

岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度評価
(リスクに基づくアセット総合マネジメントによる
社会基盤の戦略的整備意思決定に関する研究)

本城 勇介
岐阜大学工学部
社会基盤工学科 教授



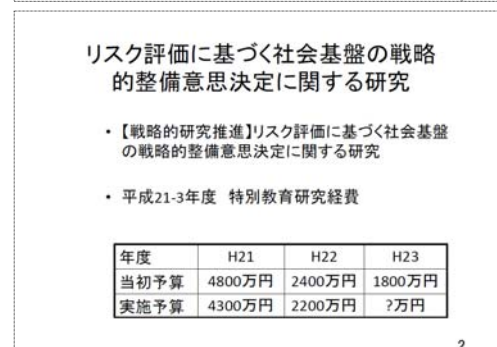
こういう機会を与えていただいております。

資料としては、お手元の資料1が、今からお見せするパワーポイントの出力です。それから、資料2-1は、土木学会の論文集に投稿中のものです。それから、資料2-2は、この研究の全体がわかるように、土木学会全国大会（北海道）に出している4本の論文です。大体それを見ていただければ、これからお話しする内容がわかっていただけたらと思います。

ここは河川堤防の委員会ではありますが、本日お話しするのは道路斜面の落石のリスクに関するものであります。ただ、手法としては、線状構造物であるとか、いろいろな面で、応用できるのではないかと考えてお話しする次第です。

岐阜県飛騨圏域と言いますのは、温泉観光地として有名な岐阜県北部の高山・古川・下呂地域です。本研究は、山岳地帯の道路斜面の危険度評価と、これらを踏まえていかに予算を配分し、維持管理、整備を進めるかということの戦略までを考えるとという研究であります。

これは文部科学省の特別教育研究経費で実施しているもので、去年が1年目、今年が2年目、来年在3年目というところで研究を進めているものであります。ここにいろいろと書いてありますが、要するに、リスクというものに基づいて、どのような資源配分を考えるかというのが研究の内容であります。

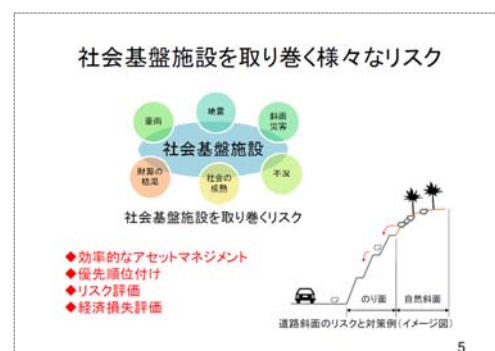


本研究の最大の特徴は、学科内の地盤、経済評価、交通、さらには構造系のいろいろな人がかかわって、チームとして1つのプロジェクトに取り組むということであります。岐阜県も非常に協力いただいております。データはほとんど県からいただいております。そして、1カ月に1回程度打ち合わせの会議をしますが、そのときも必ず県の方が来られます。

スライド中にのり面と自然斜面というのがこれからお話しするときたびたび出てきます。のり面というのは、ここでは人工的に加工してある部分を言っております。その上にありますものが自然斜面ということで、調査等はこれらを別に取り扱っております。

基本的にリスクの一般的な定義は、何かハザード（この研究の場合は落石）が起こったときの損失Dと、そのハザードが生起する頻度Pを掛けるということによって、そのトータルをリスク（すなわち $R = D \cdot P$ ）とします。今日お話しする主要な部分は、このPを、道路斜面というものを対象にして、いかに評価したかということが中心になります。同時に損失Dについても計算しておりますので、計算の詳しい内容はともかく、結果として出てくるリスクの結果、どういうところが緊急に対処すべきものとなったかという、（この研究の範囲においてであります）そういうことについてお話ししたいと思います。

これが岐阜県の3つの圏域です。一番北が古川、それから高山、下呂と、この地域を対象にしております。この圏域で登録されている道路斜面の数は、約3,000位ございます。その3,000の斜面を対象にしております。



リスク及び斜面危険度の定義

$$\Sigma R = \Sigma D \times P$$

R: 個別斜面のリスク
D: 損失の合計
(ex. 人的損失、物的損失、迂回損失、孤立集落損失、救急医療損失)
P: 落石事故の生起確率

本研究リスク:
「対象区域の道路斜面における落石事故の生起確率と、そのために生じる各種損失の積」

斜面危険度:
「個別斜面の落石事故生起確率」

Figure 1: Research Methodology

研究の方法

- 安定度調査表(落石・崩壊、岩石破壊)
- ロジスティック回帰分析(相対危険度推定モデル)
- 落石事故データによるキャリブレーション

斜面相対危険度P₁ 専門家による斜面相対評価推定値
⇒ 階序尺度(大きい/小さい, 良い/中間/悪い...)

