AR5 へ向けた影響評価ならびに適応策研究

東北大学 大学院環境科学研究科 風間 聡

1. はじめに

2000 年前後からの気候変動研究は、GCM の開発競争に始まり、その結果を使った影響評価に進んだ. こうした内容を IPCC の 3 次報告書にも見ることができる.4 次報告書の大きな成果は、一般(人)には、 「温暖化が確実視された」ということであるが、研究者からしてみれば、「GCM の成果が認められた」が 最も大きな成果である.よって、信頼しうる GCM の成果を利用した影響評価研究の加速は当り前といえ るが、すでに GCM を用いた研究は、適応策研究の中盤を過ぎた辺りまできているように感じる.適応策 研究は、理系の学問分野だけでなく、文系も活発であり、経済や政治学などでも GCM の結果を参照して いる.そこで、我々の研究グループが行った GCM を使った適応策研究の例を示すとともに、今後の展開 について述べてみたい、研究例は、豪雨の増加に伴う「洪水氾濫の適応費用の算出」と「斜面災害の適 応」についてである.災害の適応策は防御、緩和、撤退の3つに分けることが知られているが、本報告 は、具体的な政策については言及せず、経済効果を示すことで政策を別に委ねることとした.

2. 豪雨の増加に伴う洪水氾濫の適応費用の算出

2.1 データセット

氾濫計算に、標高、土地利用、再現期間の降雨極値の数値地理情報を用いる. これらは、すべて 1km × 1km の解像度のグリッドセルデータである. 氾濫計算の結果も 1km²の解像度による分布図となることから、浸水被害額の算定も同解像度の結果で示される. 1km²の解像度は、多種の社会基盤情報が用意されており、広域の対策計画に利用しやすいといえる. 標高データ、土地利用データ、降雨データを計算に利用する. 標高は、国土数値情報の KS-META-G04-56M データに格納された 1km²の平均標高値を用いた. 国土数値情報の KS-META-L03-09M データに格納された 1km²の土地利用情報から、各グリッドセル内において、最も占める割合が多い土地利用をそのグリッドセルの土地利用と設定した. 降雨極値の分布データは、AMeDAS 観測所における 1980 年から 2000 年の 24 時間降水量データとメッシュ気候値 2000(発行:気象庁)を利用して作成された. 手順の概要は(1)から(3)のとおりである.

(1)AMeDAS 観測所毎に経年の最大 24 時間降雨量を頻度解析し,再現期間に対する 24 時間降雨量を求める.

(2)再現期間毎の降雨極値と AMeDAS 観測所の位置するメッシュ気候値の関係を気候タイプ毎の回帰式で示す.

(3)回帰式にメッシュ気候値を代入することで,再現期間に対する降雨極値の分布データが作成できる.

AMeDAS 観測所に対する降雨極値の頻度解析に,確率分布型として極値分布である GEV(Generalized Extreme Value)分布,母数推定法として PWM(Probability Weight Moment)法を用いる.降雨極値は日本列島各地の AMeDAS 観測所 1024 箇所のデータから求 められた.また,1km²の解像度による 24 時間降雨極値の数値地理情報を,AMeDAS 観測所 毎の降雨極値とメッシュ気候値 2000 に格納された月降水量を利用して作成した.メッシュ気 候値 2000 は、地形因子を説明変数にする重回帰式から導かれた降水の数値地理情報である. 牛山ら(2004)は AMeDAS 観測所の暖候期平年降水量と日降雨極値の関係を示した.統計的 に有意な相関を利用して,回帰式による日降雨極値算定モデルを作成している.このアルゴリ ズムを用いて、メッシュ気候値に格納された暖候期降水量の利用による降雨極値の分布データ を作成した.しかし、牛山らの日降雨量の結果を参考にすると、回帰式と降雨極値に約 500mm の誤差が認められる AMeDAS 観測所も存在する.この誤差を極力小さくするため、日本列島 を気候特性から区分し、複数の回帰式による 24 時間降雨極値算定モデルの作成を試みた.本 研究に用いる降雨の気候は最大月降水量の該当する季節から分類される.春型は 3 月から 5 月、 夏型は 6 月から 8 月、秋型は 9 月から 11 月、冬型は 12 月から 2 月と区分した.春と夏型、秋 型,冬型毎の暖候期中の最大月降水量と,再現期間に対する降雨極値から,気候に応じた回帰 式を求める.春季に最大降雨量を示す地域は,薩南諸島以南のみであること,この地域の夏季 と春季の降雨差はほとんどないことの理由から夏型に統合することとした.各気候タイプに対 し,暖候期中の月最大降水量と再現期間 30 年の降雨極値の関係を回帰式で示したものが図-1 である.回帰式との誤差は,最大でも 250mm 程度に改善されていることがみてとれる.図-2 はメッシュ気候値 2000 から作成された日本列島の気候タイプの分布図である.各メッシュの 暖候期中の月最大降水量を各気候タイプに応じた回帰式に導入することで,日本列島全域の降 雨極値分布を作成できる.図-3 に再現期間 100 年の降雨極値分布を示す.



