

特別講演 「将来の土砂災害と土砂資源の活用」

京都大学防災研究所  
教授 藤田 正治



## 特別講演「将来の土砂災害と土砂資源の活用」

京都大学防災研究所

教授 藤田 正治

ご紹介有り難うございました。京都大学防災研究所の藤田と申します。まず最初に、現場で活躍されている砂防技術者の沢山の技術者の前で話題提起をさせていただく機会をいただきまして、誠にありがとうございます。よろしく申し上げます。

タイトルは「将来の土砂災害と土砂資源の活用」ということで非常に大きなタイトルを付けました。当日何でもしゃべれるように「タイトルを何にしますか」と言われた時に大きなタイトルを付けました。

ただ最近、私を含めて我々の研究グループの中で、一つは気候変動や、または複合土砂災害といったことについて皆さん関心を持って研究を進めているということと、もう一つは、土砂を、主には災害という切り口が主となっているかもしれないのですが、土砂を資源としてやはり取り扱って見ていくという価値をもう少し見直して、色々な砂防事業、河川事業につなげていけばいいかなということがあります。ということで、災害と資源というのは少し違う側面かなと思うのですが、実は非常に関連しているということも、この今日の話の中でしていきたいと思います。

それで、今日の内容ですが、四つありまして、最初に「土砂災害と土砂資源管理の一体化」ということで、一体化すべきだというお話。それから、その中には資源としての土砂の意義や土砂移動の二つの側面、土砂管理の二つの側面ということを含めてお話ししたい。

二つ目が「土砂災害に対する気候変動の影響」ということで、砂防学会でも、気候変動が土砂災害に与える影響という委員会を立ち上げて検討しているところですが、我々の研究の中で気候変動の実態がどうなのかということと、昨年、台湾で非常に強い台風によって大災害が起こったと。そういった調査の過程で、この複合土砂災害というのがやはりこれから一つの重要なものになってくるということが見えてきましたので、そういったことも含めて台湾の事例を含めてお話ししたいと思います。

それから三つ目が「土砂資源をいかに活用するか」ということ。最後に「総合的土砂管理策の評価手法」。これがなかなか良い評価指標がなくて困っている部分も多いのですが、一つの考え方を示したいと思っています。今日は我々がやっている研究内容の紹介というよりも、むしろ行政に生かしていただけるような考え方についてのお話を主としたいと思っています。

まず、「土砂災害と土砂資源管理の一体化」ということなのですが、皆さんは土砂というのをあまり資源として見ていないのではないかと、というところから始めたい。

河川の中は、水も流れるが、土砂も流れます。水については水資源ということで、皆さんそういう意識が高いわけです。しかし実は土砂というのも資源であったというのは、昔からそのように皆さん考えてはいたのですが、やはり土砂は災害を招くものなので、むしろ危険なものだとして、あまり資源としては見ていない部分が多いのではないかと。ですが、実は国土を形成したり、農地を形成しています。最近では農地と河川とが分断されていますので、氾濫して農地が形成されるということは日本ではあまり無いと思うのですが、海外ではそういう所はまだいっぱいあります。

それから、「健全な河川の形成」ということで、これは今、日本でも非常に重要な問題になってくると思います。どうしても土砂不足の川が最近多くて、生態系や生物の生息場といったものがかなり悪くなっているということ。健全という意味は、安全面も良くないといけない、ということもあるのですが、いわゆる生物の生息場がかなり悪くなっています。

それから資源としての土砂としては、一番思い浮かぶことは建設材料、砂利採取をするということです。ただ最近では、肥料に使う、ろ過剤に使う、色々な用途があるということです。資源として他にも見方は有るかもしれませんが、主には土地を造ることと、健全な河川の中で土砂というのは

必要であるということです。

最近、河川的环境保全や環境を再生しようという事が行われているのですが、一つのポイントは、土砂を上手に管理するという事が大事です。それで、そのときには人間だけではなくて、生物にとっての資源であるという見方も忘れてはいけないというところです。

わが国は土砂資源不足かどうかということですが、主な河川は河床低下傾向にあるし、海岸浸食も進んでいます。それから、流砂の現象が生態系に悪影響を及ぼしていると思われる所が沢山有り、こういう実態から見ると、もちろん部分的には土砂が出過ぎて困っている部分、所ももちろん有るわけですが、どちらかという土砂が不足しているような川が多いのではないかと、流域が多いのではないかとということになります。

そういうときに、土砂資源というのが一体どれくらいあるのか、それから土砂生産、貯留、流出のバランスが一体どうなっているのかということが、土砂資源を管理する上で非常に重要になってくると思うのです。いわゆる土砂というのは山地で造られるわけですので、そういう所を管理している砂防というのが土砂資源を握っていると言っても過言ではないと思います。今はまだ、いわゆる河川の部分と砂防の部分の連携がはたから見ていて必ずしも良くないとは感じるわけですが、将来、河川の方で土砂がこれくらいないと河川の生態系が維持されないという話になってくると、砂防の方が土砂資源を握っているわけですので、一体幾ら土砂が必要なのか、それに応じて土砂をこれだけ供給できますよというキーを握っていると言っても過言ではないと思います。

これは皆さんもうご存じですが、「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」という提言があって、安全と環境と利活用という三つの視点から総合的に土砂管理をしましょうということですが、安全面というのはいわゆる土砂災害の管理、土砂災害の軽減・防止ということですが、環境、利活用というのは主に土砂資源の管理ということです。従って、総合的土砂管理というのは、災害の管理と土砂資源の管理をバランス良くやりましょうという事です。そのときに、土砂というのは河川環境の一構成員であって、生態系の一要素であるということを入念に入れながら管理しないといけないというところです。

この土砂災害と土砂資源の管理ということですが、これは先ほど言いましたように防災と土砂管理、資源管理ということになるわけですが、要は災害の管理と資源管理ということですが、これがお互いに全く切り離して考えるものではありません。例えば斜面崩壊や土石流というのは短期的に災害を引き起こします。それに対して防災を考えなければいけません。

浸食や掃流砂、浮遊砂という流砂形態で流れてくる土砂というのは、短期的に災害を引き起こすわけではないのですが、長期的には、例えばダム堆砂の問題や、河床が上昇する、河床が低下するという長期的な災害を引き起こすという意味で、こういう現象も災害を引き起こす。それに対して防災をするということです。一方、資源的に見ると、こういうものが通常、川を流れてくる土砂ですから、その川の土砂資源の一つのポテンシャルです。

崩壊や土石流はいつもいつも同じ所で起こるわけではなくて、一つの流域でも何十年に1回ぐらいしか起こらないわけですので、いつも資源として土砂を供給しているわけではないのですが、これが一旦起こると、過剰な土砂が資源として供給されるという側面になるわけです。これも管理する上で非常に重要な事になってくると思います。

こういう通常出てくる土砂や時々供給される過剰な土砂を資源として管理するという事が必要なわけですが、防災をすると当然、土砂の流出に影響を与えます。例えば砂防ダムを造ると土砂が下流に流れて来なくなってしまうという話です。そういうことで、防災というのは当然この土砂の流出システムに影響があります。

それから土砂管理についても、日本ではそれほど問題になっていないかもしれませんが、諸外国を見ると、特に途上国を見ると、土砂管理がほとんど行われていないために災害を引き起こしているということは、過剰な利用をすることで災害のポテンシャルを上げてしまうということです。また後でインドネシアの例で示します。

従って、防災と土砂管理は、お互いにこれは関係していますので、連携して一体としてやらないといけないということです。

最初の話はそういうことで、土砂災害と土砂資源というのは結構密接に関係しているということがこういう図から言えると思います。それで、災害についての話に移るわけですが、最近、気候変動というものが少し気になっていて、それに伴って今後どのように土砂災害になるのか、形態がどう変わるのかということが大事だということです。ここでは、一つは気候変動の実態と複合土砂災害というものについて少し考えます。

これは昨年の、台湾の台風モーラコットによる災害で、少林村という村がここにあったのですが、一夜にして壊滅してしまったという所の写真です。最近わが国でも、少し前になりますが、平成16年は多数の大型台風が上陸しました。また、降雨強度は大きくないけれども連続雨量が非常に大きい豪雨があったり、ゲリラ豪雨が多発したり、昨年も山口県で異常豪雨があったり、台湾では3日間で3000mmの雨が降ったという所で、最近ちょっと雨の降り方がおかしいのではないかとこのことを感じているところです。

実際、最近どうか、ということで少し調べてみたものを紹介したいと思うのですが、降雨情報、全国色々な所の気象台の雨のデータを約30年間ぐらいまとめたものです。そうすると、例えばこれは年降水量ですが、そんなに変わっていないと。色々な地点を見てもそれほど顕著に変わっている傾向は無いのですが、時間雨量は、年最大の時間降雨量は1970年ぐらいから段々増加している傾向がある。そういう経年的に増加している傾向の所が、調べたところで8カ所ぐらい有るということで、時間雨量は何となく30年ぐらいの間で少し増加している感じがあります。