斜面絶対危険度P₂ 落石事故生起確率推定値(0~100%)
⇒ 比尺度(ex. 絶対身長、身長、体重...)

データの説明①

①安定度調査表[1996年度]
(相対危険度推定モデル)

斜面崩壊要因の経過調査

災害対策工の効果

災害の頻度・程度

総合評価

カルテ対応、対策不要

A) 「落石・崩壊」と「岩石崩壊」の2種類の調査表

B) 落石・崩壊調査表は、同一斜面で「り面」と「自然斜面」とで区別して点検している。

C) 左図各項目の該当調査、及び点数化している。それに基づき、専門家が個別斜面を相対評価（総合評価）している。

落石

崖根

災害

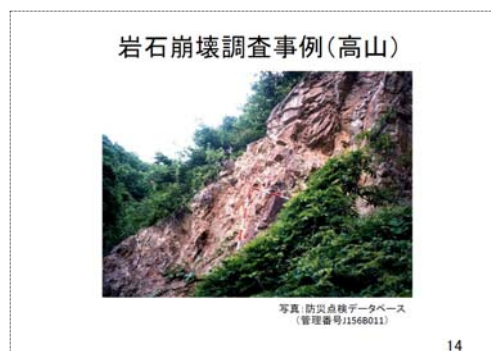
崖根地形

[illegible]

実際、研究チームの中には、ある理由から、コンサルタントでそういうことをされていた方が岐阜大学に常駐されておりまして、その方からもしょっちゅう意見を聞いておりました。ですから、実際にどういうふうに調査がされたとか、いろいろな地域の情報も随時聞いていたということでもあります。

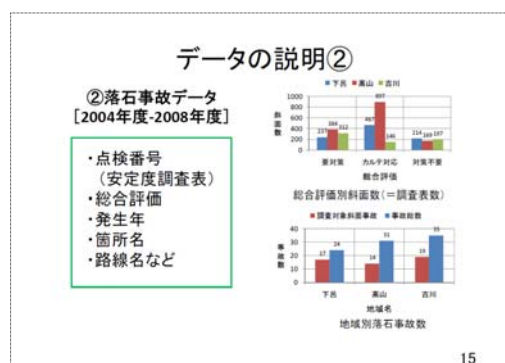
手元にあるものを見ていただければ少しわかっていただけるかと思いますが、どういう項目が調査されていて、どういう分類になっているかと。定量的データ、区分されたデータ、いろいろなデータがあります。

これはいわゆる岩石崩壊につながりそうな、岩盤斜面の写真です。こちらは、斜面の途中にある落下してきそうな岩石というので、落石・崩壊の危険のある斜面の写真であります。それから、こういうのが岩石崩壊、こういうところが落っこちてくる可能性があるということでもあります。



今の調査表は、1996年に行われたものでありますが、そのほかに、落石事故データというのがございます。これは今回解析に取り入れた2004～2008年のものです。このころからきちんと電子化されて、県内にこれが蓄積しているということで、これを使うことができました。

これは、下呂、高山、古川で、それぞれ幾つの要対策斜面、幾つのカルテ対応、幾つの対策不要斜面があったかということを表しているものです。例えば、古川というのは緑色ですが、斜面数としては少ないけれども、非常に要対策が多い。それは地元の地理を知っていると、ああ、そうだろうなと思うんですが、そういうようなものです。これが調査表のほうです。

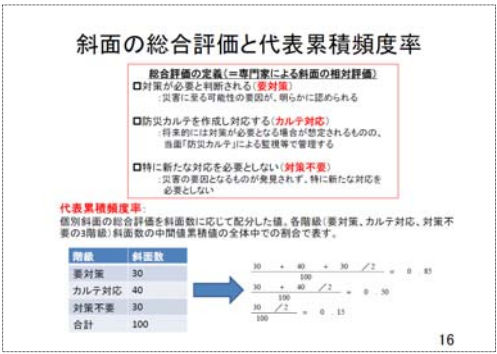


それから、落石事故のほうはこちらで、報告されている落石のうち、調査の対象になっている斜面のほかにも、多くの斜面で落石が起こっています。その対象斜面で起こった落石が、例えば、事故総数が下呂では24件あって、そのうち17件が調査対象斜面で起こった、そういう意味であります。

以上が解析のものと材料としている統計であります。

ロジット解析というのは、もともと回帰分析の1つで、説明しようとする被説明変数が0.1という、壊れるか、壊れないかで表します。2つの応用分野が非常によく知られていて、1つは医療です。薬あるいは治療法が効く、効かないということをいろいろな要因で分析するとき、非常に広く用いられている汎用的な方法です。それから、もう一つは交通です。交通需要予測に使われております。その場合は、被説明変数は効用というふうに解釈されて、ある交通手段をとる確率というふうに考えられております。