3. 氾濫モデル

本研究では、河川構造物を考慮しない河川に対して氾濫シミュレーションを行う.洪水による経済損 失を計算する上で、本シミュレーションは、基礎データベースを提供することになる.流出域を定義せ ず、日本全体を氾濫原として据え、全域に氾濫モデルを適用した.モデルの形式は、氾濫流の伝播現象 を、最も詳細に再現することができる二次元不定流モデルを選択した.式は(1)から(4)に示す.

連続方程式

土地利用番号 土地利用 粗度係数 田 0.061 その他の農用地 2 0.05 森林 0.06 3 荒地 0.05 4 建物用地 5 0.05 6 幹線交通用地 0.047 7 その他の用地 0.05 河川地及び湖沼 0.03 8 9 海浜 0.03 10 海水域 0.03 ゴルフ場 110.05

表-1 土地利用ごとの粗度係数一覧

ここで、x:東向きの座標、y:北向きの座標、t:時間、D:水深、h:標高、M、N:x、y方向の単位幅流量、g:重力加速度、n:マニングの粗度係数、 $(1-\gamma)$:家屋占有率、B:家屋の平均寸法、 C_M :家屋の付加質量係数、 C_D :家屋の抗力係数である.家屋は正方形と想定して C_M =0.2、 C_D =1.0とした.n、 γ 、Bは土地利用に応じて値を変化させる.家屋の占有率は、市街地において大きい値を持つが、家屋の平均寸法は、場所による傾向がみられないと認識されている(風間ら、2005).土地利用が建物用地の場合、家屋の平均寸法は一定とした.本モデルでは、粗度係数は水深によって変化するとし、水深がある程度深くなると底面の影響は無視できるため、粗度係数はその土地利用による値となる(風間ら、2005).粗度係数は、水理公式集を参考に表-1のように設定した.

4. 被害額単価の作成

国土数値情報 KS-META-L03-09M データに格納されている 15 の土地利用分類に従い,治水経済調査 マニュアル(国土交通省河川局,2005)の「直接被害の対象資産」を参考に,土地利用ごとの計算手順 を下記のように分類した.ここで用いる土地利用は,(1)田 (2)畑地 (3)建物用地 (4)ゴルフ場 (5)幹線交 通用地 (6)森林 (7)荒地 (8)その他の用地 (9)河川地及び湖沼 (10)海浜 (11)海水域,である.計算式は治 水経済調査マニュアルで示されている手法をそのまま用いた.以下に項目毎の計算方法を説明する.

(1) 田

被害額(千円)=489(t/km²)×285(千円/t)×浸水面積(km²)×浸水深別被害率

ただし,489t/km²は,単位面積当たりの水稲平年収量の全国平均値である.285千円/tは,平成11年 度の米の単位評価額である.

(2) 畑地

被害額(千円)=5,770(t/km²)×264(千円/t)×浸水面積(km²)×浸水深別被害率

ただし、5,770t/km²は、単位面積当たりのトマトの平年収量の全国平均値である.264 千円/tは、平成 10 年度のトマト評価額である.畑地の農作物は、水稲以外の様々な農作物を含む.しかし、日本全土に おける分布的な浸水被害額を評価することを目的としているが、全ての農作物に対する個別の評価は困 難である.そこで、前作物中最も平均的な数量を表す代表種を作物統計(農水省,2002)より抽出した ところ、トマトの評価額が264 千円/t(全国作物平均評価額:271 千円/t)が最も平均金額に近いもので あった.この値を計算に利用する.ここである作物を代表させることで、将来、トマトの価格の地域差 を反映させることができる.

