影の1/12,500空中写真(2004/10/24撮影)
●現地緊急調査：平成16年10月24日(白)～26日(火)
— 行政界 — 河川

図-5 斜面崩壊・地すべりの分布（国土地理院（2004）に一部加筆）

に沿ってS波による剪断力が作用することになり、斜面の不安定化を加速する。新潟県中越地震における規模の大きい地すべりは、ほとんどが流れ盤構造の斜面で発生している。

軟弱な地盤では、一旦入射した地震動が硬い地盤に出て行けずに多重反射することにより、特定の周波数の振動が増幅される(図-8)。中越地震のときに長岡市の高町団地で見られた、谷を埋めて造成した宅地の被害は、谷埋め盛土内で特定の周波数の振動が増幅された影響が大きかった可能性も考えられる。

軟弱地盤がレンズの働きをして、地震波が軟弱地盤の方へ曲げられて集中する「フォーカス現象」(図-9)や、軟弱地盤の端部に波動エネルギーが集中して振動が大きく増幅される「なぎさ現象」は、平地の軟弱地盤だけではなく、緩い堆積物で構成されている斜面や河床などでも起こりうる現象である。

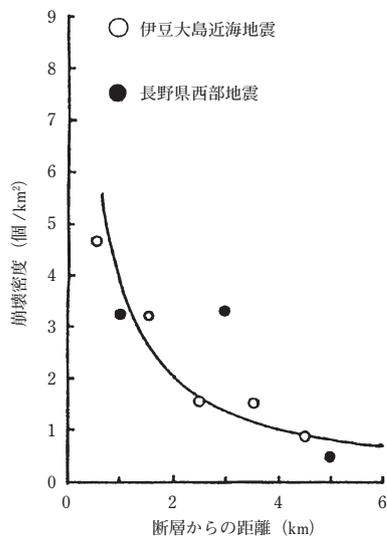


図-6 断層からの距離と崩壊密度の関係 (川邊 1987)

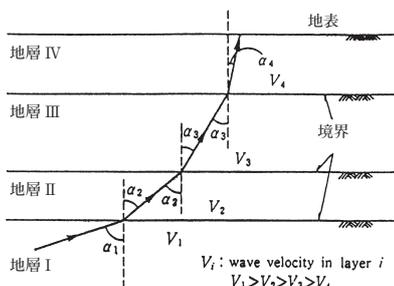


図-7 地表付近での地震波の屈折 (伯野 1992)

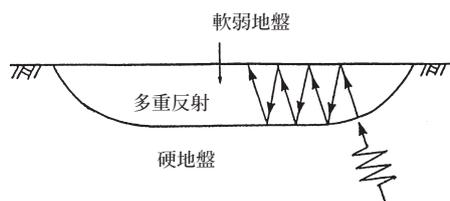


図-8 地震波の多重反射 (伯野 1992)

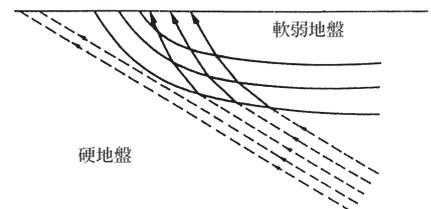


図-9 フォーカス現象 (伯野 1992)

6. おわりに

現実起こった地震災害から、地震動そのものと斜面災害を結び付ける確たる証拠が得られているわけではないが、理屈で考えると、本稿で述べたような地震動の性質が斜面災害発生に寄与していることは十分考えられる。このような考察は、直接災害対策に役立つものではないが、崩壊の発生原因を地質や地形のような素因に帰するにしても、なぜそのような素因を持ったところで崩壊が起こったのかを説明するためには、本稿のような側面からの考察が欠かせないであろう。

今後、このような観点からの調査が進展して、データの蓄積がなされ、その実態が解明されていくことを期待したい。

引用文献

- 伯野元彦 (1992) 被害から学ぶ地震工学—現象を素直に見つめて—。鹿島出版会。p.155.
- 川邊 洋 (1987) 地震による斜面崩壊の研究 (II) 崩壊特性と崩壊面積率の予測。東大演習林報告。No.77。pp.91-142.
- 川邊 洋・辻本文武・林 拙郎・下川悦郎 (1999) 1997年鹿児島県北西部地震域における余震と微動の観測による地盤の震動特性。砂防学会誌。Vol.51。No.5。pp.12-18.
- 国土地理院 (2004) 新潟県中越地震災害状況図。
<http://zgate.gsi.go.jp/niiगतajishin/index2.htm>
- 佐藤 浩 (2007) 能登半島地震による輪島周辺の斜面崩壊の地形的特徴 (第2報)。
http://cais.gsi.go.jp/Research/geoinfo/Noto_6Apr2007.pdf
- 東京大学地震研究所 (2004) 近地強震計データ解析 (暫定解): 10月新潟県中越地方の地震。EIC 地震学ノート No.154+。
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC154a.html

森の休憩室 II その4 樹とともに

樹を登る (2)

二階堂 太郎

(にかいどう たろう、国立科学博物館 筑波実験植物園)



庭師が樹に登る一番多い理由は剪定です。脚立ですんなりと枝葉にアプローチできればよいのですが、地形の問題でなかなかうまく立てられない場合があります。さらに、親方に丁度良い脚立を先に持っていかれて物が無いなんていうのは下っぱには毎度の事。枝にたどり着くには樹に登る以外に方法がありません。もちろん樹を登ってこそその利点は多々あります。枝々を移動する機動性は抜群に高く、表からは見えにくい内側の枝の処理は幹を足がかりにしてこそやり易い。広葉樹は枝葉の裏側からであっても分岐を頼りに剪定できるので、体重50kg強と身の軽い私はむしろ好んで登っています。一方、新潟で一番多かったマツの貝作り(段作り)をするには上半身が貝にかぶさる形が望まれます。庭師をイメージさせる「脚立の中段に両足をそろえて立った姿勢で両手を使ってマツの芽を鋏む」あの景色は、一番仕事をしやすい体勢なのです。しかし前述したとおり、丁度良くそこに脚立はないことが多いのです。そこで結局、登ります。その樹であれ隣の樹であれ、ロープなどを使って身体を何かにぶら下げ、目的とする貝の上で上半身を持っていくのです。まさにアクロバティックな体勢になりながら、ようやく仕事に取り掛かることができます。

現場で最初にやるべきことは、目的とする高さにとどり着くこと。大抵の場合は無意識に体が動いて解決されるのですが、たまに簡単でない状況に出くわします。そして困ったことに、高い所にアプローチする方法は数えるほどしかありません。まず庭師が一番良く使うのは3点支持のアルミ製脚立。梯子の一番上に、開きと長さを自由に決められる足が一本ついているものです。地面の起伏に対応して安定感の良いのですが、高さはせいぜい4mまで。10mまで伸びる2連梯子も良く使われますが、縮めても5mとかさばる上に約30kgと重く扱いづらい。高所作業車などの重機は安全性と機動性は抜群ですが、搬入路や設置場所の確保、道路使用許可にかかる時間、リース代などのコスト面で問題が生じてきます。やはり、望まれるのは少ない道具と身体一つで登ることです。

そこで私は、数年前からツリークライミングを試みています。道糸におもりをつけて目的とする枝の元や幹の又に投げ通し、道糸をザイルにかえて専用のハーネスをつけて登るというものです。道具類はコンパクト、少々重いですが手運びが出来ます。さらに、ぶら下がっている限り落ちないという高い安全性。私はこの手法を現在勤務している植物園の温室内での剪定によく使います。でもそこでは本当の樹登りをしているわけではありません。樹々が温室育ちで細く、登ることも脚立を掛けることもできないので、温室の天井の梁からぶら下がって樹にしがみついて作業をしているのです。体重の何割かをロープに任せることで細い枝上を歩けるので、今までとはまったく違う樹登りを試みています。またこの手法で、80mのセコイアメスギに登れるのだそうです。そのほかに、林業で知られる「ぶり縄」も身体一つと枝と縄だけで登る優れた手法ですが、さらに驚きの方法もある樹木医の方から教えてもらいました。二人一組で樹を挟んでその周囲をロープで囲い、互いに樹から体を離す方向に体重をかけて、足を突っ張りながら高さ60mを超えるマツに登るのだそうです。もちろん、怖さで樹にしがみつこうものなら、二人とも落下しかねません。このような話を聞くと、人間は根性と度胸で様々な手法を編み出してどこまでも登れそうな気がしてきます。

最後に、身体一つで樹に登り枝々を移動できる方法について悩んでいる人(私だけ?)に紹介したい映像を一つ。「マッハ!」というムエタイを使った格闘映画の冒頭数分間です。結局最後は個人の身体能力なのかと自分の可能性をあきらめかねませんが、人間でもここまで出来るのかと思う樹登りがご覧になれます。

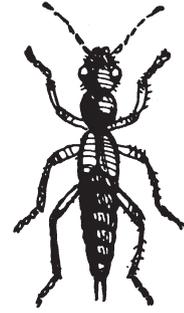
.....
著者プロフィール

二階堂太郎：1970年生まれ。山形大学農学部林学科修士課程修了。株式会社らう造景(旧 後藤造園)に7年間勤務。2005年より筑波実験植物園の非常勤職員となり、現在は同植物園の植物管理部門に所属。樹木医、森林インストラクター。

皮膚炎を起こす甲虫類

岸本 年郎

(きしもと としお、財団法人自然環境研究センター)



1. はじめに

人の生命・身体に直接被害を与える昆虫としては、吸血するものや、毒針を持つものが第一に挙げられる。吸血昆虫はシラミ目、トコジラミ（別名ナンキンムシ）やサシガメの一部などのカメムシ目、カ、アブ、ブユ、ヌカカなどのハエ目、それにノミ目などで独立に進化している。一方、毒針はスズメバチに代表されるようにハチ目において特に発達を遂げている他、俗にケムシと呼ばれるもののうち、イラガ、ドクガ、カレハガなどのチョウ目の幼虫の一部に毒を持っているものがある。

昆虫の中で最も種数が多いのはコウチュウ（甲虫、鞘翅）目であり、これまで世界から30万種を超える種が記載されている。30万種といえば、記載されている動物の約4分の1にもなる数であるが、甲虫には脊椎動物を吸血する種類や毒針を持つ種は知られていなかった。しかし、2007年に毒針を持つ甲虫が初めて報告された。それは、南米産のカミキリムシの一種で、サソリの尾端の針と良く似た形状の針を触角の先端に持ち、これに刺されると炎症を起こすという。このように毒を持ち積極的に刺す甲虫はごく少ないものであるが、外敵からの防衛のため、捕食者から回避されるよう体液中に毒を持つ群は決して少なくはない。オサムシ科、ホタル科、ベニボタル科、テントウムシ科、ゴミムシダマシ科、ハムシ科などの様々な科にわたり、捕食者からの防衛のため、体液にひどく不味い刺激的な味がするものや臭い分泌物を出す種は多く知られている。その中で強い毒性分を体内に持ち、虫体をつぶしてしまい、その体液が肌に付くと、皮膚炎を起こしてしまう一群がある。このような皮膚炎を起こすハネカクシ科、カミキリモドキ科、ツチハンミョウ科の仲間について以下に紹介する。

2. アリガタハネカクシ類

ハネカクシ科は世界で約55400種、日本で約1900種程度が記載されている膨大な種数を含み、多

様な生きざまを持つ甲虫である。科レベルで記載されている種数としては生物界で最大の群である。科内の様々な群で独立に色々な分泌腺や防御物質が進化していると考えられ、化学生態学的にも興味深い一群であるが、詳しいことは良く分かっていない。

その中でアリガタハネカクシ亜科の *Paederus* 属とその近縁の群は体液にペデリンと呼ばれる毒成分を含み、うっかりつぶすと、その後皮膚炎を起こす。この仲間の中で特に有名なのがアオバアリガタハネカクシである。成虫は、体長7mm内外、頭部と腹部末端が黒色、上翅は青藍色、前胸、腹部が橙赤色という鮮やかな目立つ色合いをしている。同じような色合いの昆虫は針を持つヒメバチ（ハチ目）や無毒のコメツキモドキ（コウチュウ目）などにも見られ、これらは擬態なのかもしれない。主に暖地の水田、池畔、川岸といった水辺や畑などの開けた場所に多く、夜、灯火に飛来する。1960年代～80年代頃には郊外に新しくできた住宅地で、蛍光灯などに集まって家屋内に侵入した本種が皮膚炎の被害を起こし、新聞紙上などのマスコミを賑わせたことがあったが、現在はこの虫の生息場所と人間の住居の間が離れたため、被害のニュースを聞くことは少なくなった。