ここでは0.1にデータを解釈しないで、要するに、エキスパートが3種類に分離したということを利用して、この3つを、例えば、ある地区で100個斜面があったとして、要対策が30、カルテが40、対策不要が30というふうでありますと、それぞれの中心値の確率、例えば、要対策であれば0.85、



ここに書いてあるような式を用いまして、代表値をつくります。この代表値に対して説明変数をいろいろと選んで説明しようとするわけです。統計解析用のプログラム言語がありまして、それを用いて、非常に効率的に解析をすることができます。

このところに出てるのが数字であります。それぞれのところで。例えば下呂ですと、要対策が0.8で割り振られて、カルテ対応が0.34で、対策不要が0.04というようになっています。

代表累積頻度率

地区	斜面数	要対策		カルテ対応		対策不要	
		割合	累積割合	割合	累積割合	割合	累積割合
下呂	100	0.30	0.30	0.40	0.70	0.30	1.00
中津川	100	0.30	0.30	0.40	0.70	0.30	1.00
合計	200	0.30	0.30	0.40	0.70	0.30	1.00
代表値		0.85		0.34		0.04	

17



そして、全岐阜の3つの地域を統一的なモデルで説明するか、あるいは地域別にモデルをつくるかということについても議論しましたが、結果としては、地域別のモデルを採用いたしました。実際に調査した方等の意見を聞きますと、それぞれの地域で地質的にも地形的にもかなり特徴が違ふとかいうような問題がありましたので、そのほうがいいだろうということになりました。ここに最終的に選ばれたモデルの変数が書かれております。やはり一番重要だったのは、過去の被災歴です。その他には、地形、地質情報が選ばれておりますが、それぞれを見れば、それなりに意味



結果的に「のり面」と「自然斜面」と、それから「落石」と「岩石崩壊」で、1つの地域に対して4つのモデルをつくることになります。下呂・高山・古川でこのように分類すると、こういうふうに斜面がばらけて、これが累積確率分布関数ということになります。

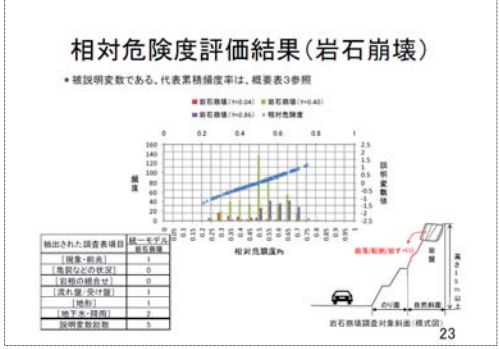
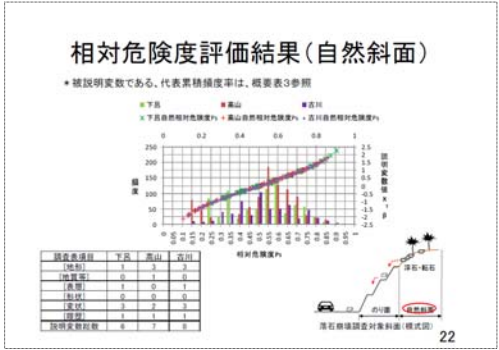
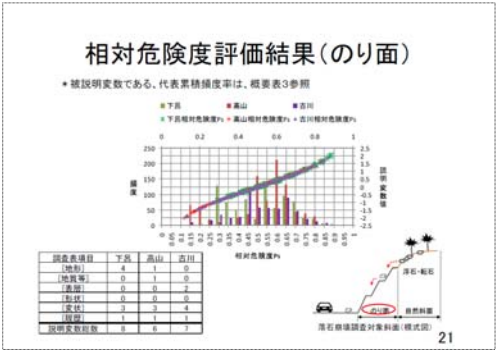
ただ、これは相対評価であって、単にこの斜面よりこの斜面が危険だということを、ある統計的な方法でばらしたというだけでありまして、これを直にリスク解析に用いることはできません。