(3) 建物用地

建物用地の多くが,現存区分の対象となっている.経済および政策改変に伴い利用状況が変化する事態を考慮すれば,極力簡易的な区分が必要である.そこで,国土数値情報「指定地域メッシュ」を利用し,住宅地と事業所に分けることとした.

a) 住宅地被害=家屋被害+家庭用品被害

b) 事業所被害=家屋被害+償却·在庫資産

a-1) 家屋被害

家屋被害(円)=都道府県別家屋1km²当たり評価額(円/km²)×浸水面積(km²)×浸水深別被害率

都道府県別家屋 1km² 当たり評価額は平成 16 年度の評価額を用いた.

a -2) 家庭用品被害

家庭用品被害額(千円)=14,927(千円/世帯)×浸水世帯数(世帯)×浸水深別被害率

ただし, 14,927 千円/世帯は, 1 世帯当たりの平成 16 年の評価額である.

b-1) 家屋被害

a -1)と同様の手段で求める.

b-2) 事業所償却・在庫資産

償却資産被害額(千円)=18,090(千円/人) ×浸水影響従業員数(人)×浸水深別償却資産被害率

在庫資産被害額(千円)=3,084(千円/人) ×浸水影響従業員数(人)×浸水深別在庫資産被害率

ただし,18,090千円/人除いた平成16年度の事業所従業者1人当たりの償却資産評価額および在庫資 産評価額の平均値である.

(4) ゴルフ場

ゴルフ場被害額は、事業所・企業統計調査の大分類項目におけるサービス業被害額として計算する.よって、償却資産と在庫資産の合計額をゴルフ場被害額とする.

ゴルフ場被害額=償却資産+在庫資産(サービス業)

償却資産被害額(千円)=3,667(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率

在庫資産被害額(千円)=465(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率

ただし, 3,667 千円/人及び 465 千円/人は, それぞれ, 平成 16 年サービス業従業者 1 人当たりの償却 及び在庫資産評価額である.

(5) 幹線交通用地

幹線交通用地被害額は、資産からの直接的な推計が困難なため、一般資産被害額との関係から算出する. 幹線交通用地被害額=一般資産被害額×1.694

ただし,一般資産被害額=家屋被害+家庭用品被害+事業所償却・在庫資産被害額である. 1.694は一般資産被 害額に対する公共土木施設の被害率である.

(6) その他の用地について

(6)森林(7)荒地(8)その他の用地(9)河川地及び湖沼(10)海浜(11)海水域については,浸水に伴う被害はないものと仮定し,被害額は考慮しない.

5. 氾濫解析結果

氾濫計算の結果として、図-4に再現期間100年の確率降雨に対する氾濫計算の結果による、各グリッド

セルの最大浸水深の分布を示す.表-2に再現期間ごとにおける被害額の算定結果を示す.標高データと 比較すると,関東の広い範囲に,浸水深の領域が認められる.また,近畿以南は比較的浸水領域が狭い 傾向を示す.ただし,再現期間100年の降雨極値分布(図-3)と比較すると,九州,四国地方といった 降雨極値の大きい地域は,最大浸水深も大きい特徴を持つ.一方,相対的に降雨極値の小さい地域であ る北海道や東北地方では,最大浸水深の分布も小さい傾向が現れている.このように,解析結果から地 域的な洪水の特徴を明らかにした.表-3において,再限期間5年の浸水被害額は約40兆円であること に対し,再現期間100年の確率降雨に対しては,約110兆円の被害となる.再現期間50年を基準とす ると再現期間10年では,1.4倍,30年では2.0倍,50年では2.4倍,100年では3.0倍ほどの被害が潜 在的に見込まれる.



図-4 再現期間100年の確率降雨に対 する最大浸水深分布

表-2 再現期間ごとの被害額(単位:億円)

	agricultural lands	residential areas	utilities	total damages	increase rate
100year	7,867	414,672	702,455	1,124,994	2.9
50year	6,032	335,149	567,742	908,923	2.3
30year	4,820	283,883	480,897	769,600	2.0
10year	2,039	202,746	343,452	548,238	1.4
5year	734	143,392	242,907	387,033	1.0

6. 洪水氾濫の適応費用

6.1 降雨極値と被害額の関係

降雨極値と浸水被害額との関係を調べるために,再現期間5年の降雨極値の被害を基準に,再現期間 毎の増加率を示した.図-5に再現期間5年の降雨極値を1とした時の再現期間10,30,100年の降雨極 値の増加率の分布図を示す.再現期間5年に比べ,10年では約1.2倍,30年では約1.5倍,100年では 約2.0倍の増加を見て取れる.再現期間ごとの降雨極値の増加率を横軸に,再現期間ごとの農地被害額 の増加率を縦軸にとったものが図-6である.図-6より,現在気候に基づいた解析では,降雨極値の増 加に伴い,洪水被害はほぼ線形に増加することが分かる.上述したように,気象庁・気象研究所の地域 気候モデルによる研究成果では,100年後の100年確率日降水量が,現在に比べ,全国的に20%程増加 する.この結果によると,洪水被害も20%ほど増加すると考えられる.