写真-1 アオバアリガタハネカクシ (撮影 岩井大輔)



同属のエゾアリガタハネカクシや *Megalopaederus* 属の種は山地を中心とする森林内の灌木やササ、下草などの上を活発に歩いており、藪こぎをしている時などに接触の機会が多い。エゾアリガタハネカクシはアオバアリガタハネカクシと同様の色彩であるが、少し大きく、前胸が幅広く、後翅が退化していることで区別できる。また、*Megalopaederus* 属の種も後翅が退化しており、体長 10mm ~ 14mm 程度で、体は青みを帯びた黒色で触角と脚が黄褐色である。日本からはコアリガタハネカクシ（東北～中部地方）、クロサワアリガタハネカクシ（関東山地）、アリガタハネカクシ（紀伊半島）、ワダアリガタハネカクシ（中部地方以西～九州）の異所的に分布する 4 種が知られている。本属は、なぜか四国には分布せず、北海道も古い記録があるが、ラベルの誤りによる可能性が高い。これらの 4 種は良く似ており、正確な同定は雄交尾器による確認が必要であるが、体液の性質はおなじようなものであろう。

3. カミキリモドキ類

カミキリモドキ科は世界から約 1100 種、日本から 50 種が知られる甲虫で、その名の通り、細長い体型と長い触角がカミキリムシに似ているが、良く見ると上翅や体が軟弱で、体の頑丈なカミキリムシとは異なる。しかし、見かけ上カミキリムシにたいへん良く似た種類もある。台湾産のあるカミキリモドキの一種には、発見された時にカミキリムシの新種と思われたが、調べてみたところカミキリモドキであったという日くつきの種があって、その種には「マサニカミキリモドキ (= 正にカミキリ擬き)」という和名が与えられている。

皮膚炎を起こすものとして、日本産では *Nacerdes* 属（別属とされることもある *Xanthochroa* 亜属を含む）、

Eobia 属の 2 属に注意が必要である。種としては、ツマグロカミキリモドキ、アオカミキリモドキ、キクビカミキリモドキ、ハイイロカミキリモドキなどの被害例が多い。これらの虫は体液中に猛毒であるカンタリジンを持っており、虫体をつぶしてしまい肌に体液がつくことが原因で皮膚炎を生じる。

このカミキリモドキの毒を使った子供の遊びがあったことが、大阪市立自然史博物館の初宿成彦氏によって報告されている。それは、ツマグロカミキリモドキを使った「兵隊虫勝負」というもので、戦後のおそらく昭和 20 年代から昭和 50 年代くらいまで、大阪の湾岸地域の子供たちの間で行われていたらしい。この遊びは兵隊虫と呼ばれていたツマグロカミキリモドキを肘の内側にはさみ、腫れたら「負け」、腫れなかったら「勝ち」というものである。数日で治りはするものの、場合によっては水泡をはじめとするひどい皮膚疾患を起こすようなある意味で危険な遊びが、特定の場所で、短い時代に存在したのはたいへん興味深い。

4. ツチハンミョウ類

ツチハンミョウ科の甲虫も体液にカンタリジンを持つことで有名である。本科は世界から 3000 種程度、日本からは 5 属 15 種が知られており、すべての種がハチ目やバッタ目など他の昆虫の卵塊に寄生する。この群の一齢幼虫は宿主に取りつく必要があるため、脚が発達し歩きまわることができるが、寄生した後は、脚が退化する。このように幼虫の齢期によって、その体型と生活が異なる過変態という特徴的な生活史を持っている。なお、ミチオシエとして知られるハンミョウ類は、ツチハンミョウ類とはまったく異なる群である。



写真-2 アオカミキリモドキ (撮影 岩井大輔)



写真-3 ムラサキオオツチハンミョウ (撮影 永幡嘉之)

皮膚炎を起こす甲虫類



ツチハンミョウ属 *Meloe*、マメハンミョウ属 *Epicauta*、キイロゲンセイ属 *Zonitis*、ヒラズゲンセイ属 *Cissitis*、オビゲンセイ属 *Mylabris*、ミドリツチハンミョウ属 *Lytta* などの種の体液が、肌の柔らかい部分につくと皮膚炎を起こす。ツチハンミョウ属の種は 10mm ~ 30mm 程度の黒色から藍色。雌雄ともに後翅が無く、腹部が大きい独特の体型をした甲虫である。特にメスは大量の卵を産むための大きな腹部を持っており、地面をのろのろと歩いている。キイロゲンセイは体長 10mm 程度で、クリーム色に近い黄色、触角や脚の先端部分は黒色である。各種の花上や葉上に見出されるが、灯火にも飛来するため、その際に誤って虫体をつぶしてしまい被害が起こることがある。ヒラズゲンセイは 20mm ~ 30mm 程度の大型で鮮やかなオレンジ色の目立つ種で、西南日本の平地に見られ、クマバチに寄生し、人家の周辺に多い。ツチハンミョウ類は目立つ姿で大型のものが多いため、うっかりつぶしてしまうことはあまりなく、注意していれば被害にあうことはほとんどないものと考えられる。

5. ツチハンミョウ類とカンタリジン

カンタリジンはヒポクラテスの時代から知られていた猛毒で、30mg 程度が人間の致死量とされる。ヨーロッパミドリゲンセイ *Lytta vesicatoria* をすり潰して粉末にした薬物をカンタリスと呼ぶ。古来ヨーロッパではこのカンタリスが媚薬もしくは精力強壮剤として信じられてきたことがあるが、現在はそのような効果は否定されている。しかし、性器に少量のカンタリ

スを塗り、むず痒さを生じさせることで、性的刺激剤として使用されていたようだ。また、サディズムの語源であるマルキ・ド・サドは生涯に何度も逮捕されているが、そのうち毒殺未遂で逮捕された「マルセイユ事件」は、このカンタリス入りのボンボンを、多量に娼婦に食べさせたことが原因であった。

薬用としては、皮膚を刺激し発毛を促進する育毛剤として利用されていたこともあるという。現在でも中国などを中心に、ミドリツチハンミョウ属のツチハンミョウ類を乾燥させたものが「芫青（げんせい）」あるいは「青娘子（せいじょうし）」の名で、またオビゲンセイ属の種が「班蝥（はんみょう）」の名で漢方薬として使用さ



写真-5 ミドリツチハンミョウ（モンゴル産、撮影岸本圭子）



写真-4 マメハンミョウ（ロシア産、撮影 永幡嘉之）



写真-6 オビゲンセイ属の一種（モンゴル産、撮影岸本圭子）



れている。外用には刺激、発泡薬として、わざと皮膚炎を起こし、その部分を取り除くことによる甲状腺腫の治療、犬の咬症による狂犬病の予防として利用される。内服薬として血行の改善や利尿剤とされているようである。ただし内服には注意が必要で、副作用として腎不全などが起こるといふ（難波 1980）。

中国で利用されている芫青は主にミドリツチハンミョウ *Lytta caraganae* という種である。この種は中国、シベリア、朝鮮半島に分布し、日本でも一度だけ岡山県で採集されたことがあり、日本の甲虫のリストに加えられていることがある。しかし、この記録は偶発的な移入に基づくものであると考えられ、日本の甲虫相からは削除すべきものである。オビゲンセイ属も日本には分布せず、大陸の草原地帯を中心に繁栄している群である。日本には分布しないゲンセイ類やオビゲンセイ類の代わりに、かつては我が国ではマメハンミョウが薬用として用いられていた。マメハンミョウは「葛上亭丁（かつじょうていちょう）」の名で呼ばれ、かつては日本薬局方にも本種の乾燥虫体がカンタリスとして掲載されていたが、現在は削除されている。

6. 症状

ペダリン及びカンタリジンを含むこれらの甲虫の体液が皮膚に触れると皮膚炎を起こす。ハネカクシの場合は、無意識に虫を払いのける際につぶすことが多いせいか、患部が線状を呈する「線状皮膚炎」を、カミキリモドキとツチハンミョウ類は潰すと比較的多くの体液が付着し、水疱を生じることが多く、「水疱性皮膚炎」を起こすことが多い。

一般的な線状皮膚炎は、体液の付着後数時間で発赤し浮腫状に膨張、24時間後には小水疱が紅斑の上に多数生じる。体液付着時には気づかずに、症状があらわれてから自覚することが多い。2～3日後には紅斑が赤みをまし、小水疱も大きさ^{のうほう}と数を増すが、やがて膿疱となり融合し、びらんとなり潰瘍を形成するが、水疱のままのこともある。5日程度で掻痒^{そうよう}は軽度となり、水疱、膿疱は乾燥してかさぶた状となる。紅斑は1～2週間続くが、やがて色素沈着を残して消える。ただし重症の際には治療までに1ヶ月を要したり、リンパ管炎、リンパ節腫脹、全身倦怠感、悪寒、頭痛、めまい、発熱を併発することもある。また、目に入ると激しく痛み、結膜炎や角膜炎を引き起こす。

水疱性皮膚炎の典型的な症状としては、まず体液の付

着後、数10分から数時間で軽い刺激を伴う紅斑が現れ、やがて浮腫が生じ5時間程度で水疱が形成され、次第に大きくなり24時間後程度で最大になり、軽度の掻痒を伴う。48時間後には水疱は弛緩して掻痒が増す。水疱の膜は薄く、容易に破裂しびらんとなる。自覚症状としては体液に触れた当初は軽度の刺激や灼熱感がある程度で、水疱形成後は掻痒やひりひりする痛みを覚える。1～2週間で水疱は完全に吸収、乾燥し、かさぶた状になり治癒する。色素の沈着や脱失を伴うことがあるが、痕が残ることはないようである。

7. 予防と対処法

これらの甲虫類は積極的に攻撃してくるようなものではないので、正しく認識し、むやみに触らない、決してつぶさないことで被害の予防が可能である。特に初夏から夏にかけて、灯火に飛来するアオバアリガタハネカクシやカミキリモドキ類と、藪こぎの際のアリガタハネカクシ類の被害に注意すべきである。特に首筋などに付いたり、服の中に入ってきた虫を、無意識のうちに、つぶしてしまうことがあるので、そのような場合はできるだけ早く水洗し、抗生物質の入ったステロイド軟膏などを塗布しておくとうまい。また、全身症状が出た際や眼に入った際には医師の手当てを受けるべきであるが、それ以外であれば薬を塗り、痒さを我慢して、掻きむしらないようにしておけば、やがて治癒する。むやみに恐れず、もしも被害にあった際にも、冷静に対処すれば大きな問題にはならないだろう。

参 考 文 献

- 加納六郎編（1999）節足動物と皮膚疾患. 313pp. 東海大学出版会, 東京.
- 加納六郎・篠永 哲（2003）新版日本の有害節足動物 一生態と環境変化に伴う変遷. 397pp. 東海大学出版会, 東京.
- Laurent P, Braekman J-C, Daloz D (2005) Insect chemical defense. Topics in Current Chemistry 240: 167-229.
- 難波恒雄（1980）原色和漢薬図鑑（下）. 521pp. 保育社, 大阪.
- 梅谷献二・安富和男（1969）毒虫の話. 235pp. 北隆館, 東京.

