Ⅲ 気候変動の影響に適応した国土保全方策の検討

1. 国土の脆弱性に関する俯瞰的評価の検討

1-1 長期沿岸防災計画のための地域タイプ分けと特性分析

将来、気候変動に伴い外力は増大、人口は減少に転じるという異なる局面を迎える。この観点から 地球温暖化による自然条件の変化と同時に変異する社会状況の変化を把握し、事業の選択化・多様化 により海岸保全の方向性を決定することが不可欠である。

本研究では、地域特性の変動を考慮した長期沿岸防災計画立案の第一歩として、わが国沿岸の社会 特性分布を分析・整理することを目的とした。具体的には既往の国土数値情報の活用を図り、沿岸地 域の施策方針の適合性による分類を実施した。

防災面の経験として、東北地方太平洋沖地震津波による被害や菜生海岸の海岸災害の教訓より海岸 保全施設の背後であっても十分安全となる標高までの施策における配慮が必要であること、阪神大震 災やハリケーンカトリーナの経験として災害により地域の機能が損傷するとその回復は厳しいこと、 地域ネットワークの再構築(特にコミュニティ)には長期を要すること等を考慮して影響範囲を設定 することが肝要と考えられる。しかしながら、この点については社会学モデルを導入する必要がある と考えられるため、本試算では内陸の範囲を広めに設定するにとどめた。ここで、標高毎に存在して いる人口の分布を把握しておく必要がある。人口データと標高データのオーバーレイにより各標高の 人口と年変化を示したのが図-III.1.1.1である.この図からも1m以下の人口は全体に比して少なく、 大都市圏のゼロメートル地帯とその周辺とが半数以上と考えられる。

地域特性の分析は、①人口増減、②人口密度、③災害弱者比率、④地形的危険度、⑤交通エネルギ



図-Ⅲ.1.1.1 我が国の人口の標高別分布

ー、⑥浄水・し尿処理施設の6つの指標を5段階に評価し、海岸法でいう「防護」と「環境」の観点 から、防護のためのハード整備の必要性を分類することを意図し、表-Ⅲ.1.1.1に示す a)~e)の5つ の沿岸タイプに分類した。各沿岸タイプの分類と着目した指標・その閾値は表-Ⅲ.1.1.2 に示すとお りである。全国の沿岸についてタイプ分類した結果を示したものが図-Ⅲ.1.1.2 である。図から、直 轄海岸を抱える沿岸はほとんどが防護必須型及び防護優先型に分類されており、大きな違和感はない ものになっている。一方で、人口増減等については直近のトレンドで分類しており、温暖化の影響も 標高 10m 以上まで影響があるはずとの前提で整理されており、今後改良の余地があるかもしれない。

今後の政策への活用としては、図-Ⅲ.1.1.2 のような分類結果を沿岸住民や国民と情報共有し温暖 化適応策のハード整備重点化地域設定、そこから漏れた地域への早期ソフト対策充実の方向性が良い かについて議論していくことが考えられる。

沿岸タイプ	地域特性とハード整備の必要性
a) 防護必須型	人口密度:高い , 人口 :増加傾向 社会資本:整備が進んでいる <ハードによる防護が必要不可欠>
b) 防護優先型	人口密度:高い , 人口 :増加傾向 社会資本:整備中もしくはほどほど <自然環境への配慮余地あり>
c) 防護・自然 バランス型	人口密度:高い , 人口:減少傾向 または, 人口密度:低い , 人口:増加傾向 <防護と環境の両立 (バランス)が重要. >
d) 自然適用型	人口密度:低い , 人口 :減少傾向 災害弱者比率:大 <ハード整備よりも環境を重視し,被害軽減を目指した防護施設と,徹 底したソフト対策による減災を進める.>
e) 自然回帰型	人口密度:低い , 人口 :減少傾向 <自然海岸の価値の創造とソフト対策による自己防衛のための情報強 化を進める>