また、治水施設のように全体としてのリスクを低下させるプロジェクトについては、リスクプレミア ムを考慮する必要がある。例えば、50年に1回の確率で1,000万円の被害を被る選択肢と、これを回 避するために毎年20万円を支出する選択肢とがある場合、年間の損失の期待値はともに20万円であ るが、通常後者が有利と判断する。これは、所得の限界効用逓減により、1,000万円の損失による犠牲 の方が20万円の損失による犠牲の50倍よりも大きいためであり、両者の差異がリスクプレミアムと なる。リスクプレミアムがある場合、通常の投資よりも低い割引率で評価するか、もしくは便益を高く 評価することが考えられる。このため、解析で得られた被害額を、治水経済調査マニュアルの年平均被 害軽減期待額算定手法を参考に、確率区間ごとに年平均被害期待額として算出した。結果を表-3に示 す。このように再現期間ごとの被害を定量的に対比させることで、降水量や確率規模の違いによって期 待される被害の大きさを把握することができる。また、算出した値は治水事業を行う際の基礎資料とな る。再現期間100年までの年平均被害期待額の累計は、約11兆円である。平成19年度の河川局予算案 によると、国土基盤河川に対する事業費が約8,000億円、地域河川に対する事業費が約4,000億円であ り、合計は約1.2兆円である(最近5ヵ年はほぼ同様の値)。この値をもとにすると、今回算出した年平 均被害期待額は約9年分の対策費用と考えられる。





1.180 1.395 1.610 1.825 2.040 図-5 再現期間5年の降雨極値を1とした時の 再現期間10,30,100年降雨極値の増加率

図-6 降雨極値と被害額との関係(基準年:再現期間5年)

再現期間 (単位:年)	年平均超過確率	被害額	区間平均 被害額	区間確率	年平均被害 期待額	年平均被害 期待額の累計
5	0.20	387,033				
10	0.10	548,238	467,636	0.100	46,764	46,764
30	0.03	769,600	658,919	0.067	43,928	90,691
50	0.02	908,923	839,262	0.013	11,190	101,882
100	0.01	1,124,994	1,016,959	0.010	10,170	112,051

表-3 再現期間ごとの年平均被害額(単位:億円)

7 斜面災害リスク

7.1 データセット

地質データとして国土数値情報の KS-META-G05-54M を用いる.このうち,未固結状態にある崩積 土,続成期間の短い半固結状態にある新第三系堆積岩と古第三系堆積岩,造山鉱物にカオリナイトを含 み粘土化しやすい花崗岩の土砂および土砂化しやすい4種類の地質を対象にした.新第三系堆積岩は風 化や熱水変質の顕著な地質として知られている.また,新第三系堆積岩に属するグリーンタフの分布す る日本海側は土砂災害の発生しやすい地域として認識されている(東北地方土木地質図編集委員会, 1988).そのため,第三系堆積岩を新第三系堆積岩と古第三系堆積岩に分類した.

地形データとして起伏量を用いる. 起伏量の大きな地域は, 地形開析を助長し, 活発に地形発達する. そのため, 山地崩壊評価に起伏量が利用されてきた(例えば吉松, 1977). 起伏量は, 解像度 1km²のグ リッドセル内における地形の高低差と定義され, 国土数値情報の KS-META-G05-56M に格納された最 高標高と最低標高の差から求められた.

水文データとして動水勾配を用いる.急な動水勾配は斜面の有効応力を減少させるため斜面 の不安定化を促す.動水勾配の増加は,地下水上昇を表現し,土塊内の間隙水圧を増加させる ため抵抗力を減少させる.また,動水勾配の増加した斜面末端部は斜面尻の土砂流出を促すた め斜面の滑動力を増加させる.更に,土砂流出はパイピング現象を増長させるため,斜面の滑 動力が増加する.動水勾配は,数値地理情報から擬似二次元化した斜面を作成し,浸透解析に よって求めた. 擬似斜面に利用するデータは KS-META-G05-54M の表層土壌と, KS-META-G05-56M の斜面傾斜度,24時間雨量の極値データである.以下に浸透解析方法, 降雨極値データについて説明する.