鹿児島県における外来昆虫の侵入と防除対策の確立

白井 陽介・岩 智洋 (うすい ようすけ・いわ ともひろ、鹿児島県森林技術総合センター)

はじめに

鹿児島県では、外来昆虫が樹木を加害する事例が増えています。外来昆虫は侵入昆虫ともいわれ、「今まで生息していなかった場所に、気流や海流、あるいは自然状態では通常起こりえない手段（人為など）によって、新たに移動・定着し、そこで繁殖している種」と定義されます（桐谷 1994）。外来昆虫といえば、国外から侵入する昆虫を想像しますが、国内の他地域から侵入する場合も外来昆虫になります。

外来昆虫は、侵入した当初は、その地域における生態が明らかになっていません。そのため、防除の方法や時期も手探りで行うこととなります。そのうえ、農薬取締法により適用病害虫として登録された対象以外に農薬を使用することは禁じられているため、外来昆虫に対して使用できる農薬はほとんどありません。

そこで、当センターでは、本県と同様に外来昆虫が侵入している隣接県の関係機関と協力しつつ、昆虫の生態の把握や薬剤の効果試験を実施し、防除技術の確立に取り組んでいます。

本報では本県に侵入している外来昆虫4種について、被害の現状とこれまで確立された防除技術等について紹介します。

キオビエダシャク

キオビエダシャクはインド・マレー半島から日本にかけて分布する昼行性の蛾です。成虫は紺色の翅に鮮やかなオレンジの帯模様があり綺麗です(写真-1)。幼虫(写真-2)がイヌマキやナギに寄生し、葉を食害します。

日本では奄美大島以南の南西諸島に自然分布しますが、県本土へも侵入することがあります。1950年代に大発生し、甚大な被害を及ぼしました(横山 1955)。

その後、2001年に再び侵入し、未だ終息していません。

イヌマキは畑の防風垣や民家の生垣に利用されることが多く、農地や住宅地での被害が問題となっています。数種の薬剤が農薬登録されていますが、効果のある期間が短く、繰り返し散布する必要があるため、所有者や管理者から残効期間の長い農薬が求められており、現在、新たな農薬の使用の検討に取り組んでいます。



写真-1 キオビエダシャク成虫



写真-2 キオビエダシャク幼虫 (体長約4cm)

ヤシオオオサゾウムシ

インド西部から台湾にかけて自然分布しており、近年はアラブ諸国、地中海沿岸諸国、中国、日本にまで拡大しています（臼井ほか 2006）。成虫はオレンジ色の体色に黒色の模様があります（写真-3）。幼虫の体長は5cm程度に達し、タンパク源として利用されることもあります。

本種は様々なヤシ類に寄生し、幼虫が樹幹先端の成長点部分を食害します。1本のカナリーヤシの被害木から100匹以上の幼虫が採取されたこともあり、寄生木は大きな被害を受け、枯死してしまいます（写真-3）。

日本では1979年に沖縄県で侵入が確認され、数年後終息しています。1999年には宮崎県で侵入が確認され、九州や本州で被害が発生しました。本県では2001年に本種の被害が確認され、2008年9月末までの被害は835本に達しています（鹿児島県森林整備課資料）。

主にフェニックス（カナリーヤシ）が被害を受けていますが、ワシントンヤシモドキやピロウなども被害を受けています。

海外ではナツメヤシなどの農場における被害が問題となっており、その生態とともに農薬を使った防除法や天敵を使った防除法等、様々な研究が行われていますが、決定的な防除方法は確立されていません。

日本では、農薬散布と樹幹注入により防除がなされています。

デイゴヒメコバチ

2003年にシンガポール、モーリシャス及びアフリカ東部のレユニオン島で初めて確認され、世界各地でほぼ

同時期に発生した体長約1mmのコバチの仲間です（写真-4）。日本では、2005年に沖縄県で発生し、2006年から本県奄美大島で発生しています（金井ほか 2008）。

本種はデイゴやカイコウス（アメリカデイゴ）などデイゴ属の樹木の新葉や新梢に卵を生みつけ、産卵された部分には虫えい（虫こぶ）が形成され（写真-5）、虫えいから成虫が脱出します（上地 2007）。寄生木は葉替わりを繰り返すことや寄生された新梢は枯れることが多く、寄生を受けた個体の樹勢が衰えてきます。沖縄県では寄生されたデイゴが枯損した事例がありますが、本県では未だ枯死した個体は確認されていません。また、本種と枯死の因果関係は未解明であり、今後究明すべき課題の一つとなっています。

現在、防除対策には農薬散布と樹幹注入があります。しかし、防除したい木の樹高が高いのに、高所作業車が使用できない立地条件である場合、既存の防除対策では



写真-4 デイゴヒメコバチ成虫



写真-3 ヤシオオオサゾウムシ成虫（口吻を除いた体長約3cm）、と寄生されたカナリーヤシの様相



写真-5 デイゴヒメコバチの虫えい（デイゴの葉）

対応できないことがあります。そのため、今後も様々な防除技術について検討しなければなりません。

クロマダラソテツシジミ

西インドから台湾にかけて分布するシジミチョウの一種です(写真-6)。幼虫がソテツの新芽を食するため(写真-7)、台湾や中国では害虫として扱われています(福田 2008)。日本では沖縄県や本県で希にしか採集されないことから、迷蝶として珍重されていました。

1992年に沖縄本島で初めて確認され、2001年に与那国島、2006年に石垣島、西表島と確認され、鹿児島県でも2007年に侵入が確認され、県下全域に分布が広がりました(中峯・中峯 2008)。

ソテツは主に街路樹や庭木として利用されています。



写真-6 ソテツの葉上で交尾するクロマダラソテツシジミ



写真-7 ソテツの食害の様相

寄生されたソテツは樹勢が弱り、枯死する恐れもあります。また、植木の生産をしている場合、葉を食害されると商品価値が下がるため、被害の拡大が懸念されています。

本種を対象とした登録農薬はなかったため、2008年から農薬の使用の検討と殺虫試験を行っています。

おわりに

このように本県へ侵入する外来昆虫は近年増加し、様々な樹木へ被害を与え続けています。外来昆虫の侵入経路は、寄生された木が人為により移動され侵入する経路と台風などの自然現象により侵入する経路があります。国内外から植物の売買による移動が盛んに行われている今日の現状を考慮すれば、植物に寄生した外来昆虫の侵入が増加を続けることが考えられます。これらの中には激甚な被害をもたらす害虫も含まれることが予想されるので、今後ますます注意することが必要となります。

参考文献

- 福田晴夫(2008) クロマダラソテツシジミとはどんな蝶だろう. SATSUMA58: 1-9.
- 金井賢一・松比良邦彦・上地奈美・湯川淳一(2008) 奄美群島へのデイゴヒメコバチ(ハチ目:ヒメコバチ科)の侵入. 応動昆 52: 151-154.
- 桐谷圭治(1992) 日本にきた虫一害虫になる虫, ならない虫. 週刊朝日百科:動物たちの地球 3: 222-224.
- 中峯芳郎・中峯浩司(2008) 鹿児島 ML に寄せられたクロマダラソテツシジミの情報と分布拡散の様子について. SATSUMA58: 10-37.
- 佐藤嘉一(2005) 鹿児島県本土へ侵入した害虫キオビエダシャクの分布拡大と衰退—神風が吹いたのか—. 森林防疫 54. 7-13.
- 上地奈美(2007) デイゴにゴールを形成するデイゴヒメコバチ *Quadrastichus erythrinae*. 植物防疫 61: 494-497.
- 臼井陽介・榎原 寛・貝志堅允一(2006) ヤシオオオサゾウムシ *Rhynchophorus ferrugineus* の被害発生分布と文献目録. 森林防疫 55: 110-119.

荒漠地化した土地に森を再生し利用する

田内 裕之

(たのうち ひろゆき、森林総合研究所)

シリーズ
うごく森 10

はじめに

地球上には、乾燥地と呼ばれる土地が陸地面積の64%をも占める。そのうち、ほとんどもしくはまったく植生が発達しない極乾燥地帯(Hyperarid)が陸地面積の19%を占め、植生が発達する乾燥・半乾燥地帯(Arid, Semi-arid, Dry sub-humid)が45%をも占める。乾燥・半乾燥地帯では、元々は多くが森林であったが、無秩序な農地開発、過剰な放牧等により土地が疲弊して荒漠地化し、一層の乾燥化や表層土壌への塩集積が生じている(沙漠化現象)。このような荒漠地は、陸地面積の30%以上を占めている(FAO, 2000)。

その荒漠地に森林を育成できれば、それを炭素の貯留庫として機能させることができるし、バイオマス資源としても利用可能となる。人は、自らの手によって劣化という方向へ動かした森を、自らの手で健全な森へと戻し、資源が利用できる森へと動かしていかなければ、現在の生活水準を維持できない。しかし、森の劣化とは単に樹木の消滅にとどまらず、土壌の消失、水収支バランスの変化、気象の変化等、生態系そのものが変化してしまうことであり、その復元は植林一つ取ってみても容易ではない。我々は、乾燥地帯(年間降雨量200-350mm)と半乾燥地帯(350-600mm)の荒漠地に、緑化だけでなく資源利用できる森林を育成する技術開発に取り組んでいる。ここでは、人の手によって「うごく森」の過去、現在、未来を見ながら、荒漠地植林の実際を紹介したい。

沙漠へと劣化する乾燥地の森林

オーストラリア内陸部には、農耕が出来ず羊の放牧を主体とする乾燥地帯と、小麦の栽培を中心とする半乾燥地帯が広がるが、原植生はユーカリやアカシア類が優占する森林である。乾燥地帯においては、乾燥という水ストレスが強く、湿潤地帯におけるような高木林は発達しないが、林冠高が10mを越す森林が広く分布していたとされている。州都パース(西オーストラリア州)から

内陸へ700kmほどのレオノラ地区では、1880年代に金鉱山の開発が始まり、アカシアやユーカリ林を精錬用の燃料として伐採し始め(写真-1)、当時は伐採木の搬出用道路が縦横無尽に張り巡らされたという記録がある。1920年代に入ると、伐採跡地を利用した羊の放牧が始まり、草地化が一層進んだようである。それから80年以上の時間が経過しているが、現在の植生は、ワジ(洩れ川)沿いには帯状に森林が残存するものの、それ以外の場所は、土壌が浸食され、ハードパンと言われる非透水の岩盤層が露出する場所が広がり、放牧圧と共に、樹木の更新を始め植生の回復が困難な場所になりつつある(写真-2)。採食による放牧圧は乾季ほど強く、その圧が無くなると草本類を中心に植生が回復する事がわかる(写真-2右側)。

一方、パースから200kmほどの内陸部では半乾燥地帯が広がり、大規模な小麦栽培が行われている(写真-3)。筋状に残存する森や孤立木から、原植生はユーカリが優占する高木林であることがわかる。写真のように広大な平原もしくは緩やかな丘陵地形が広がるが、このような場所の森林を伐採し、耕作地に変換すると水収支



写真-1 乾燥地帯における原生林の伐採現場(1920年代、レオノラ、西オーストラリア州)

バランスが崩れる。降雨量が 600 mmyr^{-1} の地域の場合、自然林では 690 mmyr^{-1} の蒸発散量があるのに対して、耕作地からは 390 mmyr^{-1} しかない (Bari and Schofield, 1992)。そのため、凹地では湛水が生じ、乾季になると耕作地は裸地化するので地表面からの蒸発が多くなり、毛細現象による塩を含んだ水分の上昇によって表層土壌で塩集積が生じる (写真-4)。この現象は乾燥した耕作地においては世界的な問題で、沙漠化現象の主要な原因となっている。

乾燥地に生きる樹木の特性

このように乾燥・半乾燥地帯では、強い水や塩ストレ



写真-2 土壌の流亡や樹木の更新不良によって劣化した土地。家畜の侵入を防ぐため、試験地(右側)の境界にフェンス(左側から中央奥へ)を設置してある。(2004年、レオノラ、西オーストラリア州)



写真-3 半乾燥地帯で大規模に行われる小麦栽培。わずかだが筋状にユーカリ自然林が残っている(2005年、カリングリ、西オーストラリア州)

スがかかるため、植林を行うならば、ストレス耐性を持ち、なおかつ成長が期待できる樹種の選定が必要となる。オーストラリア内陸部の乾燥地帯では、主にユーカリ (*Eucalyptus camaldulensis*)、アカシア (*Acacia aneura*)、モクマオウ (*Casuarina obesa*) が高木種として優占するが、これらの根系構造や水利用特性には大きな違いが認められた。根系構造を見ると、アカシアの根系は浅く広く広がり (図-1)、無降雨時には全く肥大成長をせず耐乾性が非常に強いが、年間通じての成長速度は低いことがわかった。一方で、ユーカリやモクマオウは深根性で、ハードパンがある場合はその間に根を伸ばして水分を確保している。この2種の水利用特性には違いがあり、モクマオウは少ない水分でも効率よく成長を示すが、ユーカリは水分が多い時に大きな成長をするものの、水分が少ない時には成長しない(できない)という特性があることが解り (Tanouchi *et al.*, 2006)、深根を伸ばし地下水を得る事によって高い成長