これは、先ほどののがのり面であったのに対して、自然斜面の場合です。下のように要因がとられております。

それから、これが岩石崩壊の例です。岩石崩壊は、全体的に斜面の数が少なかったりして、ちょっと様相が変わっております。

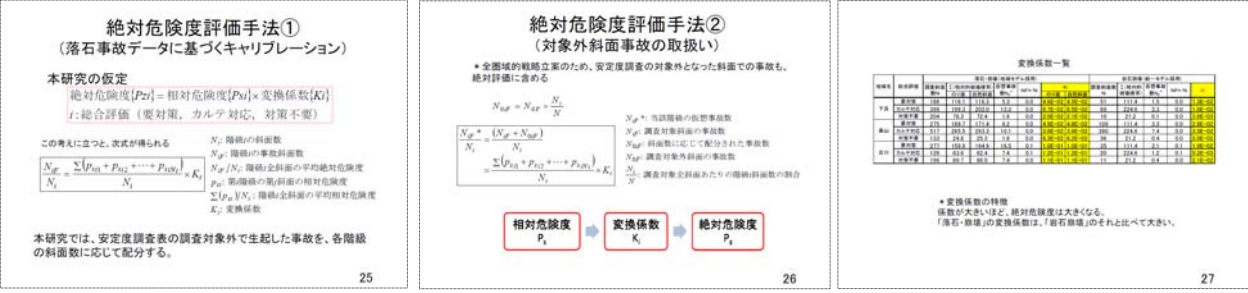
1つ注意したいのは、3種類のうち、「要対策」と「カルテ対応」は非常に混合して、なかなか分離ができませんでした。それに対して、「対策不要」というのは、他の2つに対して、かなり顕著に分類ができるということがありました。これは実際に調査者に聞いても、やはり「要対策」と「カルテ対応」というのは、いろいろな理由によって、実際に現地で分類するときも難しい。それに対して、「対策不要」というようなところは、かなり顕著に他の2つのカテゴリとは違うということがあったということでもあります。

次に危険度です。危険度はどういうふうにしたかというと、要するに、一言で言うと、落石事故の絶対的なデータが、一応5年間ですけど、あるわけです。その落石事故に、ト

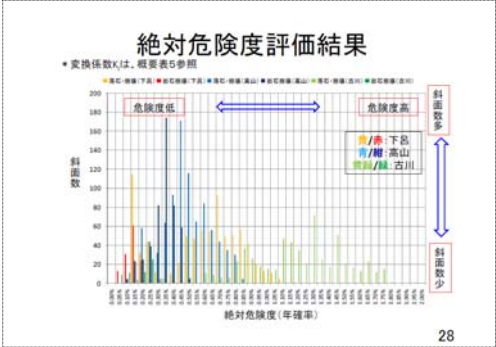


- ### 相対危険度評価まとめ
1. 「落石・崩壊」と「岩石崩壊」で別々のモデルを作成した。
 2. 「落石・崩壊」は、地域モデル、「岩石崩壊」は、統一モデルを採用した。
 3. 「落石・崩壊」の調査表は、「のり面」と「自然斜面」を区別して評価した。
 4. 全地域とも、「対策不要」と他の2つのカテゴリはかなり明確に分離されたが、「要対策」と「カルテ対応」のデータは、分離の程度が低い結果となった。
 5. 各地域モデルの説明変数には、地域差が見られた。(地域特性)
 6. 「のり面」と「自然斜面」は、同一地域のモデルであっても別々の変数が選ばれた。
 7. 「履歴」と「変状」の項目が、総合評価決定に重要な役割を持つ。
- 24

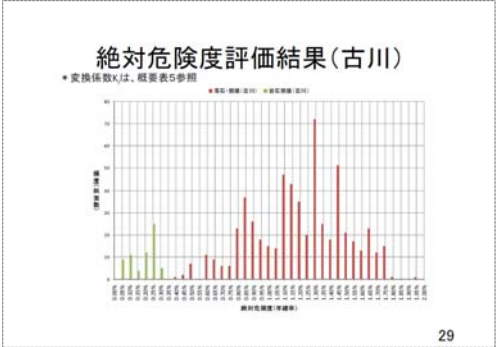
ータルとしての確率を相対モデルで計算したものをすり合わせるということでもあります。ですから、落石事故がたくさん起こったところの危険度は高くなり、かつ、5年間の落石事故の絶対的に起こった確率というものが、最終的なモデルの確率に反映される、一言で言うとそういう方法です。数式に書くと、ここに書いてあるような、全体の事故総数に対して、それぞれをすりつけるというようなことになります。これが換算の係数です。



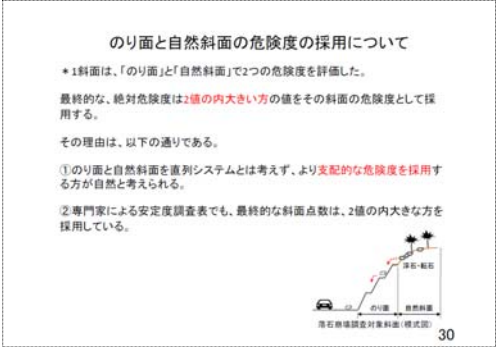
これは絶対危険度評価の例です。先ほどの相対危険度だと、例えば、それぞれの地域は完全に重なっておりましたけれど、これですと明らかにそれぞれの地域の頻度というものが、それぞれのカテゴリにおいて変わってきます。古川が非常に突出してまいります。それに対して、比較的安全なのは、下呂で左のほうに寄ってくるというような特徴があります。それぞれ個々の斜面の危険度をこういうふうに分離したということでもあります。