浸透解析に Richards の二次元飽和不飽和浸透解析モデルを用いる.日本列島は脆弱な地質 と森林土壌の発達した地相をなす.このため,地表水から地中水への移動は,主に不飽和状態 でおこなわれる.この状態を考慮すると,雨水浸透の再現には不飽和状態も考慮した浸透解析 が必要になる.本研究に用いた動水勾配は,地下水および土壌水分のない斜面に降雨を与え, 降水後に最大傾斜を示す浸潤線から求めたものである.この動水勾配は実現象を再現したもの ではないものの,再現期間の降雨極値と不飽和から飽和に遷移する過程を踏まえたグリッドセル毎の地下水特性を示すことができる.表層土壌は,礫質土,砂質土,シルト,粘土に分類し, 浸透解析に用いた.表-4 に表層土壌の詳細条件を示す.また,図-7 に大分類した表層土壌を 示す.解析は10日間タイムステップ1時間で行い,最初の1日に降雨が生ずるものとした. なお,降雨データは洪水氾濫解析と同じものを用いており,24時間雨量を時間毎に等分配した.

災害実績データは発生確率モデルの構築に利用される.同一の降雨イベントや降雨極値により日本列 島全域に土砂災害が頻発した事例はなく、モデル構築に日本列島全域を一律で利用することが困難であ る.このため、土砂災害が頻発したある地域およびイベントの事例からモデルを構築する.このモデル に日本列島各地の数値地理情報を導入することで発生確率分布を作成する.モデル構築の基礎データは、 1)現在の自然と社会が反映できる最近のデータである、2)対象とする地質がすべて分布する、3)災害実 績が分布的に示された資料が残っている、の3条件から選定した.災害実績の中から、2004 年 7 月 12 日から 13 日の新潟・福島豪雨による降雨イベントを基礎条件に用いる.この降雨による土 砂災害は、ある特定地域に多数の被害を与えた.新潟県内で崖崩れ、地すべり、土石流を合わ せた 347 箇所の土砂災害が社会基盤に被害を与えた(山岸ら、2004).また、写真判読から 3600 箇所の土砂災害が確認された.この災害実績を空中写真による判読結果および土砂災害 被害分布図を参考に解像度 1km²による土砂災害分布データを作成した.モデルに利用する基 礎情報の範囲として土砂災害の集中した新潟県栃尾市に位置する浅草岳から魚沼丘陵の範囲 を利用する.

浅草岳から魚沼丘陵の近辺の周辺に存在する AMeDAS 観測所は栃尾である. 栃尾の 2004 年7月12日から13日における最大24時間降雨量は422mmである. 経年の最大24時間降雨 量を整理し,GEV分布の確率分布型,PWM法の母数推定法を用いて頻度解析を行うと,422 mmの24時間降雨量は,再現期間530年の降雨極値になる. この地域は1979年の24時間降 雨量216mmを除くと甚大な集中降雨が認められていない. そのため,500年を超える長期の 再現期間が導かれている. この24時間降雨量の再現期間500年を基礎情報の降雨条件に利用 したこととなる.



土壌	透水係数 ks(cm/s)	飽和体積 含水率 <i>θs</i>	残留体積 含水率 <i>θr</i>	比水分量 の最大に なる水頭 <i>↓</i>	特性値 <i>β</i>	対応土壌 <i>デー</i> タ
礫質土	1×10^2	0.30	0	0	3	岩屑性, 褐 色低地
砂質土	1×10^3	0.40	0	0	3	褐色化, グ ライ, 砂丘
シルト	1×10 ⁴	0.45	0	0	5	黒ボク, ポド ゾル, 森林, 湿性森林
粘土	1×10 ⁵	0.50	0	0	20	泥炭