少し見方を変えまして、これは大分県竹田市の、かなり強い一雨降雨量の総降雨量と時間雨量を一つの図にプロットしたのですが、年代別に色を分けてプロットしています。1976年から2008年までの降雨データを全部調べまして、その中でかなり強い雨、一雨降雨量が非常に強いものをピックアップしてプロットしています。

連続雨量が非常に大きな雨、連続雨量はそれほど大きくないけれども降雨強度が非常に強いということです。この図を見ると、この赤線が大体90%に入る領域なのですが、これを外れるところがまれに起こっている異常な豪雨になるわけです。例えば2000年以降、2007年、2006年と、こういうところが異常なものが最近やはり少し増えていると見て取れます。注目しているのは、連続雨量が多いものが増えているのか、それとも降雨強度が強いものが増えているのか、または両方大きいものが増えているかということです。この竹田市の場合ですと両方起こっている。極端現象的には時間降雨量が強いものと連続雨量が大きいものの両方が起こっているような雰囲気が見て取れるということです。

色々な所で調べてみると、これを整理してみると、各地点で、赤で囲っているのが通常の強い雨で、赤で囲ってある部分から外れている部分が異常ということです。どのように外れているかというのが、何となく見えてくるということです。例えば東京では、何となく時間雨量が強いものが異常豪雨としてよく起こっているなというところが少し見て取れます。例えば防府市では、赤がこれで、何となく両方大きいものが増えている。昨年の雨がこの辺に相当するのですが、両方大きいもの。水俣市も、この赤の領域からすると総雨量も時間降雨量も両方とも大きいものが異常に続いているという感じが見て取れます。

単に30年間ぐらいのデータですので一般的な傾向が言えるかどうかは少し問題かもしれませんが、こういう整理の仕方をしました。

これはデータではなくて地球シミュレータによる予測降雨ということなのですが、将来予測で赤が2086年から2096年、今から100年間ぐらいつつ地球シミュレータを回して、そのときに発生する降雨のデータを示しました。数値計算上も、こういう異常な非常に強い雨や非常に連続雨量が600mmを超えるような雨が起こってくるということです。将来こういうものが起こるかどうかは分かりませんが、こういう極端現象が起こる可能性が有るということです。

そういうところに着目しているのは、一般的に、連続雨量が多くなると斜面にたくさん水が供給されるわけですので、当然、深層崩壊の危険性が増してくるところです。R が連続雨量で r が時間雨量ですが、連続雨量が多くなるとそれだけ水分が沢山供給されるということです。降雨強度が大きいと、むしろ表層崩壊が発生します。あまり連続雨量が大きくないと深層崩壊には至らないということになると思います。

現在、先程の図でどこかこの辺にデータがプロットされていて、将来この状況が一体どういう方向に向かうのかということが一つの大事な要素かと思えます。こちら向きになればより安全になりますし、連続雨量が多い分、こういう所にこれから降雨条件が変化していくと、当然、深層崩壊というものを注意しないといけないということです。特に両方多い所が表層崩壊も沢山起こるし、深層崩壊も最終的に起こるみたいな、いわゆる複合的な土砂災害が起こる危険性が出てくるということになってくると思います。従って、豪雨を少しこういう軸で一体どういう方向に向かっているのか、ということをし少し注意していくことが大事かと思えます。

というところで、今年の台風モーラコットの事例を少し紹介すると、まさに台風モーラコットは降雨条件としてはこういった異常な領域に入ってくる状況で、調査をしながら複合土砂災害対策が大事だということが調査団の総合的な見解となったということです。これは、その台風モーラコットの進路ですが、見て分かる通り、この辺は割と早く進んでいるのですが、ここからすぐゆっくり進んでいるということが特徴で、このためにかかなり長い間、台湾の中南部に雨をもたらしたということです。気圧も 945hPa ということで、それほどめちゃくちゃ小さいわけではないし、ですが大型で特にゆっくり進んだというのがこの台風の特徴で、それだけ沢山雨をもたらしたということです。

今日も「土砂災害の警戒避難等」の分科会に少し参加してきたのですが、台風の場合には「大型」「大型で強い台風」、時々「ゆっくり進む」「速く進む」ということも情報として流していると思うのですが、土砂災害の場合には何となく「土砂災害」というだけで、一体どんな土砂災害なのかという情報があまり住民の人に流されていないのではないかと、いうところが少し気になるところです。例えば、広範囲に土砂災害が起こるとか斜面崩壊の密度が非常に大きいとか、そういう情報を提供するというのも一つ大事です。我々も「大型で強い台風」というと少し身構えて台風を待つことになります。そういう意味で災害情報というのはまさにきめ細かいというか、情報をもう少し増やした形が必要かなと思います。

これはモーラコットの降雨条件ですが、赤がモーラコットで、約 3 日間です。これは大体、開始から 3 日間ぐらい。3 日間でおおよそ 3000mm が降ったということで、台湾の中の色々な台風による雨を比較してもかなり沢山雨をもたらしたということです。どこかに伊勢湾台風のデータもあったと思いますが、比べものにならないぐらい降りました。

それから、これは降雨強度の変化ですが、40~80mm ぐらいの強い雨がかなり長い間続いた。これからここが 3 日間ですので、1 日以上降り続けているというところで、かなりひどい状況でした。そのために、至る所で色々な土砂災害が起こっているわけですが、深層崩壊と天然ダムがここに書いてあるプロットのように沢山発生しているということです。

もちろん、その時に斜面崩壊、深層崩壊が沢山起こっていますので、それから洪水流量もかなり大きかったわけで、これは高屏溪（こうへいけい）という支川ですが、元河床が定かでは無く、多分このトラックが居る所が元河床だと思うのですが、7~8m ぐらい土砂が溜まったという所で異常堆積をした状況です。これも災害という見方を少し離れると、土砂資源がここにいっぱい溜まっているというところで、それを一体どう処理するのかという事も実際には大事な問題になってくるわけです。

災害の特徴としては、書いてあるように強い降雨強度、長継続時間の雨が広範囲に降った。こういうものがこれから気候変動によって日本でもよく起こるかどうかはよく分からないのですが、起こらないことは無いということです。多数の深層崩壊、天然ダムが発生して、多様な土砂移動現象

が連続的に発生した。複合土砂災害が起こった。それから異常土砂生産・流出がある。あと、色々な橋梁や流木被害もあったというのが特徴です。

先ほどから「複合土砂災害」という言葉を使っているわけですが、これがどういう意味かということですが、人によって少し考え方が違うかもしれませんが、ある地域、または流域全体、または流域を越えてさまざまな土砂移動現象、これは表層崩壊や深層崩壊、土石流、天然ダムが形成されて決壊するという色々な現象が広範囲に、同時または連続的に起こることによって起こる災害であるということです。

段階的にずっと起こってきますので、最初は表層崩壊的なものが起こります。十分、水が斜面に供給された時点で深層崩壊が起こって、天然ダムが形成されるということになっていくと思うのですが、最初の段階で流域にかなり表層崩壊などが多発することによって、情報伝達システムの障害や避難システムの障害、救援活動の障害という、いわゆる避難・警戒に関する事がことごとく破壊されてしまう。そういう状況で、もう行き場がない状況で、最終的に深層崩壊が起こってしまうということです。

先ほど、3日間で3000mmぐらいの雨になってくると、そういう雨で一体何が起こるのかということとは、多分、住民の人は判断できないのではないかと。経験していないようなものです。当然、自助も必要で、住民の判断で避難ということも大事ですが、それだけではどうしても限界があるということで、やはり行政の何らかのサポートがないといけないということになると思います。結果としてこういう被害が起こった。

先ほど写真で示しました少林村でどういうことが起こったかという事を少しお話ししたいと思います。NHK などでも紹介されていまして、ご存じの方も多いかとは思いますが、少林村は北部と南部の二つに分かれていまして、こちら側青丸側は全然被害が無かった、こちら側赤丸側が壊滅した。この辺の山が最終的に深層崩壊ということですが、従って、この方々が早めにここに皆さん避難しておけば、結果的には命を失うことは無かったというところなんです。

これが被災前の状況ですが、先ほど写真で示しましたように、2~3軒の家を残して全部無くなってしまった。土石流がこういう溪流で起こったり、浸水被害が起こったり、最終的に深層崩壊が起こって天然ダムができて、それが決壊して洪水となって村を消滅させたというところなんです。それが段階的に起こってくるわけですが、現象の特性からして、十分に雨が斜面に入ってきた時点で深層崩壊が最終的に起こってくるというところなんです。