表-Ⅲ.1.1.1 分類した沿岸タイプの性質の定義

表-Ⅲ.1.1.2 沿岸タイプの区分基準

沿岸タイプ	増減	密度	弱者	危険	交通 エネ	し尿
a) 防護必須型	4 以上	4 以上		_	4 以上	4 以上
b) 防護優先型	4 以上	4 以上	—	_	3以下	3以下
c) 防護・自然	_	_	_	_	_	_
バランス型						
d) 自然適用型	2以下	2以下	4以上	4 以上	_	_
e) 自然回帰型	2以下	2以下	3以下	3以下	—	_



図-Ⅲ.1.1.2 沿岸区分ごとのタイプ分け

1-2 気候変動に伴う降雨変化が土石流や斜面崩壊発生に及ぼす影響の検討

a) 概要

砂防研究室は、(社)砂防学会研究開発部会に設置された「気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関 する研究委員会」に参画し、気候変化と土砂災害の発生に関する基本情報の整理を行った。

委員会では、素因分科会、誘因分科会、短期現象分科会、長期現象分科会、極端現象分科会、雪崩 分科会の6つの分科会を設置した。気候変動が土砂災害の素因や誘因に与える影響を検討することは、 将来の土砂災害対策を検討する上での前提となる。降雨強度の大きな局地的豪雨や積算雨量の大きい 豪雨が今後多発することが懸念されている。その豪雨によって短期間に土砂移動への影響が現れるも のを短期現象、降雨規模全体が大きくなることで長時間を要して顕在化する支障がより激しくなるも のを長期現象と称し、それにより土砂災害の発現形態がどのように影響を受けるのかを検討した。

b)素因の整理

土砂生産や斜面崩壊の素因としての地盤条件は物理的風化と化学的風化が関与しているので、気候 変化による熱環境の変化、植生の変化、地下水の動態変化が素因にどのような影響を与えるのか考え なければならない。

熱環境としては、気温、日射量、日較差などが考えられ、これらは物理的風化の中でも凍結融解作 用による風化に大きな影響を与える。直感的には、気温が上昇すれば凍結融解の頻度は少なくなり、 凍結深度も小さくなると考えられるが、積雪が少なくなると積雪による断熱効果が減少し、凍結融解 がむしろ活性化される可能性もある。

地下水の動態は降雨条件が変化すれば何らかの影響を受ける。少降雨状態が長く続けば常時の地下 水位が下がることが考えられ、これは化学的風化に影響を与える。また、豪雨前の地下水位が下がっ た状態になれば、崩壊に必要な降雨量は多くなると考えられ、崩壊発生条件も変化することが予想さ れる。

気候変化の影響を受ける地被条件として森林植生の変化が挙げられるが、想定される気温変化、降 雨条件の変化によって森林が荒廃するほどの影響を受けるかどうかはわからない。また、気温変化に よって樹種の変化がもたらされ、この変換の過渡期に森林が荒れた状態になることも考えられるが、 このことも明らかになっているわけではない。さらに、地球温暖化緩和策としての森林管理のあり方 が変化すれば、地被条件は人為的に変化させ得ると考えられる。

c) 誘因の整理

土砂災害の誘因となる気象現象については、100mm/h を超えるような局地的な集中豪雨(たとえば、 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨) や、一連の降雨量が 1,000mm を超えるような台風による大雨(た とえば、平成 17 年 8 月台風 14 号)等、極端な降水現象の増加が指摘されている。全国的な変化傾向 に着目すると、年降水量に明確な変化傾向は認められないが(図-Ⅲ.1.2.1)、極端な大雨は明らかに 増加していることがわかる(図-Ⅲ.1.2.2)。



図-Ⅲ.1.2.1 日本における年降水量の経年変化(1898~2008)