写真-4 塩集積や湛水が起こり耕作放棄された土地。向こう側は環境改善のための植林地。(2006年、カリングリ、西オーストラリア州)

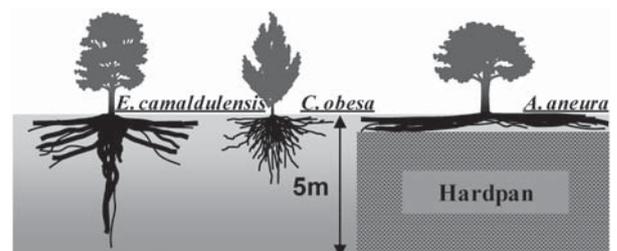


図-1 オーストラリア内陸乾燥地に自生する高木性樹種3種 (ユーカリ: *Eucalyptus camaldulensis*, アカシア: *Acacia aneura*, モクマオウ: *Casuarina obesa*) の根系構造

量を示す事が示唆された (Shiono *et al.*, 2007)。

乾燥・半乾燥地帯では、自然状態でもしばしば塩性土壌が分布するので、耐塩性を持つ樹種が数多く自生している。一般に、成長量と耐性との間には反比例の関係(トレードオフ)が見られる。耐塩性が強いと言われる樹種を実験的に栽培したところ、多くの樹種でこのトレードオフが見られたが、ユーカリの一種である *E. camaldulensis* は高い耐塩性を持ち、高塩濃度でも成長が出来る事がわかった (濱野ら 2008, 図-2)。また、塩類集積地では土壌の表層 (0 ~ 50 cm) により高い濃度の塩類が集積し、それより深い層では、耐塩性樹木が成長できる塩類濃度となる。つまり、吸水に関わる根系を表層土壌より深く伸長させることが出来れば植林が可能となる (図-3)。塩類を回避する植栽方法を検討するため、実験的に細長い育苗パイプ (径 10cm, 長さ 1.0m) で実生を育てたところ、*E. camaldulensis* は素早く根を深さ 1 m 以上伸長させ、パイプに植えられたにもかかわらずあまり成長量が落ちないことがわかった。同様なパイプによる植栽試験を現地でも行っているが、2 成長期目にはパイプ植栽の有効性が明確になってきた (写真-5)。但し、パイプという物理的な制限をどの時点でなくすか、またこのような補助的な作業をどこまで省略できるか等についての検討が更に必要である。

これらの結果から、乾燥地帯において沙漠化が進んでいる地域において、ストレス耐性が高く、なおかつ成長が期待できる汎用的な植栽樹種は *E. camaldulensis* である事がわかった。

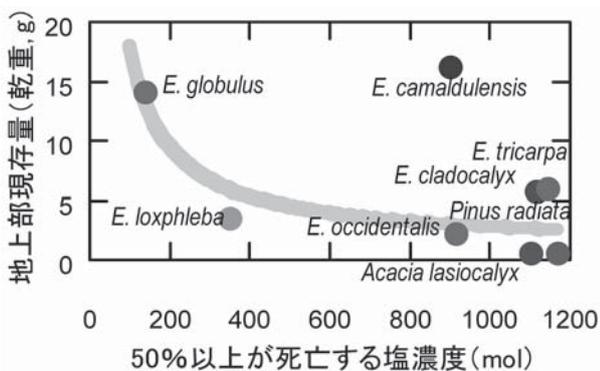


図-2 オーストラリアにおける主要植林樹種の成長量 (実生期 6 ヶ月間) と耐塩性の関係 (濱野ら 2008 を改編)

沙漠から利用可能な森林へ

沙漠化した場所に森を再生し、それを上手く利用できるのだろうか？異なる環境条件に生育する 3 地域の *E. camaldulensis* の成長量を調査したところ、乾燥地における自然林 (降水量 220 mmyr⁻¹, 立木密度 256 本 ha⁻¹) での生産量 (幹枝のバイオマス増加量) は 1 ~ 2 トン ha⁻¹yr⁻¹ であるのに対し、土壌改良、初期灌水等によって植林がおこなわれた同地域の場合 (降水量 500 mmyr⁻¹ 相当、植栽密度 204 本 ha⁻¹, 6 年生) の同生産量は 4.5 ± 0.32 トン ha⁻¹yr⁻¹ となった。また、より降雨量が多い植栽サイト (降水量 450 mmyr⁻¹, 植栽密度 1667 本 ha⁻¹, 6 年生) の同生産量は、5.3 ± 1.19 トン ha⁻¹yr⁻¹ であった。一方、塩害対策として植林された林分でも 3.0 トン ha⁻¹yr⁻¹ (降水量 300 mmyr⁻¹, 植栽密度 1667 本 ha⁻¹, 5 年生) を超える。これは、

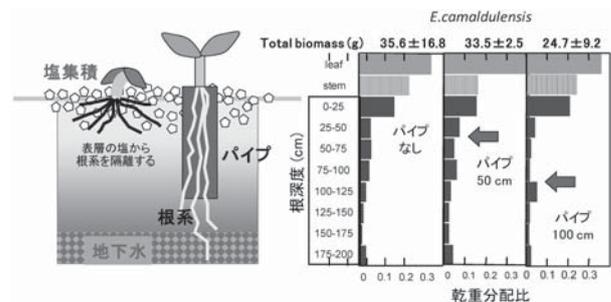


図-3 塩集積地におけるパイプ植栽の模式図 (左) とユーカリ (*E. camaldulensis*) 実生の 1 成長期間後の部位別成長量



写真-5 塩集積地にパイプを利用して植栽を行った試験地。右上はパイプに植栽したユーカリの苗。(植栽直後、パースより内陸へ約 200 km, 西オーストラリア州)

温暖湿潤な日本の人工林に匹敵する生産量である。したがって、乾燥地においても適切な補助作業によって～5.0トン \cdot ha $^{-1}$ yr $^{-1}$ の資源生産の可能性があることがわかった。また、植林による蒸散量の増加は顕著で、5年生林分で700mmyr $^{-1}$ を超えるため、部分的な植栽でも湛水や塩集積の回避（水収支バランスの改善）に大きく役立つことが明らかになった（Aikawa *et al.*, 2009）。

この研究で対象とした、乾燥・半乾燥地帯におけるハードパン型及び塩集積型の土壌は、地球上に合わせて746百万haも存在し、地球上の荒漠地面積の18%を占める（FAO, 2000）。この土地は、地球上の人間が生活によって排出する年間炭素量（7.1ギガトン-C）の26%（1.87ギガトン-C）を吸収・固定する潜在能力を持っている。現在利用が出来ず放置されている荒漠地が植林できれば、森林を再生するだけでなく、二酸化炭素の吸収源、炭素の貯留庫として地球環境の改善に役立てる事が出来るだろう。また、その先にはカーボンニュートラルと言われるバイオマス資源のエネルギー利用化もある。

おわりに

自然環境の保全という立場からみれば、森林の再生を図る場合、そこに自生する樹種を使用し、潜在的な森林へと誘導するのが筋であろう。この研究で有望とされたユーカリ（*E. camaldulensis*）は植林対象とする立地全てに自然分布していたわけではない。但し、この植林を立体的空間構造からなる森林生態系を再生するための導入策として考えれば大きな意義がある。現実に植林試験地には、鳥や大型爬虫類の営巣が見られるようになったし、このような生物多様性回復への貢献は、熱帯地域の荒漠地における単純一斉植林地でも認められている。

一方、資源利用という考え方から見れば、食糧供給が逼迫している中で、農畜産業が可能な土地の確保が重要な課題である。また、脱化石燃料の流れの中で、バイオマスエネルギー資源を非農耕地に求める声が高まっている。このように、人間生活を維持するためには、不適切な利用によって沙漠化した土地を再び森林に戻し、新たな管理手法の元で再利用することが重要である。

引用文献

- 1) Aikawa, S., Kawarasaki, S., Hamano, H., Suganuma, H., Utsugi, H., Saito, M., Tanouchi, H. and Kojima, T. (2009) Verification of the effect of afforestation with *Eucalyptus camaldulensis* as the countermeasure against salinity of abandoned farmland in Western Australia. *Journal of Arid Land Studies*, in press.
- 2) Bari, M.A. and Schofield, N.J. (1992) Lowering of a shallow, saline water table by extensive eucalypt reforestation. *Journal of Hydrology* 133: 273-291.
- 3) FAO (2000) Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World Soil Resources Reports*, 90. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 4) 濱野裕之・金 親暎・河原崎里子・田内裕之・加藤 茂・小島紀徳（2008）西豪州塩害農地での植林を目的とした簡易耐塩性試験による樹種特性の把握および適用方法の検討. *日本海水学会誌* 62: 22-27.
- 5) Shiono, K., Abe, Y., Tanouchi, H., Utsugi, H., Takahashi N., Hamano, H., Kojima. T. and Yamada, K. (2007) Growth and survival of arid land forestation species (*Acacia aneura*, *Eucalyptus camaldulensis* and *E. salubris*) with hardpan blasting. *Journal of Arid Land Studies* 17: 11-22.
- 6) Tanouchi, H., Utsugi, H., Takahashi, N., Hamano, H., Kawarasaki, S., Kojima, T. and Yamada, K. (2006) Water use efficiency of trees in arid lands: plasticity to water conditions. *Journal of Arid Land Studies* 15: 267-270.
- 7) Tanouchi, H., Aikawa, S., Kawarasaki, S., Utsugi, H., Hamano, H., Saito, M., Adrianne, K., Kojima, T. and Yamada, K. (2009) Examination of biomass production by afforestation techniques in arid land of low-latitude zone. *Journal of Ecotechnology Research* 14: 183-188.

森林と大気熱エネルギー・物質交換をはかる —シンチロメータによる測定—

中屋 耕 (なかや こう、電力中央研究所)

はじめに

森林が太陽から受け取った熱エネルギーの多くは、大気を直接暖める顕熱や、水を蒸発させる潜熱などに使われ、暖かい空気の塊や水蒸気として、風の強弱が作り出す空気の渦(乱流)によって素早く森林の外の大気と交換されます。乱流は、生物の呼吸や光合成によって生み出された二酸化炭素や酸素などの気体も運びます。このため、気温や様々な気体の密度の変動と、乱流が作り出す鉛直風の強弱を測定することで、森林と大気間でどのくらい熱エネルギーと気体(物質)が鉛直方向に行き来して(交換されて)いるのかを知ることができます。この交換速度を単位面積あたりの値で示したものをフラックスと呼び、測定する方法を渦相関法と呼びます。周囲に均一な森林が広がっている場所で、タワーなどを利用して森林上空で渦相関法を行うことで、その森林を代表するフラックスが得られると考えられてきました。つまり、風上からやってくる大小様々な渦が次々と測定装置を通過するため、どこでも周囲の代表的な値を把握できると言う考え方を前提としています。これは、周囲空間のフラックスの平均値を測定することと同じと考えられます。それでは、

平均化する広さが異なるフラックス測定結果を比較するとどうなるでしょう。

シンチロメータは陽炎を測る

よく晴れた日、舗装道路の彼方の風景が揺らめく陽炎を目にしたことがあると思います。これは、大気の屈折率変動によるゆらぎ(シンチレーション)が生じ、本来まっすぐ進む光の進路が曲げられたために起こります。屈折率の変動は主に風と気温の変動によって引き起こされることから、このゆらぎを調べることで大気の乱流運動エネルギーと熱エネルギーの移動に関わる情報が得られます。シンチロメータはこの原理を利用したフラックス測定装置で、一定の強さのレーザー光を発信する装置(トランスミッタ)と、レーザー光の受光装置(レシーバ)の対です(図-1)。トランスミッタとレシーバの間の大気(測定パス)のシンチレーションは、レシーバで光強度の変動として検出され、そこから乱流によって駆動される熱フラックスが計算できます。現在、顕熱フラックスを算出するシンチロメータが市販されています。シンチロメータの大きな特徴は、トランスミッタとレシーバの距離を数10メートルから数100メートルの範囲で離して設置できることです。測定パスの範囲

の情報を得ることができるため、従来の測定装置に比べて広い領域で平均化された情報を検出することができると考えられています(図-2)。

大気は意外に不均一

シンチロメータと渦相関法による顕熱フラックスを比較すると、両者は一致せずシンチロメータの値が大きくなる傾向がありました。理想的な条件では、数10分から数時間程度の平均値と空間平均値は一致すると期待されていましたが、平均化される空間の広さが異なると、算出されるフラックスの値が異なることが分かりました。これは、森林上の大気乱流の状態が空間的に不均一なことを示します。このような大気乱流の不均一さは気象条件によって変化し、乱流が弱いほど顕著になることが分かりました。フラックスデータは、森林および周辺環境で起こる現象の解明に非常に有力な情報です。しかし、フラックス自体は目に見えず、検証の困難な値でもあります。フラックス測定の不確かな部分について、原因の解明と対策の検討を今後も続けていく必要があります。

参考文献

Nakaya K. *et al.* (2007) Spatial averaging effect on local flux measurement using a displaced-beam small aperture scintillometer above the forest canopy., *Agric. For. Meteorol.*, 145 (1-2) 97-109.