ここに溪流が何本か入って、ここにも1本溪流があつて橋があります。最初の段階でやはり土石流が起こって橋が破壊されたということで、そういう状況になるともうこの村は孤立してしまうというところなんです。ポイントとしては、3000mmぐらい雨が降ると最終的に深層崩壊が起こることと、それから、そうなった時点ではもう避難することが不可能であるということです。従って、最初の段階でこういうものが起こるということを情報提供して、橋がちゃんと健全なうちに避難するということが大事です。これは災害の後、こういう被災状況を見て考えているわけで、災害時に実際にそういうことをやろうと思うと幾つかの問題があるかとは思いますが。

これが深層崩壊した部分の写真です。ここに村があったということ。ここに天然ダムが形成されました。一部の土砂がこの村を直接襲って、一部が河道を閉塞して、天然ダムを造って、決壊してこの村が流されたということです。ここに溪流がありますが、これも、これが起こる前に土石流が発生して、ここに架かっている道路が分断されてしまった。ここが被害が無かった村です。これが溪谷で、これが少林村で、ここに支川が2本有りまして、そこに橋が架かっているという状況で、この人が逃げる為にはこの橋を渡って逃げないといけないということです。

この中で、NHKの取材班の協力でコウさんという方の証言が得られまして、その証言によると、8月8日の夕方5時ぐらいに自分の家、ここに家がある、この辺で浸水被害がありました。ですから、5時ぐらいから色々な事が起こり始めたということです。それで、8号橋というのがここにありまして、午後7時ぐらいに、多分、土石流によってこの8号橋が破壊されたということで埋没したと。

この時点でもうこの人はここからこっちに逃げられなくなってしまったということです。そういうことで、少し避難を始めていたということです。

その日の深夜に、さらに浸水が広がってきたと。多分、この辺に土砂が溜まったり、河道閉塞してこの辺に浸水被害が起こってきたと思うのです。これで少し高い所に逃げたということです。翌日の未明から明け方6時ぐらいに更に浸水がひどくなり、今度9号橋という橋も壊されてしまいます。多分、土石流が起こったのだらうということで、全く孤立状態になってしまったということです。この辺に小学校があって皆さんはそこに避難していたということです。

9日の6時20分ぐらいにこの山が深層崩壊をしてこの村に土砂が入って、一部は天然ダムを造ったということが起きます。それで、コウさんのグループは直接土砂の被害を受けなかったので、何人かの人はこの天然ダムを見て、これは決壊すると判断して、裏山に逃げて命を守ったということです。それで、7時ぐらいに天然ダムが決壊したということで、前の日の大体夕方5時ぐらいから始まって、翌日の朝の7時ぐらいまでの間、色々な現象が起こったということです。最終的にこの様になってしまった。

これを、いわゆるスネーク曲線的に見てみると、こちら側が積算雨量で、こちら側が時間雨量ですが、このように推移していったわけです。最終的に3000mmぐらいまで雨が降った。時刻からして、どの時点で何が起こったかということを考えてみると、まず、大体500mmになると、この地域では警戒情報、警戒レベルが赤レベルになるということで、この時点で皆さん地域の避難場所に逃げているということです。その後、ずっと時間降雨強度が強くなるとともに積算雨量も上がってきまして、8号橋が被災したり、9号橋が被災しました。

これまでの台風ですと、せいぜい2000mmぐらいでずっと終焉していたわけですが、今回さらにそこから更にもう一雨沢山降ったということで、最終的に、大体この時点で深層崩壊が起こって天然ダムができたということです。従って、結果的に見ると、このレベルの時に、これを越えた時点で、あの流域の裏山が深層崩壊するという事ももしも分かっていたら、この時点でもっと安全な所に逃げる事が可能であったわけです。この越えた時点で、避難経路が分断された時点で、この深層崩壊を待つしか無かったということです。

土砂災害警戒情報というのは、結局、こういったレベルを超えると危険ですよという情報を流すだけなのですが、こういう事例を見てみると、一体どれぐらい雨が降って、これから先に何が起こるのかと。例えば雨はこの辺までであって、深層崩壊までは起こらないよということになるのか、更に雨は降り続いて、最終的に深層崩壊の危険が高いですよということになるのか。その辺の情報によって、人々の避難というのは当然変わってくるべきであります。そのためには、かなり降雨の予測をしっかりとしないといけないということもあるし、降雨によって一体、流域に何が順番に起こってくるかということも知らないといけないということです。ということで、少しそういうことを考えながら最近少し研究している部分ですが、実はこういう流域の中にいっぱい斜面があって、これが先ほどの少林村の例ですと、最初に表層崩壊や土石流が起こって、最終的に深層崩壊が起こったということで、この流域の中で時間経過と共に一体何が起こるのかを知って、予測して、それを災害情報に生かすということが大事です。

そのために、一つの研究ですので、実用性があるとはまだ私自身も思っていないのですが、とにかく斜面崩壊が各斜面で一体どのように起こるかという事を調べたい。今日、六甲の非常に素晴らしい斜面崩壊のシミュレーションに基づく警戒や、あと、そういう予測ももちろん出来るのですが、もう少し簡単に出来ないかということです。ただ、どうしても解析的にやろうと思うと、色々な地盤の条件というもの、データが必要になってくるのですが、これを地形や地質は分かっても、土層厚や、もちろん岩盤深度や土中の中の選択的な流路みたいなものはなかなか調べることは出来ないということで、まだ限界があるのですけれど、そういったものが分かったとして、こういう斜面が一体雨が降るとどのようにどういう条件で滑るのかということです。もちろんそれはこういう条件がそれぞれの斜面で違いますので、斜面崩壊に対するそれぞれの斜面の耐力というのはもちろん

違うわけですので、雨の後半に滑るものもあれば、前半で滑ってしまうものもある。色々なタイミングで色々な規模のものが起こるといえるところですね。

それをどの様に調べるかということで、一つの指標が必要になってくるということです。もちろん、いわゆる地下水の解析と斜面の安定解析をすれば崩壊の予測はできるのですが、これは火山堆積物の斜面や花崗岩地域の斜面で典型的な斜面を取り出して、そこに色々な雨を与えます。そうしてみると、これが崩壊発生した所ですが、斜面内の水分量がほとんど同じ値の時にこの斜面が滑るという計算結果が出てきました。あくまでも計算結果ですが、花崗岩の所でも斜面内の水分量の総和がおよそこの値になると、色々な条件を変えても、大体こういう条件になるとその斜面が不安定になって滑るという計算結果が出ました。ということは、もしもこれが本当であれば、この斜面はこの数値に示す水の量だけ溜める耐力がある。これを越えると不安定になってしまう。この斜面はこの水だけ溜めることが出来るということですので、あらかじめこういう限界値を知っておけば、斜面の中にどれぐらい水が溜まったかをモニタリングするか、またはシミュレーションすることによって、各斜面の危険度が評価できるということです。

例えばこれが雨のデータで、これがある斜面の斜面全体の中に含まれる水の量ですが、雨が降るとこういう大きい状態から雨が止むとだんだん水分が減ってくる。これが上下するわけですが、どこか限界線があると、この限界線に近いとその斜面は非常に不安定になるということで、一つの警戒域はこの限界線からかなり低い状況は安全だという見方ができます。それぞれの斜面でこの限界値を調べておいて、水文解析だけをやって土中水分量の変化をどんどん調べていく。時々モニタリングもしても良いかもしれません。

一つの例として、これは竹田市の瀬ノ口地区ですが、この中の幾つかの斜面を抽出して調べてみた。ただ、我々は例えば土層厚がどうかというデータを持っていませんし、それを調べるだけの予算はありませんので、地表面の形状だけはちゃんと調べて、土層厚については適当に少し仮定しています。ですから、真実とは少し違うのですが、例えば土層厚がこういう条件であればどうかということです。とにかく斜面を幾つか抽出してみました。ここでは1~10まで、1~10ですから全部で七つの斜面を抽出してきて、先ほど我々がやっている数値計算から各斜面の耐力、どれぐらい水を溜め込むことが出来るかという量をこうやってあらかじめ調べておく。それで、この流域に雨を降らせて、雨はこれがこの地域の最大の雨、実測の雨なのですが、これよりも更に多量の雨が降るといって、約総雨量1600mmぐらいの日本記録に近いような雨を集中的に降らすか、降雨強度は低くけれども長時間かけて与えるかと、こういう二つの極端現象的な雨を与えてみるということです。

この地域の中で、例えばケース1の既往最大の雨を降らしてみても、計算上はどこの斜面も崩壊しなかったということです。ケース2の非常に長時間にわたってある程度の降雨強度を持った雨が降るようなケース、こうして見ると、斜面的には6、2、4、10の順に崩壊が発生するということです。それから、ケース3のような非常に降雨強度が大きいものでは、6、4、2、10、1、7の順に崩壊が発生する。こういう情報があるとしてもこの流域に提供出来れば、避難警戒情報としては良い情報が提供出来るのではないかとということです。