これが絶対危険度だけを取り出したもので、岩石崩壊と落石・崩壊とに分けて記したものです。



結局、破壊確率というものは、この場合、「のり面」、「自然斜面」に「岩石崩壊」、「落石・崩壊」という4種類のものが出てくるわけですが、ここところでは両方を合計すべきであるとか、いろいろな考え方があると思われますが、ここでは一応いろいろな相関もあると考えて、大きな値をその斜面の代表値としてとるということでその斜面の危険度としております。



これは単なるイメージですが、例えば、左側は、個々の斜面について発生頻度が計算されるので、左側の斜面は、非常に大きかったものですね。落石の頻度が大きかったのはこんな風景でしたよというようなことです。それから、右側のは非常に低かった場合というようなことです。

落石・崩壊絶対危険度評価事例

写真 防犯点検サーベランス(管理番号4409A250) 写真 防犯点検サーベランス(管理番号4473A131)

斜面危険度(高)と判定された斜面 斜面危険度(低)と判定された斜面

- 開口亀裂発達
- 転石点在
- 崖壁崩落
- $P_F \approx 2\%$

岩石崩壊絶対危険度評価事例

写真 防犯点検サーベランス(管理番号4470B033) 写真 防犯点検サーベランス(管理番号4407B033)

斜面危険度(高)と判定された斜面 斜面危険度(低)と判定された斜面

- 亀裂発達
- 不安定な岩塊
- 落石・土砂堆積
- $P_F \approx 0.3\%$

絶対危険度評価まとめ

- 個別斜面の相対危険度に変換係数を乗じること、絶対危険度を算出した。
- 「のり面」と「自然斜面」の危険度は、2種の内大きな値を、当該斜面の絶対危険度とした。
- 「岩石崩壊」の絶対危険度は、「落石・崩壊」のそれと比べて、低い。
- 吉川地域は、他の2地域に比べて、絶対危険度の高い斜面が多く存在する。
- 各地域の落石事故発生件数と実際の年間平均事故数は、一致する。

地域名	道路数(件)	斜面数(N)	観測値(件)		推定値(件)	
			落石崩壊	岩石崩壊	落石崩壊	岩石崩壊
下谷	24	5	789	135	5.7E-03	1.4E-03
高山	33	8	925	868	4.7E-03	3.4E-03
吉川	35	7	589	68	1.6E-03	1.9E-03

次に路線の評価です。交通はネットワークになっておりまして、ノードとリンクによって分かれております。1つの路線、ノードとノードの間を結ぶところには、たくさんの斜面が存在する場合があります。そうすると、路線としての落石の危険度というのを計算しなければならない。非常に斜面の数の多いところもありましたので、近似式ではなくて、ちゃんと一番上の式で計算しております。

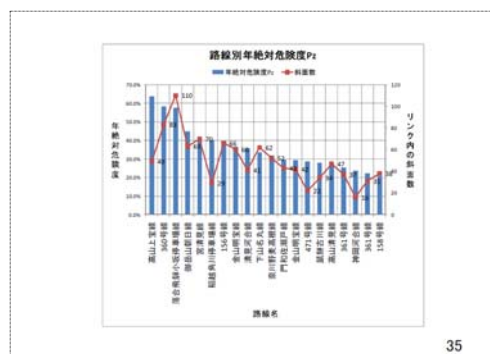
$$P_F = 1 - (1 - P_{F1}) \times (1 - P_{F2}) \times \dots \times (1 - P_{FN})$$

$$= 1 - (1 - P_{F1} - P_{F2} - \dots - P_{FN}) - (P_{F1} \times P_{F2} + \dots)$$

$$\approx P_{F1} + P_{F2} + \dots + P_{FN}$$

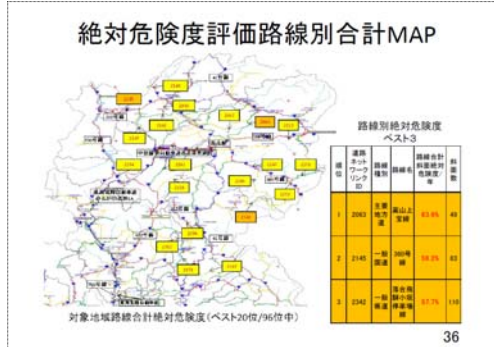
ここで、
 P_F : 当該路線の絶対危険度 (= 1-非破壊確率)
 P_{Fi} : N斜面の絶対危険度
 $P_{F1} \times P_{F2} + \dots \approx 0$ とする