表-4 表層土壌詳細条件

8. 発生確率モデル

発生確率モデルに多重ロジスティック回帰分析を利用する.この解析手法は正規確率密度の分 布になじまない二項分布による発生確率を求めるものである.ここで示す二項分布はある事象 に対する生起の1と0の関係であり,本研究では7月12日から13日の新潟県見附市に位置す る浅草岳から魚沼丘陵の土砂災害発生を1,土砂災害非発生を0と設定した.1と0の関係と この関係を説明するための変数群をロジスティック曲線で示し,この曲線を重回帰式で解くこ とにより多重ロジスティック回帰分析が成立する.本研究では起伏量と動水勾配を説明変数に 利用し,土砂災害の実例から多重ロジスティック回帰分析を作成し,発生確率モデルを構築し た.また,発生確率モデルは地質別に作成し,地質状況に応じた土砂災害への影響を算定した. 地質毎にモデルを作成することで,地質別の相対的な危険度を提供できる.このモデルから導 かれる発生確率はある条件を基に現象の生起する条件付確率になる.説明変数の変化に伴い1 から0の間に存在する発生確率を導くことができる.土砂災害の発生確率モデルは以下の式(5) 〜式(8)で示されるが,式(8)はロジット関数を示す.

$$P = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} = \frac{1}{1 + \exp(-Z)}$$
(5)

ここで、P:発生確率、Z: r個の説明変数を合わせた合成成分であり、Zは式(6)の重回帰式で示される. $Z = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 \cdots b_n x_n$ (6)

ここで、a:切片、b:係数、x:説明変数である.式(6)を変換することで自然対数による式(7)が作成される.この変換はロジット変換と呼ばれる.なお、ここから合成成分を示す重回帰式の説明変数を解析にあわせ動水勾配 x_{hydro} 、起伏量 x_{relief} にする.

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = a + \beta_h x_{hydro} + \beta_r x_{relief}$$
(7)

ここで、 β_r :起伏量の係数, β_h :動水勾配の係数である.これを発生確率Pについて変形すると式(8)の土砂災害発生確率モデルが作成される.

$$P = \frac{1}{1 + \exp\left[-\left(a + \beta_h x_{hydro} + \beta_r x_{relief}\right)\right]} \tag{8}$$

説明変数は5%以内の有意確率 p 値を示し,有意水準5%を満たす.標準化偏回帰係数の大きさ は発生確率に対する説明変数の影響度を示す.各地質における発生確率モデルの標準化回帰係 数は,動水勾配が起伏量よりも大きい値であり,降水量の増加が土砂災害の発生を促すことを 示している.図-8 はモデルに用いられた実績データと,地質毎の発生確率モデルを起伏量, 動水勾配と発生確率のロジスティック曲線を示したものである.危険度の高い地質は,曲線の 傾きが急であり,小さな説明変数値の上昇に伴い発生確率が急上昇する.以上の特徴を比較す ると崩積土,新第三系堆積岩,古第三系堆積岩,花崗岩の順で危険度が示される.この結果は 地質の硬軟と一致する.崩積土と新第三系堆積岩は,動水勾配の変化に伴い発生確率が急変し ており,動水勾配の変化により急激に危険な状態に遷移する地質である.

9. 土砂災害発生確率の解析結果

土砂発生確率の解析結果として、図-9に再現期間 10年、30年、100年の発生確率分布を示 す. 再現期間 10年の結果では、急峻な山岳地を中心に発生確率 90%以上の地域が広く分布 する.図-9の再現期間 10年の分布に示すとおり、北海道の石狩山地南麓、恵庭岳南麓、出羽 山地の月山北麓から朝日山地、飯豊山地、越後山地、飛騨山地に至る日本海側における山地群、 飛騨山脈南部を中心にする日本アルプスと称される地域一体、関東山地南西麓、紀伊山地南麓、 四国山地の剣山南麓は広い範囲で発生確率 90%以上を示した地域である.これらは、社会基盤 が乏しいため施設の損壊および犠牲者などの被害が生じにくい地域である.しかしながら、活 発な土砂生産に伴うダム施設の貯水容量の減少、山岳交通路の通行止めなどの被害が懸念され る.また、中国山地は山裾側の地域で高い発生確率が集中する.中国山地の山裾は多数の都市 域が分布し、短い周期で土砂災害の被害の懸念される危険地域である.この地域に含まれる広