その時の崩壊の規模を見てみると、ケース2のあまり降雨強度が大きい場合には、計算上はトータルで46.4×10の6乗立方メートル、これが総崩壊土砂量で、降雨強度が非常に大きい場合には若干小さいということで、小さな崩壊がある時刻に集中して沢山起こっている。こちら側は、比較的大きな崩壊が割と長い時間かけて起こっているという特徴に近いです。こちらの方は、数は少ないのですが割と大きな崩壊がある程度の時間をかけて起こっている。こちら側は、規模はそれほど大きくないけれども小さな崩壊がある時間に集中して沢山起こっているということで、これも一つの計算例ですので精度的にどうかということもありますが、そういう情報が提供できると警戒避難上は良いのかなということです。

あと残り、だいぶ時間が経過しましたが、土砂資源の話に行きたいと思います。土砂資源の活用

という、今日二つのタイトルで土砂災害と土砂資源ということですが、土砂資源の活用としては、農地形成や建設材料、河床低下、海岸浸食、河川環境の改善、その他用途が有るということで、ぜひ資源としても活用しないといけない。特に先程の様な、かなり規模の大きい土砂災害が起こると、当然土砂も沢山出てくるわけで、それを一体どのように有効活用するのかという事も、本当は大事な事ではないかと思えます。

日本では特に河床低下、海岸浸食の改善、河川環境の改善が重要な要素になってくるかと思えますが、例えばインドネシアなどの途上国では砂利採取が非常に過剰すぎるという問題も起こっているわけです。これはインドネシアのブランタス川という川の流域での写真ですが、これはサンドポケットです。これはクルー火山という火山です。これが噴火した後に土砂が出てきて、これはサンドポケット内の様子なのですが、4年後はこんな状況で土砂が溜まってきます。若干これは畑になりつつあるわけですが、8年後にはきれいな畑になって、13年後にはまさに農地になります。サンドポケット内の状況です。

このようにインドネシアでは火山噴火によって来た土砂がしっかりと農地として利用されている、資源として利用されています。日本でも黒部川で流水客土ということで、わざわざ濁り水を田んぼに入れて土地を改良したということも昔はやっていました。資源利用していたということです。

一方、インドネシアでは過剰な砂利採取をしてしまうと。これは違法が堂々と行われているような国で、いわゆるポンプで砂を吸い上げて土砂を取っている、全く違法なのですが誰も止められない。それは地域経済や雇用の為という側面もあるわけで、なかなか止められない。こういう状況ですと、インドネシアです。火山国で、資源はいっぱい出てくるのですが、当然、持続性が無いという事になってしまいます。

その結果、資源管理と災害というのが結び付くというのは、こういう河床低下で、この写真にあるように元々あった橋がこの様にカクンと落ちています。橋が下がってしまう。それでも緊急的にダブルデッキで使っているわけですが、こういう落ちてしまう橋があったり、橋脚基礎も河床低下でほとんど出てきている。それから、利水施設も水がなかなか入れない。こういう災害が起こってしまう。他方、環境的にも、これはいわゆる必要な砂だけ取って、あと要らないものをみんな川に盛って、こういう人工的アーミングと我々は呼んでいますけれど、河床の状況がかなり悪くなってしまいます。

これは同じくインドネシアのメラピ火山という火山流域の土砂流失です。火山から出てくる砂の量と川から海へ出ていっている砂の量と、砂利採取を比べてみると、大体この量入ってくるものが1ぐらいとして、川から海へ出ていくのも大体1。その時に6~7ぐらい砂利採取するという事ですので、全く土砂が不足してしまうということです。

これは砂利採取のざっくりとした概念図なのですが、砂利採取の活性度を時系列的に調べたものですが、火山噴火が赤ですが、火山噴火が起こると砂利採取は非常に活発になるという所が分かるわけですが、1997年か1998年がここインドネシアで経済危機があった年で、経済危機が起こると砂利採取が少し活性化します。それから、図のRA (Regional Autonomy) というのは地方政府に色々な権限を譲渡したという年ですが、これもきっかけとなって少し砂利採取が活発になったという状況があります。

これは、経済危機が起こると仕事が無くなった人々がいっぱい出てきて、その人たちがみんな砂利採取をしてしまうということで、砂利採取が活発になった。それから、地方に色々な権限を譲渡した結果、砂利採取による税収入がみんな地方に入ってくるということになって砂利採取が活発になったという側面があって、かなり社会経済的なインパクトも過剰砂利採取には大きいということです。日本では砂利採取は完全に規制されていますので少し状況は違うのですが、世界的に見ると、かなり色々な自然的、社会的インパクトが砂利採取に影響して、それが流域の荒廃を招いて災害を引き起こしているという側面もあると。

これは、先ほど複合土砂災害ということを話しましたが、先程のものは一つの台風のイベントの

中で色々な災害が継続して起こって、最終的に深層崩壊が起こって大災害が起こるという複合災害でしたが、これも一つの複合災害。というのは、インドネシアの事です、大噴火が起こって、その後、火砕流・土石流災害が起こって、その後、河床上昇が起こる。こういう土砂がいっぱい出てくる事によって災害が起こる。その後、資源活用として砂利採取を活性化。それから、それに頼った社会構造ができる。さらに過剰砂利採取は続く。それによって、河床低下や洪水時の弱点がいっぱい形成される。それから環境も悪くなる。ただ、こういう一度活性化して、それに頼った社会構造になると、砂利採取は中止が困難になってくるということで、どんどん流域が荒廃してきて災害のポテンシャルが上がってしまう。これも全てこの大噴火が起こったということがきっかけで一連のことが起こっていると見ると、これも一つの複合土砂災害であるということで、ここで資源の話と災害の話が少し結び付いたかなというところです。

そういうことで、資源活用をしていくに当たって、日本では主に河床低下や環境改善の為に、こういった排砂、通砂、置き土、パイパス、河川や貯水池ではこういう対策をして、なるべく土砂を下流へ流そうと置き土をしたりしています。それから砂防の方では、透過型砂防ダムが造られるということで、ツールとしてはあります。災害時に異常な過剰土砂供給があった時にこういった土砂をどうするのか。一体どのように土砂を管理するのかということも、あらかじめ考えておくことは大事かと思えます。

例えば火山地域で噴火が起こる。ただ、砂利採取も必要であるといった場合に、時々起こる大災害に対しては砂防事業である程度緩和して、その後、砂利採取を管理しながら河川事業と連携するというので、砂防と河川と砂利採取が連携した一つの対策が必要と。これも一つインドネシアを対象にしたお話ですが、こういったものが重要だというところです。

土砂管理をする上での色々なツールはあるわけですが、そのような策が良いのか、悪いのかという評価が必要になってくるわけですが、これが皆さんも困っている所かなと思えます。評価軸としては社会経済状態的に現在どの辺にいて、色々な土砂管理策をした後にその状態が良くなるか悪くなるか。これが一つの評価になるわけですが、これをどう評価するのか。それから、総合土砂管理の要点は、安全、利用、環境ですので、この三つの軸で現在の状態が将来どうなるのかということの評価しないと、この土砂管理は非常に優れているとか、これはあまり良くないという評価が出来ない事になるわけです。

そういった場合に一つ難しいのは、いわゆる生物的な、例えば水生生物の評価、環境保全や環境改善の評価が出来るのかということです。こういったことも大学で少し今、研究を進めているところではあるのですが、現在のところはなかなかこれをちゃんと適切に評価する方法がありません。それは、一つは物理環境と生息場の関係がいまいちよく分かっていないということも一つの理由です。

それから、土砂管理をする上では、一体どういう河川が望ましいのかという目標も決めないといけないわけですが、これまでは、なるべく河道は、ある計画河床だからとか、あるところになるように管理をするということですが、例えば生物的な観点からすると、ある程度河床が変化するということがどうしても大事になってくる。同じ状態で固定するというのはあまり良くなくて、ある程度変化する河道を造ることが大事になってきます。

例えば河床がずっと上昇一本の傾向というのはあまり良くないし、当然、河床位が治水・利水上の上限値を超えるとまずいということです。こういうものはあまり好ましくないし、どんどん河床が低下してしまうというのも将来的には利水的にも問題が出てくるし、環境上もこういうものはあまり良くない。どこかある程度変動があるという川の状態が、環境上は望ましいと考えます。ただ、治水・利水上の限界値の範囲内で、いかに変動させるかということです。

どういう変動が良いのかということはまだまだ研究のレベルであるわけです。時々、限界を越えてもいいよという事になればこういうものもあります。こういう変動を与えるというのは、いかに土砂を供給するかということですので、これは砂防としての一つの任務になってくるかと思えます。

いわゆる土砂供給をコントロールすることによって、川の変動を与えるということです。そういったことが将来的には大事になってくるのではないかなと思っています。そういう評価の管理の目標というものはなかなか今見つけにくい状況ではありますが、目標をどのように決めていくかということも、行政の方々としては大事な問題かなと思います。