これは、1つのリンクについての集計結果です。いろいろな道路がありまして、縦軸はトータルの絶対的な危険度です。危険度が4.7%というようなことがあります。そうすると、これは2年に1回落石が起こってもおかしくないということでもあります。おそらくそれは落石のデータからキャリブレーション



しているのです、間違いのないことだと思います。それぞれの路線で、比較的斜面の数が少ないのに非常に発生確率の高いところと、斜面数がものすごく多いところと、いろいろなものがあります。

これは危険度の高い3つというか、ベスト3はここでしたよというようなことです。この3つの部分ですが、当然のことながら、よく知っている人だったら、まああそこだったら危険だろうというようなところが選ばれました。



結論

研究により得られたこと:

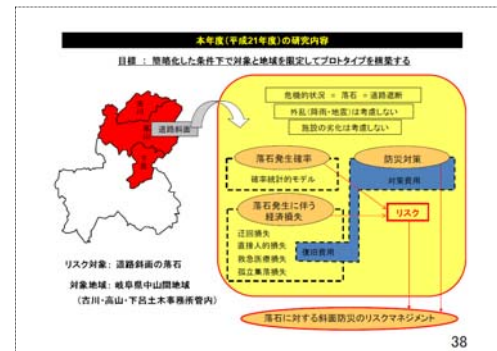
- ロジスティック回帰分析による、危険地域の斜面絶対危険度を推定した。
- 落石事故データに基づくキャリブレーションによる、斜面絶対危険度を推定した。
- 絶対危険度と道路斜面連続性による影響を合わせて、各斜面のリスクを算定し、対策費用等を勘案して、対策優先順位意思決定の方法を提案する。

問題点:

- 構造物・地域・災害の種類等の拡張
- 降雨等斜面崩壊のトリガーとなる要因のモデルへの取り込み
- 情報の追加によるモデル更新の定式化
- 落石事故の規模による分類(1日連続, 3日連続, 等)

37

次に、落石の発生に伴って起こる経済損失を計算しなければなりません。これは土木計画学のグループが計算したわけですが、一番大きいのは迂回損失です。ここには詳しくは書いてありませんが、ネットワークが切れたときに、どういうふうに交通の迂回が起こって、そのときにどういう費用が発生するかという



いうことをきちんと計算しております。それから、直接の人的損失というのは、国交省のマニュアルがありまして、そういう石が落っこちてきたところに車が乗り上げて人が傷を負うというようなことを、交通量との関係で計算する方法がございます。それから、緊急医療については、高山と下呂と古川の消防署の出動記録を解析して、行っております。

それから、もう一つ、孤立集落というのがあります。迂回損失とか直接の人的損失というのは、かなり交通量が多いところが切れたときに非常に大きくなると考えられます。それに対して、この孤立集落の損失というのは、当然、ネットワークの端のほうにあるわけですので、そういうところで起こる損失というのは、おそらくトレードオフというか、全然違う出方をするだろうということが予測されました。孤立集落については、アンケート調査等を行って社会的費用を計算するというような方法で、これを行っております。

それから、一方で、防災対策、つまりどのぐらい対策費用がかかるのかとか、復旧費用がどのぐらいかかるのかということも解析しております。まず対策費用のほうです。対策費用というのは、要するに、事前に何らかの方法で斜面に対策を講じる費用ということです。それから、復旧費用というのは、落石が起こってしまったときに、それを何とか除去

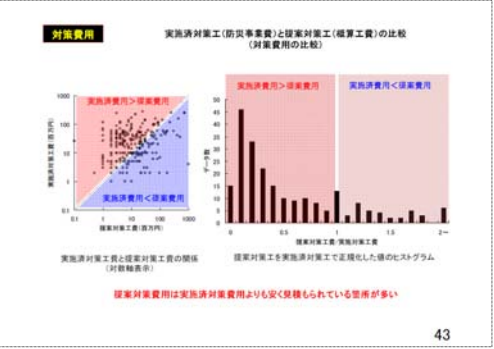
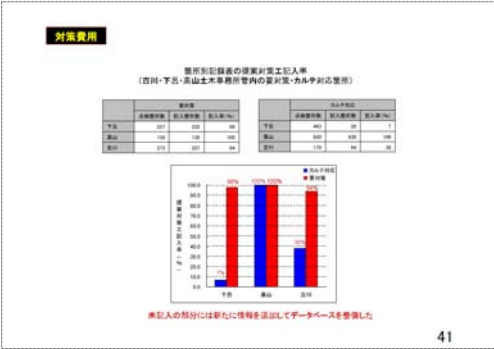
して道路を復旧させるという、そういう費用であります。それで、これを過去のデータにさかのぼりまして、解析したわけです。もともになった記録というのは、やはり1996年に調査表をつくったときに、「要対策」と決めたところは、実際にどういう対策をするのかというので、積算までしているわけです。その資料が非常に大きな資料です。それから、「カルテ対応」のところも一部あります。このところには記入例というのがありますが、下呂は、「要対策」というところはほぼ100%どこもやっておりますが、高山は非常にまじめに、「要対策」、「カルテ対応」とともに非常に達成率が高かったということを示しております。こういうデータをもとにしております。