図-1 シンチロメータのトランスミッタからレシーバと渦相関センサを設置したもう一方のタワーを望む

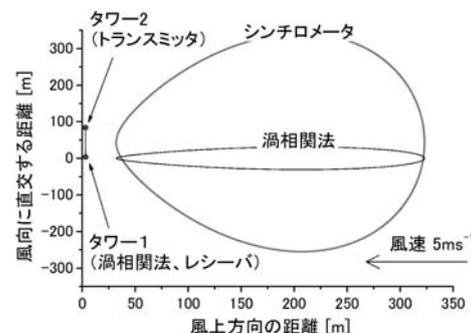


図-2 森林を上から眺めた場合の、フラックスに寄与する乱流が起源とする領域の違い

森林生態系における揮発性有機化合物をはかる

奥村 智憲 (おくむら もとのり、京都大学)

はじめに

植物は光合成によって、大気中の二酸化炭素から炭素を固定していることはよく知られていますが、固定した炭素の一部を揮発性の有機化合物（炭素原子を構造の基本骨格にもつ化合物、以下、VOCとします）として放出していることはあまり知られていません。近年、分析装置の発展などにより、これら VOC の測定が可能となり、森林生態系から様々な VOC が放出されていることがわかってきました。

身近な揮発性有機化合物の放出

VOC は比較的分子量の小さな、常温常圧で容易に気体状となる有機化合物のことです。森林においては葉から最も多く放出されます。葉から放出される主な VOC にはイソプレン (C_5H_8) やテルペン類、アルコール類などがあげられます。このうち、みなさんの身近で利用されているものとしては、香水や洗剤などの香り成分として用いられているテルペン類の一種であるモノテルペン ($C_{10}H_{16}$) が挙げられます。モノテルペンはフィトンチッドとも呼ばれ、森林浴の際の香りの主成分でもあります。これら VOC の放出は、光合成による炭素吸収量に対して、数%～10%程度と微量ではありますが、固定した炭素の放出ということになりますので、森林生態系における炭素収支を考える際にはその影響を無視できない可能性があります。また、これら的大気中に放出された VOC の多くは大気における反応性が高く、光化学スモッグの原因物質で、また温室効果もあわせ持つオゾン生成するなど、大気化学においても注目されている化合物です。

放出メカニズムと放出理由

このように、近年になって植物が様々な微量の有機化合物を放出していることがわかってきましたが、その放出理由はあまりわかっていません。たとえば、葉

における大量のイソプレン放出は高温耐性を高めるためとも、過剰な光から身を守るためとも言われていますが、仮説の域を出ていません。最近になり、植物が昆虫に葉を食われた際に天敵を呼び寄せるためにモノテルペン的一种を放出しているという報告がなされ、VOC がコミュニケーションの手段として用いられていることがわかってきました。一方で、これら VOC の合成過程や放出メカニズムについては理解が進んでいます。葉においては合成過程の多くが光合成と関係があることがわかってきました。また、葉からの VOC の放出は気孔を介して行われ、葉中に揮発性の低いテルペン類の貯蔵器官をもつ樹木からの VOC 放出（針葉樹に多くみられる）は葉温に、合成とともに放出されているイソプレンなどの揮発性の高い VOC の放出（広葉樹に多くみられる）は光強度と葉温に相関があることがわかっています。

どうやって測定するのか？

葉からの VOC 放出量の測定には、葉をテフロン製のバッグや小さなキューベットなどで覆い、内部の空気を吸着剤に採取するか（図-1）、キャニスターと呼ばれる特殊処理を施した採取瓶に採取した空気を実験室に持ち帰り、ガスクロマトグラフで分離したのちに、質量分析計や



図-1 葉からの揮発性有機化合物の放出量測定の様子（点線の金属管内の吸着剤に採取）

水素炎イオン化型検出器で検出する方法が多く用いられています。この方法の欠点は濃縮してから分析を行う必要があるため、手間がかかることとリアルタイムで測定することが困難なことです。そこで、最近になって、リアルタイム測定が可能な陽子移動反応質量分析計 (PTR-MS) などの装置が用いられるようになってきています。図-2に、日本に自生しているブナ科のコナラ (*Quercus serrata*) の葉からのイソプレン放出例を示します。光合成が午前中にピークを迎えているとは異なり、イソプレン放出は気温が最大となる13時過ぎにピークとなっていることがわかります。このことは、イソプレン放出が葉温にも強く依存していることを示しています。また、光合成で吸収した炭素のうち、1～7%をイソプレンとして放出しており、コナラにとって、何らかの意味があって、イソプレンを放出していることが伺えます。

おわりに

森林生態系における揮発性有機化合物の放出は、その放出理由などまだ分かっていないことが多くありますが、森林生態系が二酸化炭素のやりとり以外に様々な化合物によって維持されていることを私たちに教えてくれているように思います。今後、この分野の研究が進むにつれ、新たな森林生態系の姿が見えてくるかもしれません。

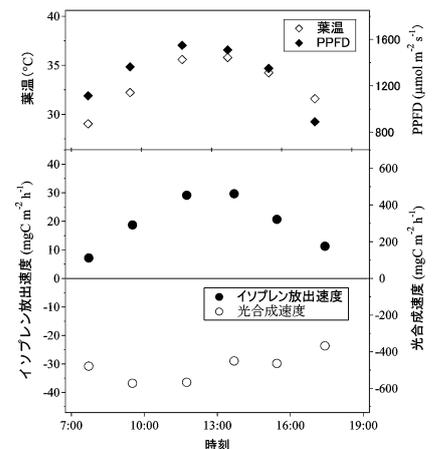
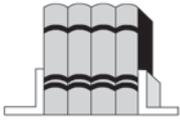


図-2 2006年8月におけるコナラの葉からのイソプレン放出の日変動（未発表データ）



ブックス

それでもピサの斜塔は倒れない 知れば誰かに話したくなる 地中のこと

応用地質株式会社編著、幻冬舎、2007年9月、223ページ、1,365円（税込）、ISBN978-4-344-99595-6

本書は、構造物の建設や自然災害、地盤環境の調査・設計・対策を手がけている応用地質株式会社が、設立から50年間蓄積してきた「地盤の知識」を解説したものである。地盤調査は土木に関する様々な場面で実施されるが、地中深くに関わることなので人目に触れる機会はほとんど無い。本書では、地盤を診断する技術者をその仕事の内容から「ジオドクター」と呼び、このジオドクター達の隠れた仕事を様々なエピソードを交えて紹介している。わかりにくい専門用語には、丁寧な注釈と理解を助けるための図表が豊富に使われ、地盤と全く関係のない分野の人でも容易に内容を理解できる工夫がされている。

本書の構成は次の7章からなる。1章：日本列島と複雑な地盤のできかた。2章：軟弱地盤に安全な構造物をつくる。3章：地震の発生メカニズムと地震災害。4章：土壌・地下水汚染とその対策。5章：地盤災害。6章：最新の地盤探査技術。7章：地質遺産への関心の高まりと国内外の動向。

1章では、日本列島の形成過程を詳説し、わが国で火山・地震活動が多い理由と、諸外国に比べ地盤が複雑かつ脆弱である理由が述べられている。2章では、本書のタイトルであるピサの斜塔と東京タワーなどを事例に、建設技術の今昔の違いを解説し、地盤の強さを知ることの重要性が述べられている。3章では、プレート型と内陸型の地震の発生メカニズムの違いや、地盤への地震動の伝播について解説されている。また、これらの地震動が引き起こす地盤の液化化やビルの共振現象について述べるとともに、最新

の地震予知技術の動向を紹介している。4章では、地下水と地盤の問題をとりあげ、地盤沈下と土壌・地下水汚染の実態とその対策について解説している。5章では、崩壊・地すべり等の地盤災害とその予測技術について述べられている。6章は、ヘリコプターなどにセンサーを搭載し、空中から地球内部を探査する空中地下探査、サンドスキャンソナーを用いた海底地形調査などの最新の探査技術について解説している。7章では、ユネスコの取り組むジオパーク構想や日本地質百選を中心に、近年の地質遺産への関心の高まりと国内外の動向について紹介している。

森林科学の読者は動植物などを対象に仕事をされる方が多いと思うが、そのような動植物は地盤上に成立・活動している。そういう意味においては、地盤を専門とされない方でも、教養として基本的な地盤の性質を知っておくことは無意味ではないだろう。本書はその内容を容易に理解できるように書かれており、地盤を専門とされない方には地盤の入門書としてお使い頂ける。一方、地盤災害を取り扱う治山・砂防の分野の方には、日本列島の地質や地震の性質について平易に解説した地学の入門書としてお使い頂けるだろう。

多田泰之（森林総合研究所）

発芽生物学

吉岡俊一・清和研二編著、文一総合出版、2009年3月、436ページ、4,725円（税込）、ISBN978-4-8299-1072-6（4-8299-1072-0）

樹木の種子発芽に関しては、これまでもいくつもの成書が刊行されてきた。しかし、本書「発芽生物学」は副題に種子発芽の生態・生理・分子機構と掲げられているように、38名の執筆者が種子発芽に関する全分野を網羅する、意気込みに溢れた内容になっている。巻頭のカラーページには、この分野をリードしている Baskin 夫妻の写真が飾られており、寄稿も翻訳されて、この本を盛り上げて

いる。本書は種生物学会の年会において開催される講演会の内容を中心に執筆されたシリーズの第32巻でもある。

評者の学生時代はフィットクロムの役割が取り上げられていた頃で、自らもマツ属の発芽生理に関する研究を志していたので、店頭でタイトルを見てすぐに購入した。巻頭言にもあるが、従来の本とは異なり、植物の一生のごく初期に見られる巧妙としか言いようのない発芽のプロセスが、執筆者のときめきが伝わるように記載されている。森林科学に従事するモノには、座右に1冊、少なくとも研究室に1冊は置きたい本である。

編集は森林科学の植物生態・造林分野をリードしている清和研二氏と園芸・作物生理分野にて発芽機構を探究されている吉岡俊人氏の労による。幅広く新進気鋭と言うべき若手研究者がその成果を基礎に彼らの息吹を感じる内容が詰まっている。内容は5部に分かれている：Baskin 夫妻の寄稿から始まり、環境（温度・光・酸素・化学物質）への生理レベルの応答が示されている。次いで、生態として発芽のばらつくことなどの意味など、進化生物学の本質的課題が紹介されている。そして植物ホルモンを介する発芽の分子機構が述べられている。特記すべきは、このシリーズの特徴である発芽実験法が記載されている点で、実習の手引き書としても便利な構成となっている。せひ、手元に置きたい1冊であり、会員の皆様へおすすしたい。