先ほどちょっと言いましたが、ちょっと話が前後しているのですが、評価手法が問題です。特に安全、利用、環境的にどう評価するかということで、一つ研究として今やっている、非常に単純な事なのですが、先ほどのメラピ火山の流域で、ある河道を対象にして砂利採取をどうコントロールするか。例えば砂利採取を、量を色々変化させていく。当然、沢山砂を取ると河床が低下しますので、それには床固めをいっぱい入れないといけないということになりますので、これは砂利採取量の色々なケースを見せているわけですが、砂利採取のコントロールと床固めをどう入れるかは河道整備とは連携して行く。それを数値計算で調べてみたということです。

計算した結果ではなくて示したいのは、一つの評価方法として、縦軸が河床の平均粒径で、この平均粒径というのは環境を評価する一つのパラメータです。これが全てを表しているわけではないのですが、一つのパラメータとして平均粒径。こちら側は、例えば橋脚の安定です。橋脚が洗掘されると危険になってくる、こちらは危険側、安全側、これは土砂をどれだけ取るかという量です。いわゆるこれが安全軸、それから利用軸と環境軸と。

河床変動計算をすると、平均粒径がどう変化するかということや、洗掘深がどうなるかという評価ができます。それから、シナリオで土砂の利用量が分かっていますので、砂利採取量を規定していますので、それで利用が分かるということで、例えばケース1ですとこのようになる、ケース2だとうなるというものが出来てくる。この中で一体どれが良いのかという評価をしないといけないわけで、一応、安全、環境、利用の面から状態がどうなるかという答えが出てくる。しかしこれからケースの内どういいうものが良いのかということが実は全然まだ分かっていません。

例えば実態がこれで、もしも目標がこれだと設定されたとしたら、この目標を設定するといふところが難しいのですが、いかにこの目標に近いかという評価をしないといけないということで、例えばこれもまだアイデアの状態ですが、目標を表す三つの軸、危険を表す安全、利用、環境という三つの軸があって、それぞれに目標値と目標に対する現在の実態がある。ある策をやるとこういう状況になって、ある策をやるとこういう状況になるとした場合に、一つの考え方としてこれを法線ベクトルで示す。面積に応じてベクトルの大きさを決めてやって、これが目標値ですので、それぞれのベクトルとの差を取って、それが最上位になるものが一番良い策であるとする。これも評価の一つのやり方かなと思います。まだこれから研究するということですが、とにかく何らかの方法でこの三つの軸から評価しないと、土砂管理の策が良いのか悪いのかが言えないということです。

最後に、こういった研究を通してこれからやらないといけないと思う砂防技術的な話ですが、一つは、降雨の極端現象に対して適用する砂防技術を磨く。それから、特に複合土砂災害に対する警戒・避難をこれからどうしていくか、今の土砂災害警戒情報では多分ちょっと不十分ではないかなと思っています。それから、土砂資源の量と質をモニタリング、これは先ほど言ったように砂防が土砂資源を握っているというところで、これをいつでも河川の方に、「これぐらい欲しい」と言えば「これぐらい砂防が持っているのでこれぐらい与えましょう」みたいな話出来るようにしておかないといけない。それから、もちろん土砂資源をコントロールする技術も磨かなければいけないし、最後に、土砂管理策を評価する技術もまだまだ未熟であるということです。実際、これから総合的土砂管理を進めていく上では、評価手法が向上する事も大事だと思います。

# 将来の土砂災害と土砂資源の活用

京都大学防災研究所  
流域災害研究センター  
藤田 正治

第23回砂防研究報告会  
砂防会館  
2010年10月6日

1

## 内容

- ◎ 土砂災害と土砂資源管理の一体化  
資源としての土砂  
土砂移動の二つの側面, 土砂管理の二つの視点
- ◎ 土砂災害に対する気候変動の影響  
気候変動の実態  
複合土砂災害
- ◎ 土砂資源の活用  
土砂資源管理
- ◎ 総合的土砂管理策の評価手法  
評価手法の方向性

2

## 土砂災害と土砂資源管理の一体化

### 資源としての土砂

- ◎ 国土形成, 農地形成
- ◎ 健全な河川の形成 (安全, 生態系, 生息場, 水質)
- ◎ 建設材料
- ◎ その他 (肥料, 濾過材など)



環境保全・再生のキーポイントの一つ  
上手に管理することで持続性

人間だけでなく水生生物にとっての資源

3

## 資源としての土砂

我が国は  
土砂資源不足?

- ◎ 主な河川は河床低下傾向
- ◎ 海岸侵食
- ◎ 流砂の減少が生態系に悪影響



- ◎ 土砂資源のポテンシャルは?
- ◎ 土砂生産, 貯留, 流出のバランスは?

砂防は土砂資源を握っている!

4

## 土砂管理の2つの視点

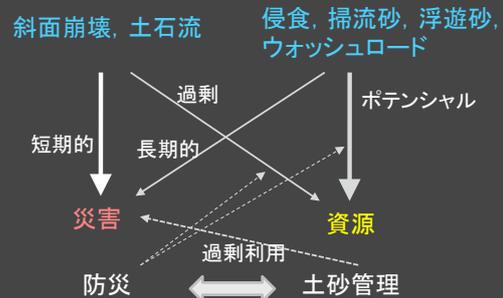
### 流域系総合的土砂管理

- ◎ 土砂の移動による災害の防止 (安全)  
→ 土砂災害の管理
- ◎ 生態系・景観等の環境の保全 (環境)
- ◎ 河川・海岸の適正な利活用 (利活用)  
→ 土砂資源の管理  
⇒ 河川環境の一構成員  
生態系の一要素  
土砂のバランスを考えて

5

## 土砂移動現象の 2つの側面

### 災害・資源管理の 一体化



6

### 土砂災害に対する気候変動の影響

- 気候変動の実態
- 複合土砂災害(台湾小林村の例)
- 複合土砂災害に対する警戒避難情報について



2009年台風MORAKOT災害 小林村高雄県消防局

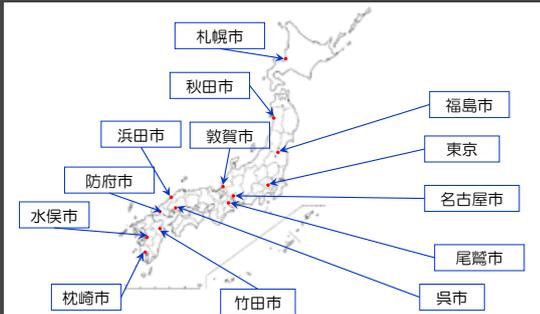
### 気候変動の実態

最近の災害

- 平成16年 多数の大型台風の上陸
- 平成17年 降雨強度は大きくないが連続雨量が大きい豪雨
- 平成20年 ゲリラ豪雨の多発
- 平成21年 異常豪雨, 台湾では3日間で3000mm程度

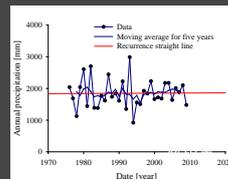
### 気候変動の実態

降雨条件の変化



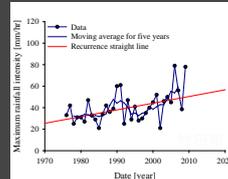
### 気候変動の実態

降雨量の経年変化



年降水量の経年変化

- 増加傾向: 3地点
- 減少傾向: 2地点
- 変化せず: 7地点



時間雨量の経年変化

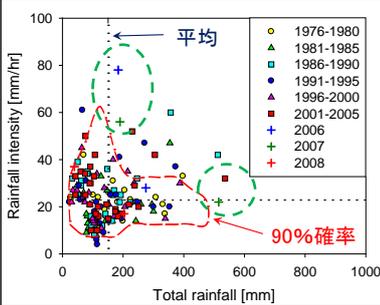
- 増加傾向: 8地点
- 減少傾向: 4地点
- 変化せず: 0地点

### 気候変動の実態

異常な一雨降雨

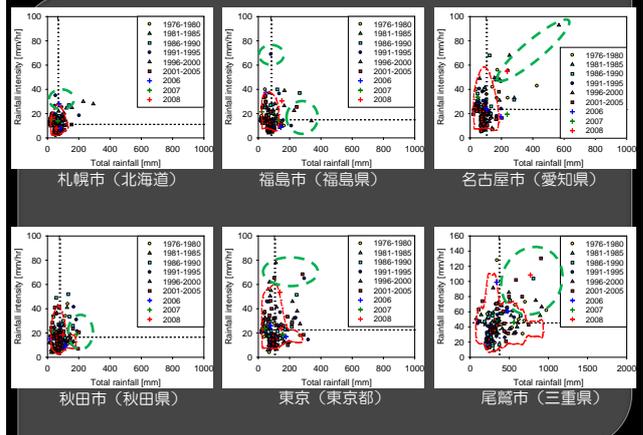
(過去~現在)