対策は立てただけで実施しなかったものと、立てて実際に実施したものに分けられます。ですから、それを両方チェックしています。実施対策工はデータ数222、それから、提案対策工は1,929ということで、提案のほうが圧倒的に多い。それで、どういう工種があるかというようなことを調べております。実際にこういうのは発生源対策と言って、石を除くとか、そういうような対策というのは、対策案としては立てるけれど、実施には行われていないというようなことも観測されます。

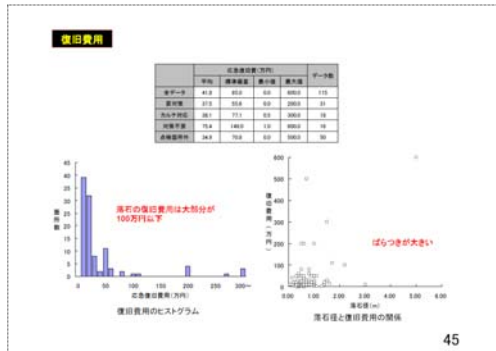
これは、対策案の積算費用と、それが実際に実施された場合の工費を比較したものです。

1. 0であるとき両者は一致します。ばらつきが大きいと言えます。さらに、両者の比なので、読み取りに注意が必要です。

復旧費用のほうは、復旧カルテがあって、どういうことが起こって、どういう対策をしたかということが書かれています。

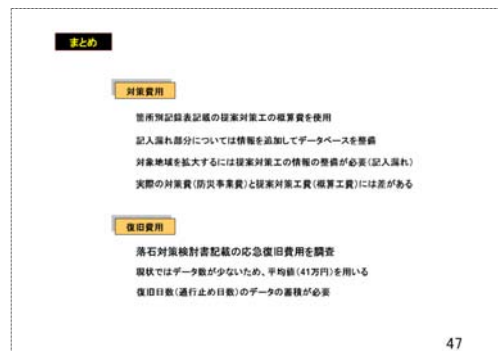


これは復旧費用がどのぐらいかかったかというようなことですね。ただ、どれもばらつきが大きかったということで、復旧費用の中で特にお金のかかったケースは個別に当たって、どういうことが起こったかということも調べております。非常に範囲が大きかったとか、規模が大きかったとか、当然、そういう結果がこの非常に高い部分というのに出てくるわけです。

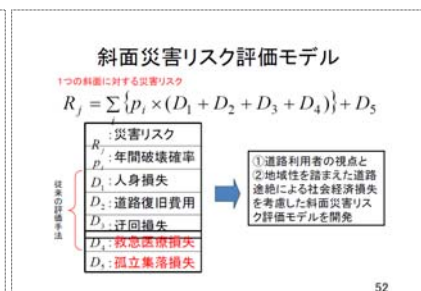
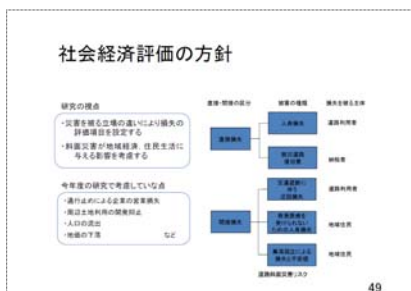


今回は復旧費用というのはなかなか算定が難しいので、一律に決めており、かなり近似的な計算をしています。

経済損失のところは、計算をどういうふうにしたかということとはちょっと省略しまして、実際に計算した結果、どういうことが起こったかということをお見せしたいと思います。



ここにはいろいろな項目があります。D₁、D₂、D₃、D₄というのは、人身損失、道路復旧、迂回、緊急医療です。これは最初に申し上げましたように、発生率Pに損失、Dを掛けて、そしてリスクRを出すわけですが、孤立集落損失というのは、アンケートのとり方等がありまして、議論が多少あったんですが、Pを掛けるのが必ずしもふさわしくないということで、これだけ別途加算しております。このところが違った扱いになっておりますが、それだけは注意して結果を見ていただきたい。