出典:気候変動監視レポート2009 (気象庁)





d) 降雨量の変化が及ぼす土石流ピーク流量への影響について

1980~1999年の、全国のアメダス観測所における降雨量の観測結果を整理すると、全体の約7割の 地点で年最大時間雨量が増加傾向を示した。このことから、土石流による土砂災害リスクは今後大き くなることが予想された。そこで、土石流のピーク流量が全国でどの程度高まるのかを推定した。図 -III.1.2.3は全国の市町村毎に推定した、2080~2099年の100年超過確率規模の24時間雨量である。 この期間の年最大24時間雨量は1980~1999年までの各年で観測された年最大24時間雨量に、IPCC 第4次評価報告書で報告された年9%の増加率分を上乗せした値とした。図-III.1.2.4は、100年超過 確率規模の24時間雨量から推定した土石流ピーク流量の分布である。土石流ピーク流量の算定は砂 防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説に従った。また、推定に用いた土石流危険渓流のデ ータは平成11年度に実施した調査に基づいている。1980~1999年の期間と2080~2099年の期間を比 較すると、全土石流危険渓流の6%程度で土石流ピーク流量が増加する。土石流ピーク流量推定に用い た流域内の移動可能土砂量が降雨による運搬可能土砂量を上回る渓流が多くなかったため、土石流ピ ーク流量が増加する渓流はあまり多くならない結果となっている。



図-Ⅲ.1.2.4. 土石流ピーク流量の変化

e) 降雨量の変化が及ぼす斜面崩壊への影響について

平松(1991、愛媛大学学位論文)の表層崩壊発生予測モデルを用いて、降雨量の変化が斜面崩壊発 生に与える影響を検討した。対象区域は、平成15年7月20日に豪雨により多数の斜面崩壊が発生し た熊本県水俣市宝川内地区および深川新屋敷地区(約25km²)である。対象区域を50mメッシュに分 割し、実際の斜面崩壊の状況を再現するように土質強度などのパラメータをフィッテイングした上で、 宝川内地区のアメダス実績降雨波形(最大時間雨量90mm、累積雨量(12時間)342mm)の降雨強度を 1.1倍および1.2倍に増大させた場合(図-III.1.2.5)の崩壊発生状況を計算した。

崩壊メッシュ数の経時変化を図-Ⅲ.1.2.6 に示す。実績降雨波形を与えた場合では、計算時間(12 時間)内に崩壊する(安全率<1.0)と判定されたメッシュ数は322 であったが、降雨強度を1.1 倍お よび1.2 倍に引き伸ばすと、崩壊メッシュ数はそれぞれその1.44 倍、1.77 倍に増加した。

対象区域内のメッシュにおける安全率の経時変化を図-III.1.2.5 に示す。このメッシュは、4:20 頃 に発生したと推定される土石流の発生域にあたっており、ほぼ同時刻にこのメッシュで崩壊が発生し たと考えられる。崩壊発生時刻(安全率が1.0を下回る時刻)は、実績降雨波形を与えて計算した場 合は4:40 であったが、降雨強度を1.1 倍および1.2 倍にすると、崩壊発生時刻はそれぞれ20分、30 分早まることがわかった。

このように、降雨強度が大きくなると崩壊斜面数は急増し、甚大な災害が発生することが予想される。さらに、崩壊発生時刻も早くなることから、警戒・避難行動はこれまで以上に迅速な対応が必要になる。土砂災害警戒情報等の防災情報により確実・迅速な運用を行う必要があると考えられる。



図-Ⅲ.1.2.5 与えた降雨波形および安全率の経時変化(例)

f)降雨量増加に伴うがけ崩れの発生頻度(発生数)と発生規模(崩壊土砂量)の変化

砂防研究室では、がけ崩れの発生した斜面の位置や誘因となった降雨の状況等に関する情報を昭和 47年から収集しており、平成19年までに約19,000件のデータを蓄積している。この情報を用いて、 がけ崩れ発生と降雨量との関係を分析し、降水量の増加に伴うがけ崩れの発生頻度(発生数)と発生 規模(崩壊土砂量)の変化を評価した。

f-1) 降雨量の変化とがけ崩れ発生頻度の関係

T年間でk個のがけ崩れデータがある場合、雨量Rの任意の値をrとし、k個のデータのうち雨量がr未満の割合を $\phi(r)$ とすると、雨量R > rとなる斜面崩壊が発生する年平均回数nh(r)は、

$$nh(r) = \phi(r)\frac{k}{T}$$
 (III. 1. 2. 1)