小池孝良（北海道大学農学部）

由良川源流 芦生原生林生物誌

渡辺弘之著、ナカニシヤ出版、2008年3月、168ページ、2,100円（税込）、ISBN978-4-7795-0215-6

本書は40年以上にわたり京都大学の大学院生、演習林及び農学研究科教官として京都大学芦生演習林（現在の名称は芦生研究林）に関わりつづけた著者による、森と地域の物語である。紙数の多くはタイトル通り芦生でみられる植物や、著者の専門研究分野である動物に関する

記事に割かれている。読者はここで芦生の自然に対する豊かなイメージを抱くことになる。芦生を訪れたことのある人はかつて経験した自然を頭の中で確認し、まだ訪れたことのない人にも京都、滋賀、福井の府県境に位置し、京都北部を流れる由良川源流部であるこの演習林に残された自然の、森林の、川の姿を想像させる、読みやすくかつ中身の濃い書籍であるといえよう。書評者の個人的な読後感であるが、内容もさることながら「まえがき」と「あとがき」に著者の思いが込められているようだ。

本書はその豊かな自然を紹介するだけでなく、芦生演習林を取り巻く自然的、社会的な環境が、この約半世紀弱でどのように移り変わりつつあるのかについても記している。

例を挙げれば第2章で紹介されるシカ増加による植生の食害、カシノナガキクイムシ被害によるミズナラの枯死、あるいは温暖化によると思われる積雪量の減少傾向など、近年顕著になってきた変化が長期的な森林の姿にどのように影響してくるのかを読者に考えさせてくれる。

また第1章で述べられている由良川源流部での電源開発を目的とするダム建設の動きと、それに対して地域住民、教官や学生など大学関係者をはじめとする演習林利用者、生態系保全の重要性を訴えるグループなどがどのように対応してきたのかについての紹介、さらに同じ章の演習林の数百年前まで遡った記載のある史料の紹介は、本書がタイトルにあるような「生物誌」としてだけでなく「社会生態誌」とでも呼ぶべきものであることと、著者のこの問題に対する意識の在処とを雄弁に示している。特に人と自然の関わり方については、木地師たちが住みついていた時代、演習林となつてしばらくの間の林からの伐出・造材などの歴史の中で、この森が人々にどのような恵みを与えてきたのか、人々による森の恵みの利用が今日の森の姿にどのように現れているのかについても、それぞれ短い文章ながら読みやすく語ってくれている。

第3章を「芦生のツキノワグマ」とし

て特に1章を割いている点など、著者の興味と視点は1970年発行の「京都の秘境・芦生」（ナカニシヤ出版）から揺らいでいないが、半世紀に近い時代の変化はどの章で語った内容にも十分盛り込まれている。機会があればこの「京都の---」と併せて読まれることをお勧めする。

田淵隆一（森林総合研究所）

花実でわかる樹木 951種の検索

馬場多久男著、信濃毎日新聞社出版、2009年1月、416ページ、3,675円（税込）、ISBN978-4-7840-7093-0

樹木の同定をおこなう時には図鑑が必要となるが、図鑑の多くが「科」ごとに配列されているため、植物の同定に不慣れな人には使いにくい。初心者にとっては、植物の形態から検索できる検索表が充実していないと、折角いい図鑑を持っていても同定をおこなう際に苦労することが多い。これまで初心者向けの検索表が充実している図鑑もあったが、葉の特徴から検索するものが多かった。種の同定をおこなうには葉だけでなく、花・果実・幹・樹型などの特徴を含めて総合的に検索できれば便利であるが、こういった図鑑はこれまで少なかったように思われる。

本書は信濃毎日新聞社から出版された「冬芽でわかる落葉樹」（1984年初版）、「葉でわかる樹木」（1999年初版）に続く第3弾の図鑑で、「検索編」と「解説編」で構成されており、花、果実、葉の付き方などを組み合わせることによって容易に樹木の同定をおこなうことができるようになっている。他の図鑑と異なるのは、検索にかけているページ数が多く、全416ページ中で検索に70ページも割れている。検索編では、検索表で花、果実、開花時の葉の有無、花の形態や色、果実の形態、葉の付き方などから数種に絞り込み、花や果実の写真と照合して検索をおこなう。検索編の写真もそれぞれの種の特徴を捉えたものになっており、写真から更に樹種を絞り込むことができる。

解説編には類似種に関する記載もされており、解説編を見ることで同定がおこなえるように工夫されている。また、根元から木を見上げて撮った写真も掲載されており、樹皮だけでなく樹型もわかるようになっている。通常、林内で樹木を見るときは根元から見上げることが多いため大変参考になる。本書で紹介されている樹木は586種あり、写真と文中での紹介を含めると計951種、写真だけの園芸品種を合わせると1109種の樹木を網羅している。野生種の記載が多いが、ウメやツバキでは代表的な園芸品種も紹介されている。

全416ページあり少々重いものの、A5版でコンパクトになっており、フィールドに持って行くことができるサイズになっている。葉の無い時期の「冬芽」、夏緑時の「葉」、今回の3部目の「花実」が加わったことで1年を通して検索が出来ることになった。樹木の同定が苦手な方や初心者の方にお勧めの本である。

米田令仁（森林総合研究所）

北方林業創立60周年誌 北の森づくり Q&A

社団法人北方林業会編、北方林業会、2009年3月、201ページ、1,500円（税込）

私が北海道に住んでいたのはもう十年以上前ですが、その当時から北方林業の読者でした。主に北海道という地域を舞台とした、それも「林業」という名前をついた雑誌が60周年を迎えたということで、驚くとともに、編集に携わっている方々のご苦勞に深く感謝したいと思います。本書はまえがきにあるように、この創刊60周年を記念して発刊されたものです。北海道の森林の取り扱い、森林を皆伐して人工林を作るという方法から自然の力を上手に活用しながら木材を収穫し森を育てるという方法へと大きく転換し、それに役立つ情報として北方林業では「天然林の見方」「天然林を考える」「天然林施業Q&A」（前2冊は北海道営林局刊）の3部作の発刊に関わり、本書は

最近の森づくりに関する研究情報の蓄積を取り入れた、これら3部作の改訂版としての位置づけとのことです。時代の流れとともに森林に対する市民の関心が木材生産から多面的な森林機能の発揮へとシフトしていますが、このような流れもくんで内容が構成されているようです。

本書の中身を見てみますと、大きく6つの章に分けられ、それらの中に全部で77項目の話題がQ&A形式で埋め込まれています。最初の章は「環境の激変と森林の役割」となっていて森林に関する一般的な知識と、最近大きくクローズアップされてきた森林と大気との相互作用に関することや環境教育に関することなど16項目、次に「子孫のための森づくり」と題して種子や芽生えなど森林の更新に関することが17項目、「森と動物の関係」と題して動物による森林への働きかけに関することが10項目、「森林バイオマスの育成と利用」と題して木材資源としての森林及びその取り扱いなどに関することが11項目、「銘木をつくる」と題して北海道の重要な広葉樹資源であるウダイカンバ、ハリギリ、ミズナラ等の林の取り扱い方に関するものが10項目、最後に「災害を防ぐ森造り」と題して森林による地すべり防止など防災に関することや、トドマツの凍裂に関することなど13項目となっています。

これらの内容を見て分かりますように、北海道の森林に関する様々な分野の知識が本書に納められています。最近の森林科学のトピックとして取り上げられるほとんどの分野といってもよいでしょう。各項目の執筆者の方々は当該分野の専門家であり、内容はわかりやすく、かつ、十分なものです。各項目には写真や図表などを利用した解説も含まれていますが分量は2~4ページにまとめられ、大変簡潔なものになっています。これから北海道の森林について勉強してみたい学生の方や、北海道の森林・林業に関わっている社会人の方など、幅広い層の読者に手に取っていただきたい1冊だと思います。

佐野真琴（森林総合研究所）

サクラハンドブック

〔大原隆明著、文一総合出版、2009年3月、88ページ、1,260円（税込）、ISBN978-4-8299-0181-6〕

生物を研究する上で分類・同定をおこなうことは必然であり、研究者には相応の同定能力が要求される。しかし誰もがすべての生物について精通することは不可能であろう。特に分類体系が確立していないような分類群について、その分類に対する専門の研究者以外が同定をおこなうことはきわめて難しい場合がある。日本人にもっとも身近な樹木であるサクラも分類・同定が難しい分類群のひとつである。日本に野生する9種（あるいは10種）についての分類・同定はそう難しくない。しかし、変種や雑種まで含めると40以上もの野生分類群が報告されている上に、栽培品種まで含めると200を超える分類群が存在する。また、こうした分類群についての分類体系が研究者によって異なるので、一般の人にとってサクラの分類・同定は魑魅魍魎の世界であろう。著者はこうしたサクラ類の分類の研究者であり、確実な同定をおこなうことが出来る数少ない貴重な人材である。風景写真としてのサクラの写真集や文化としてのサクラを扱った本は数多く出版されているが、本書はサクラの同定に関しての知見が中心である点が異なる。

本書では、野生・栽培を含めた合計36分類群のサクラが多くの写真入りで解説されている。本州に自生しているヤマザクラやエドヒガン・オオシマザクラなどの野生種や、公園などに植栽している‘ソメイヨシノ’や‘フゲンゾウ’・‘カンザン’などの栽培品種である。特殊な植物園にでも行かない限り、ふつう目にするサクラの大部分はこの中に含まれている。したがって、本書を手にして観察すれば、花が咲いている時期には花の写真を見て、花が終わった後の時期には葉の写真を見て同定することが可能である。特に同定をおこなう上での重要な形態である萼と苞、葉の鋸歯の写真が、す

べての分類群について掲載されている点は大変嬉しい。これまでの図鑑などには見られなかった本書の大きな特徴である。さらに、間違いやすい種類としてさらに27分類群についての小さな写真入りの解説も付いており、同定をおこなう上での情報は盛りだくさんである。ある程度の同定能力があれば、本書を用いることでサクラの同定に不安がなくなるはずである。公園などでの調査にはまさに最適なハンドブックである。

なお個人的には、著者がこれまで研究をおこなってきたサクラについての詳しい解説を加えても良かったように感じる。本書においても著者が記載したホシザクラや、現在の勤務地である富山県に自生するコシノヒガンザクラについて解説されているが、著者ならではのヤブザクラやミヤマチョウジザクラについての話が読めると、さらに本書の大きな特徴となったであろう。最後に蛇足ではあるが、評者もサクラの図鑑（日本の桜、学研、264ページ）を出版している。取り上げている分類群や解説のポイントが異なるので、サクラを同定する際には、本書と合わせて利用していただければ幸いです。

勝木俊雄（森林総合研究所）

樹木病害デジタル図鑑

〔森林総合研究所森林微生物研究領域編（CD版）、全国森林病虫獣害防除協会、2009年3月、3,000円（税込、送料別）〕

樹木病害の解説として「庭木・花木・林木の病害」が発刊されたのは1988年のことであった。この名著が絶版になって久しく新たな樹木病害の解説が待ち焦がれていたがようやく発行された久々の図鑑である。現代風にパソコンを用いて画面上で閲覧するタイプとなっている。インターネットエクスプローラーなどのインターネット閲覧ソフト上で閲覧するため、コンピューター世代には違和感がないが、コンピューターになじみがない方々には少し違和感があるかも知れない。しかし、図鑑を開き病害の画像を見

ると非常に美しく、見やすくなっていることに驚かされる。また、多くの病害で複数の画像が用意されており、さまざまな病徴を確認できるようになっている。今までの図鑑ではほとんど1枚の画像があるのみでさまざまな病徴を示す病害の場合は判定しにくい場合があった。この点いろんな画像から病徴を判定できることは優れたものといえる。さらにコンピュータの機能を活用し、キーワード検索ができる。樹種はもとより病名、さらに病名の一部、病原菌(学名)でも検索できる。たとえば *Pseudocercospora* で検索してみると病原菌が *Pseudocercospora* である病害を一覧で表示してくれる。このことはこの病原菌に効果のある薬剤があれば一覧にある病害に適用できる可能性があることを示している。

この図鑑はそれぞれの分野の専門家が集い作成されたことも特徴となっており、このことによりその記述の確実性、正確性は高く、図鑑としての価値は非常に高いものとなっている。しかし記述の確実性、正確性が高いにも関わらず、内容は非常にわかりやすく、われわれが病害の判定を行うための必要最低限の情報がコンパクトにまとめられている。ただ、一般の方が病害の判定をするための情報として、画像の病徴がどの場所でいつごろの病徴であったかの情報が欲しかった。画像の説明文の最後に括弧書きでも場所と時期の記載があればなお良かったかと思っている。