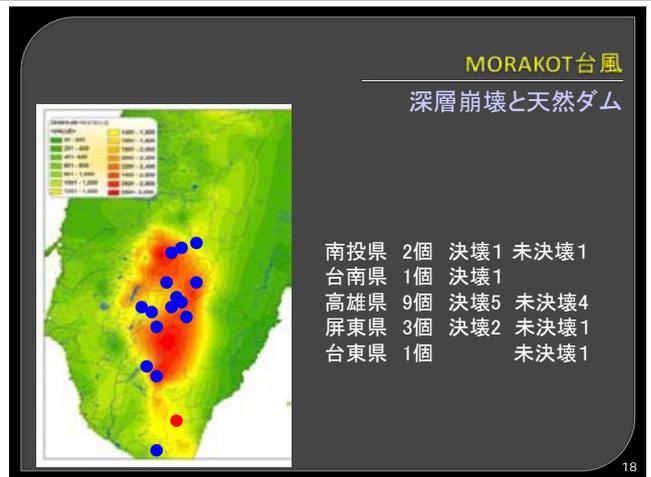
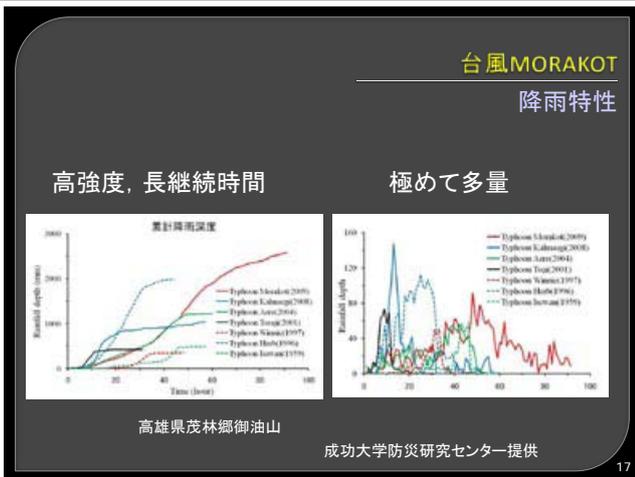
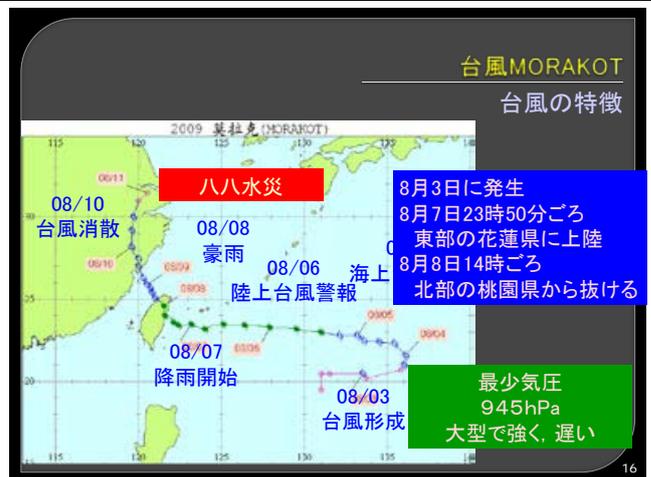
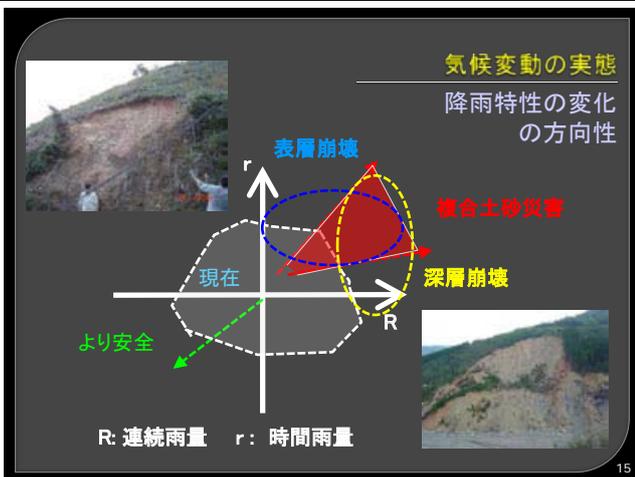
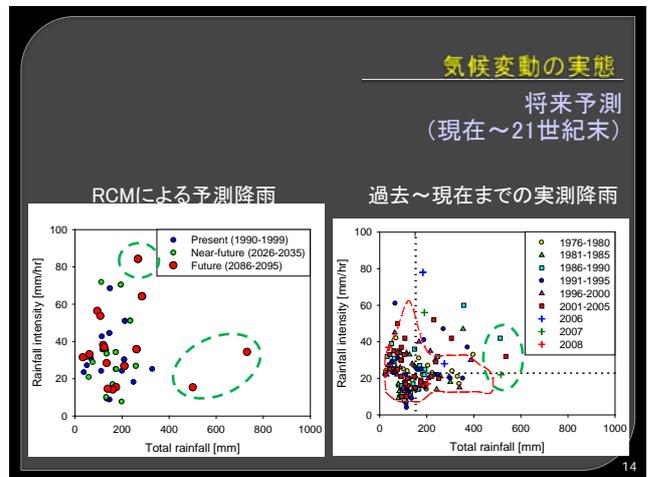
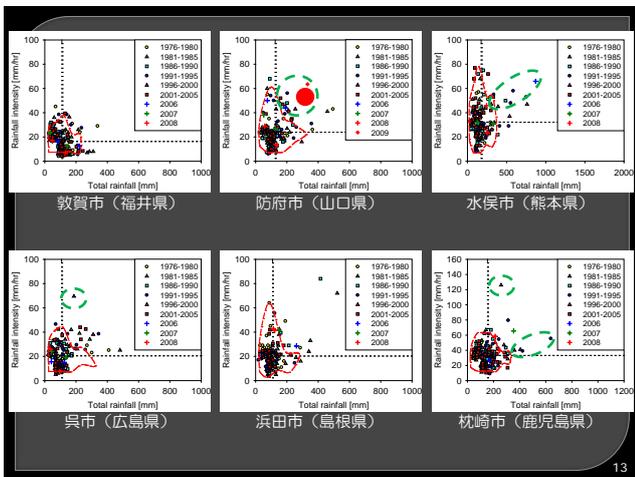
竹田市



(90%確率を超える降雨)

- 増加傾向: 10地点
- 減少傾向: 2地点
- 変化せず: 0地点





### 台風MORAKOT

#### 異常土砂堆積



高屏溪支川  
老濃溪

19

### 台風MORAKOT

#### 災害の特徴

- 高強度、長継続時間、広範囲の降雨
- 多数の深層崩壊、天然ダムが発生
- 複合土砂災害
- 多様な土砂移動現象が連続的に発生
- 異常土砂生産・流出
- 橋梁被害
- 流木被害

20

### 複合土砂災害

#### 特徴

- ある地域、または流域全体、または流域を越えて、様々な土砂移動現象(表層崩壊、深層崩壊、土石流、天然ダム)が広範囲に、同時または連続的に発生
- 情報伝達システムの障害、避難システムの障害、救援活動の障害
- 住民の判断の限界

#### 結果として

- 甚大な被害(壊滅的被害)
- 異常堆積、異常侵食
- 災害後の土砂の処理

21

### 複合土砂災害

#### 高雄県甲仙郷小林村の大災害



被害なし

22

### 複合土砂災害

#### 連続した土砂移動プロセス



#### 小林村災害

天然ダム  
決壊→洪水

成功大学防災研究センター

23



災害発生後

死者500人以上 幅800m 長さ2.5km

台湾 林務局

複合土砂災害  
避難経路



25

8月8日17:00頃  
9号橋付近に位置する自宅が浸水し始める。

黄金寶さんの証言  
(NHK取材班の協力)