島市は犠牲者の認められた多数の災害履歴をもつ. 平成11年6月29日から7月3日に土砂災害 防止法施行の契機になった梅雨前線の豪雨による災害がよく知られるが、昭和 20 年、昭和 26 年、昭 和42年,昭和57年,平成3年,平成5年に人的被害を含む土砂災害の発生が記録されている.なお広 島県は土砂災害危険箇所の多い有数の都道府県である.再現期間 30 年の結果では,再現期間 10 年の発 生確率 90%の地域がやや山裾側に拡大する. そのため、社会基盤への危険性が増す. また、再現期 間10年で低い発生確率だった山岳地域は再現期間30年に高い発生確率を示す.この地域は広 がりをもたずに点在する.図-9の再現期間 30年の分布に示すとおり、北海道の夕張山地、出羽山 地北部域の森吉山周辺、北上山地西麓、阿武隈山地西麓、比良山地から丹波高地、九州山地といった地 域は,発生確率が50%以上上昇した地域である.再現期間100年の結果では,多くの山地が高 発生確率に変化する.発生確率上昇より土砂災害の予測される市街地,流域を図-9のa)から h)に示す.a)の盛岡, 遠野,b)の本荘,湯沢,c)の桐生,足利,e)の尾鷲,熊野,h)の大田の市 街地は土砂災害が懸念される. また, d)の九頭竜川上流域, f)の吉野川上流域, g)の緑川流域 の生産土砂増加が予測される、更に、仙台市に代表される丘陵を多く含む全国各地の都市にも発生 確率上昇地点が認められる.つまり、再現期間100年の土砂災害が経済活動に与える影響が増すことを 示している. 被害の履歴がなくとも山地に接する市街地には斜面崩壊の監視や避難体制といった危機管 理が必要である.

浅草岳から魚沼丘陵の災害発生地点の再現期間100年の発生確率を平均化すると85%である. 逆に、この地域の災害発生しない地域について、発生確率を平均化すると発生確率26%である. この結果から、災害発生した地域の発生確率が高くなっており、発生確率の有効性が定性的に 示された.



図-8 各地質のロジスティック曲線(解像度 1km)



図-9 日本列島の再現期間に対する土砂災害発生確率分布

10. おわりに

ここまでの計算では、降雨確率で適応額費用や斜面災害リスクを論じている. 将来の気候変動による 確率が GCM で与えられれば、将来の適応費用について論じることができる. 図-10 は RCM20 を用い た将来気候の日本の斜面災害展望である. これは A2 シナリオによる確率降雨の変化を日本全域で求め、 平均斜面発生確率と被害額を求めたものである. 被害額は道路被害のみの計算になっている. こうした 例は、温度上昇や年次に対する適応策の費用をみることが容易にできる. また、研究費の報告書として 求められている形である. しかし、問題点も多い. GCM の結果はおおよそ信頼できるが、将来予測に ついては不確実性が大きいこと、特に社会情勢や政策、技術革新に作用されるものが多いため、これら を展望することは不可能に近い. 用意されたシナリオも各国の不確実性に左右される. アンサンブル平 均の結果を指標とすれば適応策の考え方は容易になるが、将来の投資と同意の適応策は、ギャンブルの 様相を呈する. 今回示したような GCM を使った適応策研究を進めるとともに、どのように適応策を採 用するか考察する研究も必要である.



図-10 RCM20ver2.0 のA2 シナリオによる全日本斜面災害の将来展望

参考文献

牛山素行, 寶馨: AMeDAS データによる暖候期降水量と最大1時間・日降水量の関係, 水文・水資源学会誌, Vol. 13, No. 4, pp. 368-374, 2004.

風間聡,長尾昌朋,武藤裕則,多田毅:土地利用を考慮した氾濫水理解析と予測,平成16年度河川懇談 会共同研究資料,117pp,2005.

国土交通省河川局:治水経済調査マニュアル(案),91pp,2005.

農林省農林経済局統計調查部:平成14年版作物統計, 2002.

東北地方土木地質図編集委員会: 東北地方土木地質図解説書, 1988.

吉松弘行:山腹崩壊の予測式について,新砂防,102, pp. 1-9, 1977.

山岸宏光,アヤレウルルセゲド,大谷政敬,加藤晃司:土砂災害の調査法とデータベース化に関する研 究-2004 年 7.13 新潟中越地域豪雨による同時多発斜面災害-,研究助成事業報告書,日本建設情報総合 センター,2004.

川越清樹,風間聡,沢本正樹:数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築,自然災害科学,2008.(印刷中)

佐藤歩,川越清樹,風間聡,沢本正樹:降雨極値データを利用した気候変動に伴う全国浸水被害額評価,水工学論文集,第52巻, pp.433-438, 2008.