この図鑑はデジタル化されているということで、画像、病害の種類など必要な項目をどんどん追加できうる環境になっていると思われる。画像がやや古い感じのする病害も若干あるため、さらに見やすく、読みやすいものに進化していくことを望むものであるが、304種類にも及ぶ樹木病害を一同に集め解説したのものとしては植物病害大辞典以外見当たらず、コンパクトに解説したのものとしては久し

ぶりである。しかも最新の知見を集めたものとして多くの方、特に樹木医のみなさんの座右に置いていただきたいものである。

西垣眞太郎(鳥取県農林総合研究所
林業試験場)

コモنز論の挑戦 新たな資源管理を求めて

井上眞編、新曜社、2008年11月、
222ページ、3,360円(税込)、ISBN
978-4-7885-1125-5

本書は、「まえがき」の冒頭で「コモنز論は不定形である。まさにアメンバーのようだ。」と始まる。評者は、この後に続く編者の井上自身の文章から、様々な学問領域に「触手を伸ばしつつある」学際的な性質の比喩と理解した。しかし、本書を読み進めていくと、どうもそれだけではないことに気がつかされる。著者らが「コモنز」というキーワードを用いる目的は、「コモنز論」を精緻化し学問体系を確立すること(コモنز論「を」)ではなく、本書の副題ともなっている「新たな資源管理」の在り方を求めて(コモنز論「で」)である。その問題意識を抱えて現場を前にした時、著者らは、コモنز論に新たな視角を投げこみ、議論の原点に倦むことなく立ち戻ることを要求し、さらにはコモنزの定義の再検討を提起する。著者らにより展開されるコモنز論に、(良い意味で)ぐにやぐにやと形を変えてうごめく生々しさを感じずにはおられない。

コモنزについて、井上は「自然資源の共同管理制度、および共同管理の対象である資源そのもの」と定義する。いくつかの学問分野では、「コモنز」という用語こそ使わなかったが、昔からこのような実態についての研究は進められてきた。近年になってから、それらにあえて「コモنز」というキーワードを冠することについて、著者の一人である管は、

近代生物学の発展におけるショウジョウバエ研究の貢献になぞらえ、コモنزが「社会科学のさまざまな中心課題、鍵となる設問を解くため」に「扱いやすく、かつ重要なコンテキストと糸口を提供」する共通の「試験台」になるとする。つまり、社会科学の発展や現実問題の解決が意図されている。そのためには、様々な学問が「混合」して研究を進める状況を望ましいとし、井上はその中で「挑戦」と「双方向の応酬を可能とするような「開かれた批判」」を求める。

本書は、こうしたことを踏まえた三部構成からなる。第1部は、「コモنز論の批判的検討」として、人類学(管)、林政学(三井)、経済学(山本)におけるコモنز論の展開と課題を概観するとともに、それらも含めて「コモنز論」(三俣)としての展開および課題を確認する。第2部は「コモنزの変遷と現状」として、日本(加藤、石崎、山下、浦久保)、インドネシア(笹岡)、ソロモン(田中)での丹念な事例調査から析出された問題意識を投げかける。第3部は「コモنز論—過去から未来へ」として、今後のコモنز論の展開方向について提案を試みる(三井、北尾、井上)。

本書は、コモنز論を「不定形」なものとして、既存の枠に拘泥はせず、自身の在地研究成果をもとに今後の展開方向を提案(「挑戦」)しようとする著者らによるアンソロジーといえる。その意味では、初学者というよりは、少しはコモنز論をかじったことがある人向けと言えるかもしれない。第1部をはじめ一部の章は専門用語を躊躇無く使って密度の濃い議論をしているため、多少「歯ごたえ」を感じるかもしれない。しかし、各著者の主張や思いは章末に明記されている。読み手には、これらを自分なりに咀嚼し、自身の現場に応じた「アメンバー」を育て、資源管理における問題解決に取り組むことが期待される。

横田康裕(森林総合研究所)

昔話と里山問題

森本 淳子 (もりもと じゅんこ、北海道大学大学院農学研究院)

生物多様性国家戦略において生物多様性の第二の危機、と位置づけられた二次的自然の衰退(里地里山の問題)を講義の題材にするとき、よく引き合いに出すのが昔話「桃太郎」だ。

「おじいさんは山へシバかりに、おばあさんは川へ洗濯に行きました……」のくだりに出てくる、シバ(柴)とは、ツツジなどの低灌木の萌芽枝のことで、薪を焼き付けるときの材料に使われていました。京都ではコバノミツバツツジが最良の柴で、鞍馬の祭祀に名残が見られます。1950年代までは、日本では薪や炭が主要燃料だったので、集落周辺の山は15年—30年毎に薪炭材の伐採や、日常的なシバかりの圧力を受けていました。そのため、アカマツ林やクスギ・コナラ林が関西地方や関東地方の低山地には広がっていました。けれども、燃料革命以降、このような山に対する働きかけがなくなりました。その結果、木々が成長して照葉樹林に遷移したり、地位の悪い場所ではヒノキ林に遷移したりしています。暗くなった林床では、かつてはいくらでもあったシバや氷河期の名残りの春植物が衰退しています……

私が京都の野山を走り回って遊んでいた1970—80年代は、まだかつての「里山」の痕跡があった。マツ枯れは既に各地で深刻な広がりを見せていたものの、まだ健全なマツも多かったし、コバノミツバツツジが春の訪れを告げてくれた。アカマツの落ち葉をたっぷり集めてベッドにしたり、ドングリを布袋に詰めてボールにしたり、低灌木に囲まれた単木ギャップを基地に仕立てたり。使い方は違うけれども、身近なところで「里山」に親しんでいた。

けれども、平成生まれの学生たちにはいくら説明したところで、「里山」は想像しがたい昔話の風景かもしれない。「取り戻したい懐かしい自然」とは感じないのではないだろうか。特に、北海道出身の若者には、その感覚を伝えるのは難しく感じる。本州のように長い年月をかけて、薪炭林や農用林が維持されてきた歴

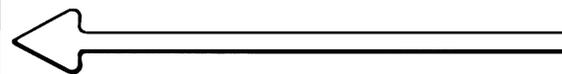
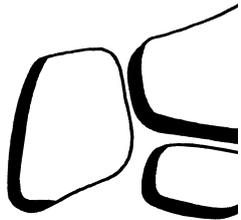
史がないからだ。

かつての「里山」景観がよく再現されている昔話が「かちかち山」だ。おばあさんを殺したタヌキを、ウサギがあの手この手で懲らしめるのだが、一回目はカヤ(茅)山、二回目はタデ(蓼)の原、三回目はスギ(杉)山、が舞台になっている。茅葺(かやぶき)屋根に使われてきたススキやスゲなどの刈り取り場や、薬味として利用されたヤナギタデが群生する田んぼの土手、家屋の補修材を調達するために育成された小規模なスギ人工林が、身近にあったことを示唆している。タヌキは刈り取ったカヤを背負って山を降りる途中に火をつけられる。背中に火傷を負うが、火傷の薬だと騙され傷口にタデ汁をぬられる。最後は、スギではなく泥の船に乗せられ、池(ため池?)の真ん中で沈んでしまう。国語学者の金田一春彦によると「かちかち山」は、「桃太郎」とともに代表的な日本の昔話だったが、内容が復讐的、侵略的、との理由から最近はどこにも教科書に掲載されなくなっているらしい。

竹林も、「里山」を構成する要素のひとつであった。竹取りの翁が月国の姫君が宿る光る竹をみつけたり(かぐや姫)、雀のお宿が隠されたりしている(舌切り雀)。神秘的な描かれ方は継承されている。しかし、一見冷酷な以下のようなくだりは、明治時代以降は修正されてきているようだ。舌切り雀のおじいさんは雀のお宿の場所を教えてもらう代償として、馬子に馬の小便(洗水の説もあり)を飲まされる。ようやく出会えた雀を連れ帰ろうとするが断られ、代わりに小判の入ったつづらを受け取る……。重要な輸送手段として馬が使われていたことや、互いの領域にふみこまない人と動物の暮らしなど、かつての生活が垣間見られる。

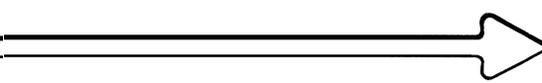
昔話の主人公がたいてい老夫婦なのも興味深い。私自身が就学前の息子に読み聞かせしながら、主人公の老夫婦は、語り手自身ではないだろうか、とふと思った。つまり、両親が農作業に出ている間、祖父母が孫のお守りをしながら創作したも

北から



那覇から車で2時間半ほど北上すると、沖縄島最北端の国頭(くにがみ)村に辿り着きます。人口5,300人ほどの、海に囲まれた森の村です。国頭村をはじめとする沖縄島北部は、通称ヤンバル(山

のが、今に伝わる昔話なのかもしれない。昔話はありのままに語り継ぎたい。それが里山の危機を露にしてくれるのではないだろうか。現代の道徳に安易に縛られないことが、歴史的文化の継承による生物多様性の保全に必要なだ。



南から

日本森林学会支部だより

次ぎ、林業はこの地域の基幹産業へと成長しました。しかし、1990年代後半に入ると、当時の主要生産物であった広葉樹チップが海外産のものに押されるようになり、生産量は大幅減少に転じます。現在も、村有林を中心に小面積皆伐を行って広葉樹チップを生産していますが、年間伐採面積は最盛期の5%程度にまで減っています。それでもなお、国頭村森林組合には60人程度の従業員・作業員が就業しており、林業はこの地域の重要な産業であり続けています。

一方で、ヤンバルの森には、ノグチゲラ、ヤンバルクイナ、オキナワトゲネズミなど、数多くの固有生物が生息しています。その生物相の多様さから、ヤンバルを含む琉球諸島は世界自然遺産の国内候補地にも挙げられており、現在はまずその前段階として、国立公園化に向けた動きが始まっています。しかしヤンバルの森は、これまでに多くの人為活動の影響を受けてきたため、原生植生の面影を残す林分は、分散して僅かに残されているに過ぎません。その影響もあって、ここに挙げた固有種3種も生息環境が減少し、すべて環境省レッドリストで絶滅危惧IA類に指定されています。これらの固有種が独自の進化を遂げたその場所の植生および生態系は、今後、重要な生息環境として計画的に保全されることが望まれます。

このような背景から、ヤンバルでは、林業と野生生物保護の両立を目指したゾーニングが必要になります。最近は、野生生物に関する研究が進み、その生活の様子や生息地情報なども徐々に明らかになってきています。たとえばノグチゲラの生息には、営巣木となるイタジイ等の大径木の存在が不可欠とわかってきました。ノグチゲラの個体数を維持するには、これらの大径木を一定の密度で確保

する必要があり、原生植生に近い大径木密度の高い林分は、保護の優先度が高くなるでしょう。また、個体数回復を図るとなると、周辺の天然林でも伐採を避け、生息環境を拡大する必要があります。

また、今年の春には、「オキナワトゲネズミの生息地とその周辺森林を伐採対象から除外する」よう通知が出されるといふ出来事がありました。野生生物の研究者と、県や村の林業担当者の密接な連携が、昨年30年ぶりに再発見されたオキナワトゲネズミの生息環境保全に繋がった、ひとつの成功例といえることができるでしょう。

では、ヤンバルの森では、今後どのような林業を行って野生生物保護との両立を図ればよいのでしょうか？ 現在行われている広葉樹チップ生産では、取引価格が安いため、大量の天然林伐採をしなくては売上げが伸びません。今後は、すでにリュウキュウマツやイジュ、イスノキ等の人工林に置き換えられた林分で効率的な林業を行うよう、経営方針を転換していく必要があります。そのためには、新たな商品開発や、品質確保、販売促進等にも力を入れなくてはなりません。また、人工林であっても、生態系への影響を考え、熱帯雨林で導入が進んでいる低インパクト伐採 (Reduced Impact Logging) のような、環境への負荷が少ない林業手法を独自に確立することが求められます。