と表現できる。こうして得られた連続雨量と年平均災害発生件数との関係を図-Ⅲ.1.2.7 に示す。連 続雨量が 400mm 以下の場合には、雨量の増分に伴って災害の発生数はほぼ直線的に増加するが、連続 雨量が 400~500mm を超える付近からその増加幅は緩やかになる。連続雨量が 400~500mm に達するまで 増加の部分は、比較的短時間で表層土が飽和して崩壊に至り、連続雨量が 400~500mm に達するまで に崩壊すべき斜面が順次崩壊していく状況を示していると考えられる。連続雨量が 400~500mm を超 える付近から増加幅が緩やかになるのは、表層崩壊として崩壊し得る斜面が概ね崩壊してしまった一 方で、それ以上の降雨量がなければ崩壊には至らない条件の斜面(たとえば、勾配の緩い斜面)がこ こにきて崩壊を始めるが、崩壊に至るにはもともと多量の降雨を必要とすることから崩壊斜面数の増 加量が鈍化するためと考えられる。図-Ⅲ.1.2.8 は、斜面角度別に崩壊に至った時の連続雨量頻度を 示したものである。いずれの斜面角度にあっても崩壊発生時点の連続雨量にはバラツキがみられるが、 斜面角度と連続雨量の平均値をとってその関係をみると、表-Ⅲ.1.2.1 に示すように斜面角度が小さ いほうが大きい場合よりも崩壊には多くの降雨量が必要である傾向がうかがえる。



図-Ⅲ.1.2.7連続雨量の変化とがけ崩れ災害発生数の関係



図-皿.1.2.8 斜面角度別の連続雨量頻度

角度	平均角度	個数	平均雨量	中央値
5-20	17.527	73	202.873	182.00
20-30	29.089	900	203.576	181.50
30-40	37.540	2504	193.859	164.00
40-50	46.734	3131	182.053	155.00
50-60	58.188	1837	185.969	154.00
60-70	68.218	1077	168.602	139.00
70-80	77.464	489	166.876	131.30
80-90	87.042	95	155.805	126.00
平均	48.911	_	182.452	156.00

表-Ⅲ.1.2.1 斜面角度別の連続雨量(平均値)

図-Ⅲ.1.2.9 は、がけ崩れ発生時点の連続雨量の平均値(187mm:ここでは、地質区分できた崩壊 地のデータのみを用いたため、表-Ⅲ.1.2.1に示した平均雨量とは数値が異なっている)を基準とし、 連続雨量が 5%~30%増加した時のがけ崩れの発生件数増分を示したものである。この結果によると、 連続雨量が5%増加でがけ崩れ発生数は5%程度増加し、同様に連続雨量が10%、20%増加で発生数はそ れぞれ9%、18%程度増加することになると予測できる。



図-Ⅲ.1.2.9 連続雨量の増分とがけ崩れ災害の増分

f-2) 降雨量増加に伴うがけ崩れ発生規模(崩壊土砂量)の変化

図-Ⅲ.1.2.10 は崩壊発生までの連続雨量と 90%、95%カバー崩壊土砂量の関係を、図-Ⅲ.1.2.11 は 崩壊発生までの最大時間雨量と 90%、95%カバー崩壊土砂量の関係を示したものである。どちらも、雨 量が増加した状態では崩壊土砂量が大きいものまで発生する可能性が高まる傾向を示している。



砂量との関係



f-3) 地域別のがけ崩れ発生件数の増加予測

社会資本整備審議会の答申においては、全国を11の地域に区分した上で、共生 GCM20による中位 のシナリオに基づく外力(降水量)の変化量についての推定が試みられている。それによると、100 年後の年最大日降水量は現在に比べて概ね1.1~1.2 倍となり、北海道、東北など地域によっては1.3 倍、最大で1.5 倍となる (A1B シナリオ)。100 年後における地域別の降水量の変化については、GCM20 で予測された年最大日降水量の増分と連続雨量の増分が等しいと仮定し、GCM20 で予測された年最大 日降水量の変化率の中位値を用いることとした。