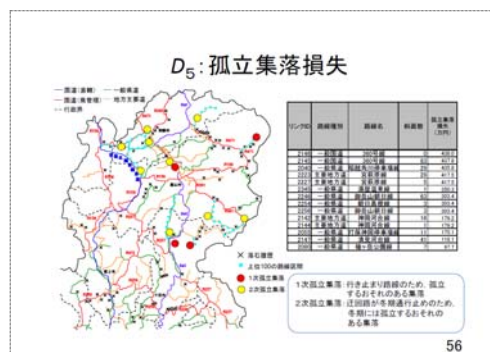
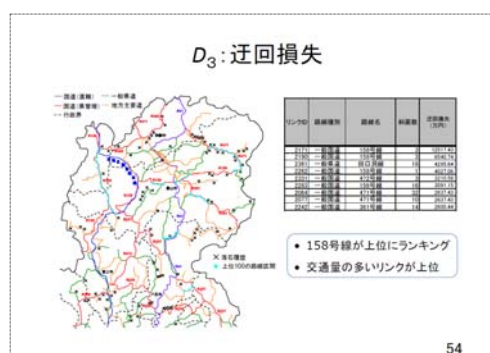
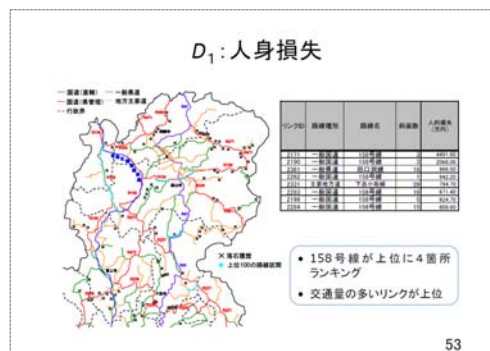
まず、人身損失というのがあります。これでベスト10を取り出していきますと、同じルートが、例えばこれだと、一般国道158号線、これは東海環状道から高山に至るこの道です。今は横に高速道路が通っておりますが、高山に至る道がありまして、これはもちろんノードとリンクで解析しているので、158号線といえども、ぶつぶつ切れているわけですね。ここは斜面数が少ないにもかかわらず、非常にリスクが高いというのは、おそらく交通量が多いので、早く対策しなければいけないということを示していると思われます。

大体この人身事故とか、次に出てくる迂回損失は比較的同じルートが抽出されます。

それから、緊急医療というのも似ていると言えは似ているんですが、多少違うパターンも見られます。これはやはり病院と人の住んでいる場所との関係で、さっきの単に交通が多いということだけではない要素が加わってくるために、出てくる場所が変わります。

それから、これが孤立集落です。実はこの計算では孤立集落は落石の影響を受けていないという計算になっているので、孤立集落として経済的に評価した場合にどういうところが出るかという、当然、それは孤立集落のところに出てくるわけですから、非常に違うパターンがあらわれます。これがトップ10

にランクされたところですが、非常に違う。ですから、政策をやるときに、単に経済的な額がそれぞれで幾らになるかということもそうですが、いろいろな議論が起こり得る可能性があるということを示していると思います。



これは、トータルに評価したときに上位に上がってくるリスクの中で、どういう費用が多く占められているかということですが、上位に上がってくるリスクは、この計算では、やはり迂回とか人的損失とかいうのが多い。すなわち、交通量の多いところがどうしても上がってくるということになります。

これが最終的に示しているグラフです。これはリスクが大きい順番に並んでおります。要するに、リスクというのは、損失と頻度の積です。この場合は非常に単純化して、そこにある斜面を一つずつ手当てしていったときに、そのリスクがなくなる、つまり、リスクをBにして、それをなくすための費用（対策費用）をCにして、そしてB/Cを計算しております。B/Cが大きいということは効果が高いということです。例えば、この辺に非常にB/Cが高いものがありますが、おそらくこれは斜面数が非常に少ないので、対策すると非常に効果が高いことを示しております。それから、リスクが高いにもかかわらずB/Cが低いというのは、対策費用がかかるので、経済的に考えるとあまりペイしないということをあらわしております。県レベルの方と話をするときは、個別にどこが選ばれたとかいうことを、もちろん県の方は我々よりずっと個々の道等のことについて詳しいので、そういう議論になります。

これが最後のスライドです。この研究は、まだ1年目の研究でありますけど、とにかく一貫通でこういう評価を、それぞれの専門家を入れてとにかくやるということが目標でありました。1年目としては、こういう成果が出ているということでありました。これが河川にどう使われるのかというのは、私にはよくわかりませんが、河川と道路というのは、共通点としては線状の構造物であって、どこかがだめになるとすべてだめになるというようにところは似ていると思いますが、いろいろと違う点もございます。