Google  
26

8月8日19:00頃  
8号橋は土石流により埋没、林さん宅へ家族で避難。



Google  
27

8月8日深夜 林さん宅も浸水、より高い場所に位置する太子宮へ、通り沿いの村民に声をかけて太子宮へ避難させた。3回くらい呼びかけて回った。



Google  
28

8月9日未明～6時頃  
川の水が逆流、浸水、9号橋被災

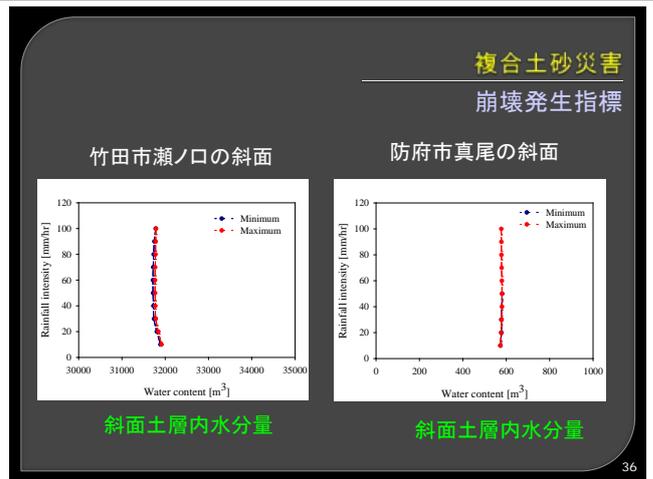
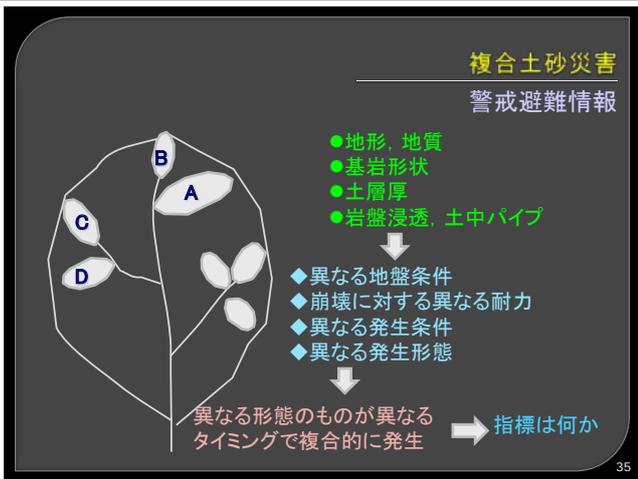
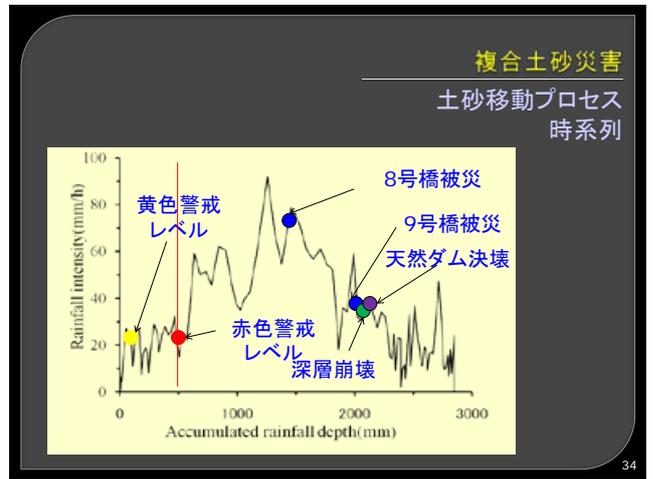


Google  
29

8月9日am6:20頃  
深層崩壊、9号橋より北側まで土砂、天然ダムの形成。



Google  
30



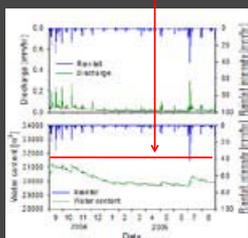
### 複合土砂災害

#### 斜面崩壊警戒情報

もしも地盤情報が得られれば ⇒ 土中水分量の予測と計測



限界水分量



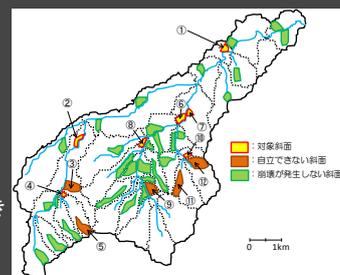
37

### 複合土砂災害

#### 流域規模の崩壊発生予測

緒方川流域(大分県竹田市瀬ノ口地区を含む流域)

- 集水域に分割
- 任意の斜面を抽出(集水域ごと)
- 基岩面勾配の仮定
- 自立できない・崩壊しない斜面を除去(表層面勾配から)
- 先行降雨を与え、自立できない斜面を除去
- 対象斜面

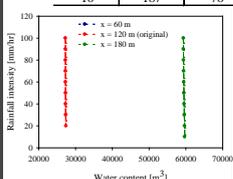


38

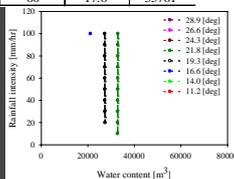
### 複合土砂災害

#### 各斜面の崩壊に対する耐力

Slope No.	L [m]	B [m]	H [m]	$\theta$ [deg]	$Wp$ [m <sup>3</sup> ]
1	165	280	50	16.9	41508
2	133	558	50	20.6	37948
4	170	131	60	19.4	54889
6	161	279	60	20.4	53942
7	168	154	50	16.6	41597
8	131	402	40	17.0	27106
10	187	76	60	17.8	55761



斜面長と土層内水分量の関係

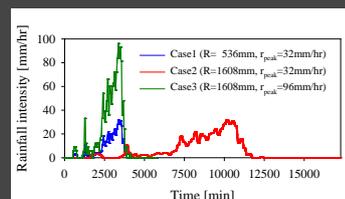


表面面勾配と土層内水分量の関係

39

### 複合土砂災害

#### 入力降雨

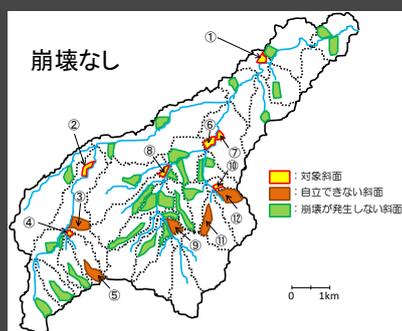


- Case1 : 2005年台風14号の降雨
- Case2 : Case1の継続時間を3倍
- Case3 : Case1の降雨強度を3倍

40

### 複合土砂災害

#### Case1

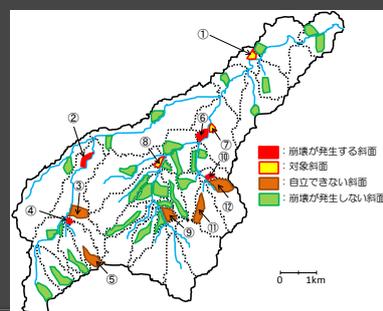


41

### 複合土砂災害

#### Case2

斜面⑥→②→④→⑩の順に崩壊が発生

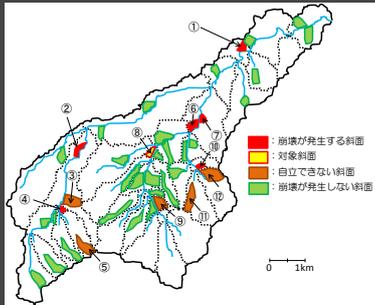


42

### 複合土砂災害

Case3

斜面⑥→④→②→⑩→①→⑦の順に崩壊が発生



43

### 複合土砂災害

発生時刻と生産土砂量

Case2			Case3		
Slope No.	Time of occurrence (min)	Sediment volume (m <sup>3</sup> )	Slope No.	Time of occurrence (min)	Sediment volume (m <sup>3</sup> )
6	9711	16.0 × 10 <sup>6</sup>	6	3147	3.72 × 10 <sup>6</sup>
2	9974	23.5 × 10 <sup>6</sup>	4	3185	2.27 × 10 <sup>6</sup>
4	10050	4.71 × 10 <sup>6</sup>	2	3208	8.03 × 10 <sup>6</sup>
10	10400	2.19 × 10 <sup>6</sup>	10	3296	1.49 × 10 <sup>6</sup>
			1	3454	6.92 × 10 <sup>6</sup>
			7	3494	4.17 × 10 <sup>6</sup>

46.4 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

26.6 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

- 降雨強度が弱い降雨 (Case2) の場合  
→ 流域内の一部分で大規模崩壊が発生
- 降雨強度が非常に強い降雨 (Case3) の場合  
→ 流域内の至る所で小規模な崩壊が同時多発的に発生

44

### 土砂資源の活用

- 農地形成
- 建設材料 (砂利採取)
- 河床低下, 海岸侵食の改善
- 河川環境の改善
- ろ過材, 肥料, その他

45

### 農地形成

プランタス川流域



46

### 過剰な砂利採取 土砂資源利用の持続性



違法が堂々と

土砂資源としての利用  
地域経済のため  
雇用のため

47

### 過剰な砂利採取 河床低下



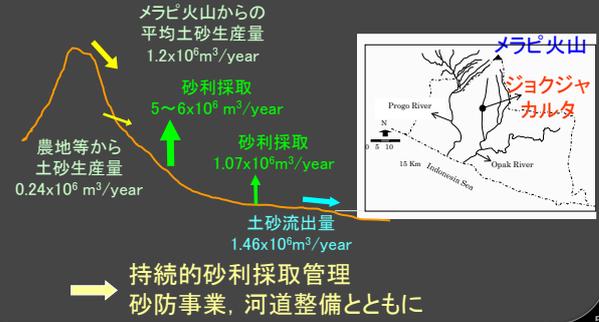
48

過剰な砂利採取  
人工的アーミング



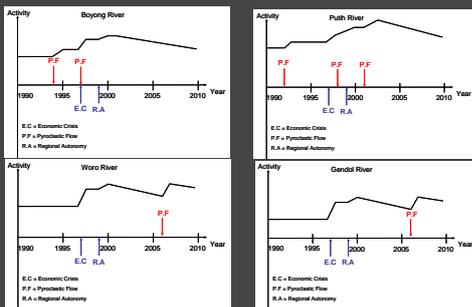
49

過剰な砂利採取  
メラピ火山地域の土砂収支



50

過剰砂利採取  
自然的・社会経済的  
インパクト



51

過剰砂利採取  
一つの複合土砂災害

- 時間
- ◎ 大噴火
  - ◎ 火砕流, 土石流災害
  - ◎ 河床上昇による災害
  - ◎ 砂利採取事業の活性化とそれに頼った社会構造
  - ◎ 過剰砂利採取
  - ◎ 河床低下, 河川構造物の不安定化
  - ◎ 洪水時の弱点の形成
  - ◎ 河川環境の悪化, 流域の荒蕪
  - ◎ 一度活性化した砂利採取事業の中止は困難