さらには、ヤンバルの森には「世界的にも希少な亜熱帯林」というメリットもあります。数多くの固有種を育むその森林生態系は、環境教育やエコツーリズムにおいても非常に有益な資源となります。今後は、木材生産以外のこのような森林利用法も視野に入れ、この森の最適な活用方法を見つけていかななくてはなりません。

原)と呼ばれ、イタジイ (スダジイ) やイジュが優占する亜熱帯性常緑広葉樹林が広がっています。

ヤンバルは、沖縄県で唯一ともいえる林業地帯です。第二次大戦後から1990年ごろまでは、さまざまな木材需要が相

亜熱帯・ヤンバルの森での林業 ～野生生物保護との両立を目指して～

高嶋 敦史 (たかしま あつし、琉球大学農学部与那フィールド)

森林科学 57

予告

特集

クマ出没の生物学

森の危険な生物たち

イノシシ

現場の要請を受けての研究

暮らしとともにある森の姿をもとめて (仮題)

森林科学 57 は 2009 年 10 月発行予定です。ご期待ください。

お知らせ

- ・「森林科学」では読者の皆様からの「森林科学誌に関する」ご意見やご質問をお受けし、双方向情報交換を实践したいと考えております。手紙、fax、e-mail で編集主事までお寄せ下さい。
- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、創刊号からの目次がご覧いただけます。また、バックナンバー（完売の号あり）の購入申し込みもできます。
<http://www.forestry.jp/contents/publish/fs.html>
- ・56号以降については、森林学会会員の方は別途お送りするパスワードでオンライン版をご利用になれます。パスワードに関するお問い合わせは編集主事へどうぞ。

森林科学編集委員会

委員長	中村 松三	(森林総研九州)
委員	明間 民央*	(保護/森林総研)
	田中 憲蔵*	(造林/森林総研)
	丸岡 英生	(動物/自然環境研究セ)
	黒川 潮	(防災/森林総研)
	田中 格	(造林/山梨県森林総研)
	宮本 麻子	(経営/森林総研)
	橋本 昌司	(土壌/森林総研)
	宮本 基杖	(林政/森林総研)
	磯田 圭哉	(育種/森林総研林育セ)
	菅原 泉	(造林/東京農大)
	吉岡 拓如	(利用/日本大)
	森本 淳子	(北海道支部/北海道大)
	大谷 博彌	(東北支部/山形大)
	戸田 浩人	(関東支部/東京農工大)
	相浦 英春	(中部支部/富山県森林研)
	古川 泰	(関西支部/高知大)
	作田耕太郎	(九州支部/九州大)

(*は主事兼務)

編集後記

今号の特集「地震と山地災害」は、岩手・宮城内陸地震から1年になり、また海外では四川大地震が発生したのを受けて企画されましたが、いかがだったでしょうか。あの地震がどれほどの大災害だったのか、今号の特集を読んで認識を新たにされた方もいらっしゃるでしょう。第I章に名前が登場したバイオントダム災害は地すべりでダム湖に巨大津波が起きて下流の村が一つ壊滅した大災害でしたが、第III章で詳しく取り上げられた荒砥沢地すべりはそれにも比すべき現象だったとは、まさに知らぬが仏でした。

また、これほどのことがあっても被害の拡大を食い止めた多くの地域で日常生活を回復させた、日本の防災に携わる方々の努力と技術の底力も高く評価されるべきでしょう。あまりに有能なために災害そのものがたいしたものではなかったように誤解されかねないほどですが、第IV章ではその知られざる「緑の下の力持ち」の働きぶりを知ることができました。

個人的には直接地震による被害を受けたことはありませんが、阪神・淡路大震災では震度5を経験し、実家のある新潟に中越地震のあと何度も行くことになったなど、ニアミス経験は何度かあります。むしろ地震国日本ではそのような経験のない人の方が少ないかも知れません。かつて調

査で訪れた島原では「がまだすドーム」を見学し、噴火災害もさることながら第V章で取り上げられた「島原大変、肥後迷惑」という想像もつかないほどの巨大災害を知りました。そのようなことから思ったのは、「山は動く」ということです。

造林から始まる木材生産や里山の管理などの自然の持続的利用は、ともすると「山は常に変わらずそこにある」ということを暗黙の前提にしがちです。しかし、堅固な一枚岩ならいざ知らず、山は重力に支配される地球上の地形です。第II章および第VI章で解説されているように、ある限度を超える力がかかれば物理現象として当然崩壊します。人と自然が調和しているようでも、無限のサイクルなどあり得ません。滅びも自然の一部、などと言うと「風の谷のナウシカ」のようですが、生き物を相手にするのは違ったスケールで山を見ると、違うものが見えてきます。編集作業がこんなに勉強になるとは思ってもいませんでした。

最後に、今号特集の企画初期から最終調整まであらゆる面でお世話になった森林総合研究所の岡本隆氏と大丸裕武氏に心からお礼申し上げます。

(編集主事 明間 民央)

「森林科学」への投稿について

「森林科学」投稿規定

(2009年3月26日改定)

1. 投稿できるのは日本森林学会会員および「森林科学」購読者のみとする。ただし筆頭者以外の共同執筆者および依頼による記事の執筆者についてはこの限りではない。
2. 原稿は、解説、記録、研究トピックス、読者の声、その他とし、和文とする。
3. 原稿の採否は編集委員会が決定する。
4. 原稿の長さは原則として、すべてを含む刷り上がり解説、記録は4ページ以内、研究トピックス、読者の声、その他は2ページ以内とする。解説と研究トピックスについては、やむを得ない場合は規定ページ数の1.5倍まで認め、超過分は著者の負担とする。
5. 投稿原稿は執筆要領にしたがい作成し、電子メールまたは郵送で提出する。郵送で提出する場合は、オリジナル原稿(1部)を書留便で送付する。
6. 著者校正は原則として初校に限り、誤植の訂正にとどめる。
7. 解説、記録、研究トピックスの著者は別刷50部を希望により無料で受け取ることができる。無料分以上(50部単位)を希望する場合は、著者の負担とする。
8. 原稿の送付および編集についての問い合わせは森林科学編集主事あてとする。
9. 著者は最終原稿を提出する際に、著作権譲渡承諾書を提出しなければならない。

著作権規定

(2009年3月26日改定)

1. 本会の刊行物への掲載が受理された記事、論文等の著作権は、本会単独であるいは本会の定める出版社と共同で、本会に帰属するものとする。
2. 著者に許容される権利については、刊行物ごとに別に定める。

「森林科学」執筆要領

(2009年3月26日改定)

1. 原稿の書き方

専門分野以外の読者が理解しやすいように、図表や写真を多くし、わかりやすく、簡潔な表現を用いる。図にできる場合はなるべく表を使わない。目安として、少なくとも1ページに1つの図(イラストを含む)や写真を入れるようにする。

2. 原稿の種類

解説：特定の研究テーマや話題に関する解説

記録：シンポジウムや研究会の記録

研究トピックス：プロジェクトや国際共同研究、特徴ある研究の紹介

読者の声：読者の意見や主張

ブックス：書評、出版物の紹介

その他：上記以外の内容についての投稿。編集主事まで問い合わせること。

3. 原稿の形式

解説・記録・研究トピックス：以下を別紙①～⑤にそれぞれ記載する。①表題、著者名、所属先、原稿種類名、別

刷数(希望する場合のみ、50部単位)、連絡先(住所、電話番号、FAX番号、電子メールアドレス)、②本文、③引用文献(必要な場合のみ、目安として最大10点程度まで)、④図、表、⑤図の説明

読者の声・その他：以下を別紙①～④にそれぞれ記載する。

①表題、著者名、所属先、原稿種類名、連絡先(住所、電話番号、FAX番号、電子メールアドレス)、②本文、③図、表

ブックス：紹介する印刷物の書誌情報(書名、編著訳者名、総ページ数、出版社名、発行地、発行年、定価、付与されている場合はISBN)、本文、紹介者名、紹介者連絡先(住所、電話番号、FAX番号、電子メールアドレス)

4. 原稿の体裁

原稿は電子メールに添付しての提出を基本とする。ファイル形式などの詳細については編集委員会が定める「原稿作成の目安」を参照のこと。

図、表の表題にはそれぞれ通し番号(図-1、表-1など)をつけ、1点ごとに別ファイルとする。各ファイルには筆頭著者名と通し番号を含む分かりやすい名前を付ける。

手書き原稿も受け付ける。手書きの場合は400字詰め原稿用紙(A4版、縦型、横書き)に黒ペンで書き、図表や写真などの扱いは慣例に従う。

5. 引用文献

引用文献は必要最小限とし、アルファベット順に記載する。本文中での引用はアルファベット順で記載した通し番号で(1)、(2)、(3)のように引用するか、該当人名に(年号)あるいは事項に(人名、年号)をつけて引用する。混用はしないこと。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合はForestry Abstractsにならう。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは巻(号)を併記する。単行本の場合は総ページもしくは引用ページを記載する。記載例は「日本森林学会誌執筆要領」を参照のこと。

原稿の送付および編集についての問い合わせ先は下記あてとする。

森林科学編集主事 明間民央

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

森林総合研究所

森林微生物研究領域

Tel 029-829-8245

Fax 029-873-1543

e-mail akema.tamio@ffpri.affrc.go.jp

学会事務についての問い合わせ先

日本森林学会

〒102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

Tel./Fax 03-3261-2766

http://www.forestry.jp/

(日本森林学会)

http://www.forestry.jp/contents/publish/outline.html

(森林科学)

複写をされる方に：☐ 学協会著作権協議会へ複写権委託済み

許諾・連絡は、〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F 学協会著作権協議会 (Tel./Fax 03-3475-5618)

コンパス測量が大きく変わる



精度証明書付 トウルーパールス360° **TruPulse 360°**

- 1 デジタルコンパス内蔵レーザー距離計
- 2 重さわずか 220g
- 3 個別精度証明書付
- 4 単三電池 2 個で作動
- 5 傾斜地でも精度を維持



メジャー不要のコンパス測量システム

専用ソフトウェアのご使用により、現場での精度確認が可能になります。立木位置図作成にも最適です。

仕 様

測定範囲	距離 0 ~ 1000m まで 傾斜角 ±90° 12.7(L) x 5(W) x 8.9(H) mm	重量	220g
方位測定範囲	0 ~ 359.9 度	通信	RS232, (※TruPulse360B のみ Bluetooth 接続可能)
測定モード	水平距離、斜距離、高度角、高さ測定、対辺測定	望遠鏡倍率	7 倍
ターゲットモード	標準、短距離、長距離、連続、フィルタ(反射板)	レーザータイプ	不可視レーザー FDA による安全基準 クラス 1
精度	距離 ±30 cm (反射板使用時) 高度角 ±0.25 度 方位角 ±1°	マウントネジ	1/4-20 メス
サイズ	12×5×9cm	防水防塵	耐衝撃・防水・防塵 IP54
		ディスプレイ	スコープ内の LCD ディスプレイ
		電源	単三電池 2 個 (7,500 測定、Bluetooth 使用時 6,000 測定) または CRV3 1 個 (15,000 測定、Bluetooth 使用時 12,000 測定)



森林用 MSAS 対応 高精度 DGPS

林業のための最新高精度森林用 DGPS 受信機

SXBlue II GPS は高精度 CrescentGPS ボードを採用した、GIS データ収集用 DGPS 受信機です。

精度 60cm (2DRMS) 林業用 DGPS 受信機として最高精度
本受信機はバッテリー内蔵でわずか 464g

通信ポートは Bluetooth、シリアル、USB と 3 タイプ標準装備

SBAS 対応森林用 DGPS 受信機

SXBlue II

SXBlue II 仕様

SBAS (MSAS・WAAS・EGNOS)	標準
RTCM (精度 20cm 2DRMS) L1RTK (精度 5cm 3DRMS) 2/10/20Hz 出力	オプション



<http://www.gisup.com>

株式会社ジーアイサプライ
〒078-8350 北海道旭川東光10条1丁目3-20
TEL 0166 (37) 0035 FAX 0166 (33) 0335
info@gisup.com

フリーダイヤル カタログ請求・お問合せは

0800 (600) 4132