全国 11 の地域における降雨変化予測と、連続雨量の増分とがけ崩れ発生件数の増分の関係(図-Ⅲ.1.2.8)から予測されるがけ崩れの発生増分は、表-Ⅲ.1.2.2に示すとおりである。がけ崩れの発 生増分は、雨量増分に比例するような傾向を示し、最も雨量増分が低い中部地方でのがけ崩れ災害は 5.7%の増加、雨量増分が多い北海道で 20.6%、東北地方で 19.1%、それぞれがけ崩れが増加すると予 測された。全国的には、概ね 6%~20%程度の増加になると予測された。

NC	. 地域名	雨量増分	がけ崩れ災害の増分
1	北海道	1.24	1.206
2	東北	1.22	1.191
3	関東	1.11	1.101
4	北陸	1.14	1.127
(5	中部	1.06	1.057
6	近畿	1.07	1.066
0	紀伊南部	1.13	1.118
(8	山陰	1.11	1.101
9	瀬戸内	1.10	1.092
1	四国南部	1.11	1.101
1	九州	1.07	1.066

表-Ⅲ.1.2.2 降雨変化とがけ崩れ発生増分の関係

e)まとめと課題

気候変化により土石流、斜面崩壊の発生に関わる要因がどのように変化・作用するのかは複雑であ り、必ずしも明確に議論できるレベルにまでは至っていない。しかしながら降水量の増加は、斜面崩 壊や土砂移動現象に対して、その激しさを増す方向に作用するであろうことは想像されるため、一定 の降雨増加を仮定した場合の土砂移動現象の変化を想定した。

24時間雨量が9%増加した場合の土石流ピーク流量の増加については、砂防基本計画策定指針(土 石流・流木対策指針)の手法に従った場合には、全土石流危険渓流のうち6%程度の渓流での増加に 留まった。これは、移動可能土砂量によって土石流規模が決まっている渓流が多いためであり、本手 法が対象としている「渓床不安定土砂再移動型」の土石流に関しては、発生頻度が増加したとしても、 ピーク流量や氾濫範囲が増大する影響は限定的であるという結果である。

一方で、斜面崩壊については、実績降雨強度を1.1倍、1.2倍に引き伸ばしたシミュレーション検 討事例においては、崩壊メッシュ数がそれぞれ1.44倍、1.77倍となり、崩壊発生時刻も数十分早ま る結果であった。また、過去のがけ崩れデータ・ベースを整理すると、崩壊発生までの連続雨量が400 ~500mm 程度までは降水量の増加に伴って年間がけ崩れ発生数も一様に増加していくことが分かる。

また、斜面角度毎の崩壊発生時点の連続雨量の分布からは、連続雨量が増加することで、緩勾配斜面 での崩壊発生の比重が高まることも示唆された。さらに、連続雨量、最大時間雨量の増加は、崩壊土 砂量の大きながけ崩れを引き起こす可能性が高くなるという結果も得られた。 これらの結果からは、降雨の規模が増加していった場合、土石流やがけ崩れの発生頻度が増大する ことは当然として、対象とすべき土石流の形態が「渓床不安定土砂再移動型」だけではなく、「斜面 崩壊型」のものも考慮すべきこと、より緩勾配の斜面での崩壊発生や崩壊土砂量が増大する可能性が 高まることにも留意しなければいけなくなること、さらに災害発生時間の早期化など、防災計画のあ り方も変化させなければならないことが示唆された。

本章では、主に局地的な短時間豪雨の発生頻度が増加することによる土石流と斜面崩壊への影響に ついて言及したが、局地的な短時間豪雨によっては、さらにフラッシュフラッドも発生しやすくなる ことが想定される。フラッシュフラッドは多くの山地渓流で発生する可能性があり、広い範囲での精 度良い予測手法が求められる。局地的短時間豪雨の把握・予測手法とその活用方法の検討が今後の重 要な課題のひとつと考えられる。