52

河床低下, 環境改善  
土砂供給ツール

- ◎ 排砂, 通砂
- ◎ 置き土
- ◎ バイパス
- ◎ 透過型砂防ダム



53

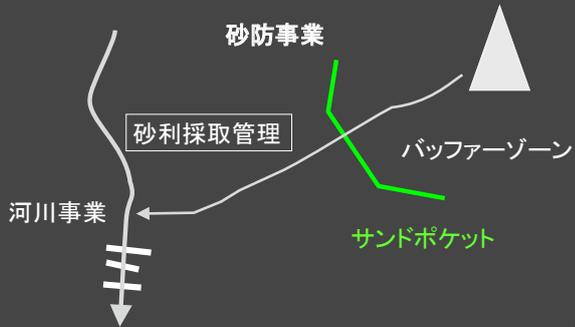
過剰土砂生産  
過剰土砂供給



異常堆積土砂

54

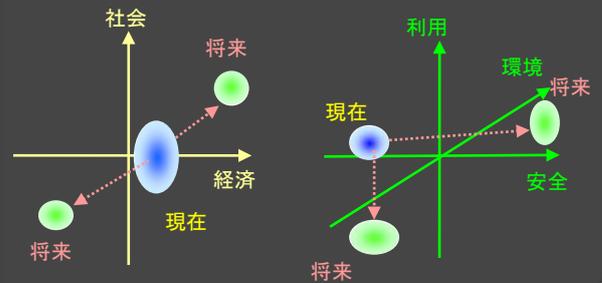
土砂資源管理  
火山地域の土砂管理



55

土砂管理策の評価方法

◎ 土砂管理策の評価軸



56

土砂管理策の評価方法

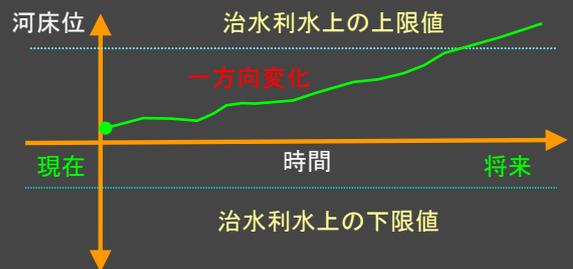
水生生物の生息場  
評価法はあるのか？

- ◎ 土砂水理的な物理環境の評価
- ◎ 物理環境と生物生息場の関係
- ◎ 自然的、人的インパクトの影響評価
  - ・洪水、崩壊、噴火
  - ・貯水池
  - ・排砂、置き土砂
  - ・森林開発
  - ・砂利採取

57

土砂管理策の評価方法

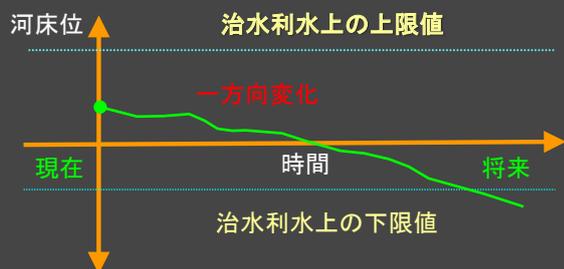
河床変動の目標はせつ  
ていできるのか？



58

土砂管理策の評価方法

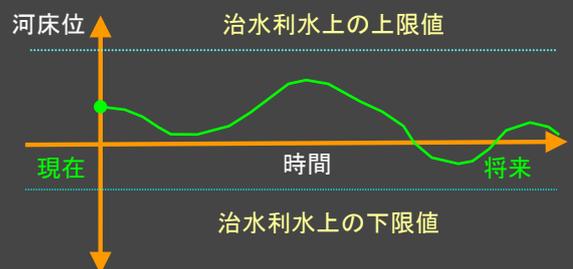
河床変動の目標はせつ  
ていできるのか？



59

土砂管理策の評価方法

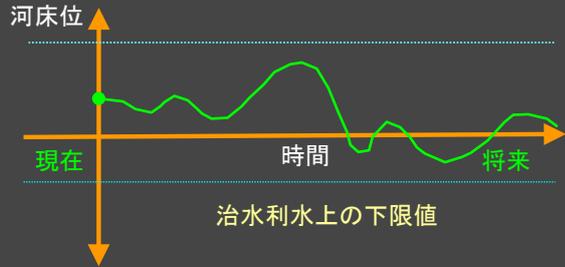
河床変動の目標はせつ  
ていできるのか？



60

土砂管理策の評価方法

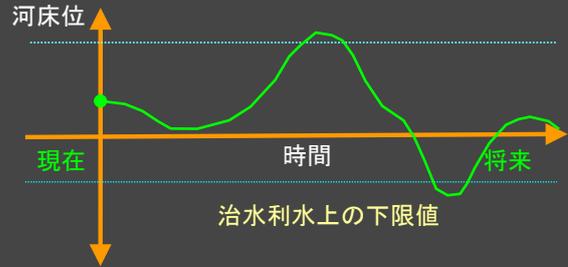
河床変動の目標はせつていできるのか？



61

土砂管理策の評価方法

河床変動の目標はせつていできるのか？

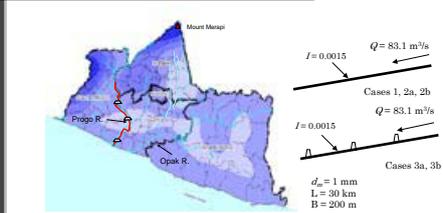


62

土砂管理策の評価手法

安全, 環境, 利用の変化

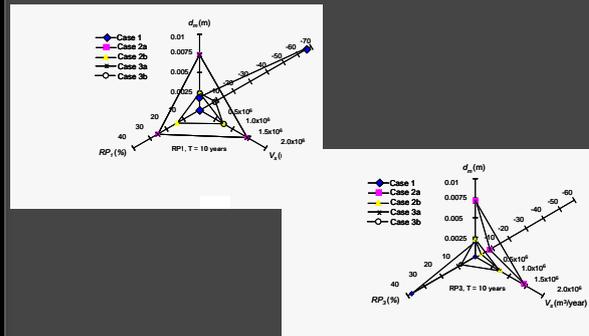
Case	Sediment Control Structure	Sand mining volumes (m <sup>3</sup> /year)
1	No	No
2.a	No	1.44x10 <sup>6</sup>
2.b	No	0.72x10 <sup>6</sup>
3.a	Groundsills	1.44x10 <sup>6</sup>
3.b	Groundsills	0.72x10 <sup>6</sup>



63

土砂管理策の評価手法

安全, 環境, 利用の変化



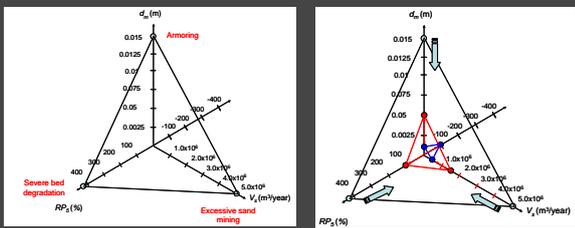
64

土砂管理策の評価

実態と目標

実態

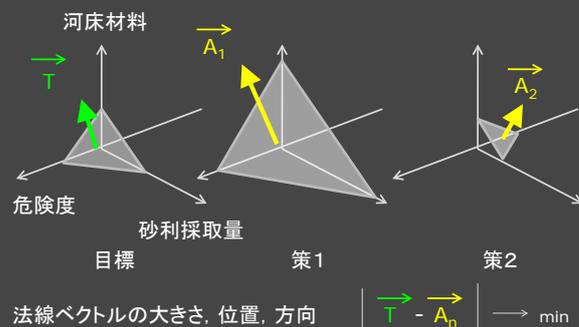
目標



65

土砂管理策の評価手法

評価手法の一考察



66

## おわりに

- ◎ 降雨の極端現象に適応する砂防技術
- ◎ 複合土砂災害に対する砂防技術
- ◎ 土砂資源の量と質をモニタリングする砂防技術
- ◎ 土砂資源をコントロールする砂防技術
- ◎ 流砂系の土砂管理策を評価する技術

67