

気候変動による日本の水資源の影響について

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者	風間, 聡
巻/号	312号
掲載ページ	p. 17-32
発行年月	2010年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



気候変動による日本の水資源の影響について ～環境省地球環境研究総合推進費 S-4 の成果について～

風 間 聡

目 次

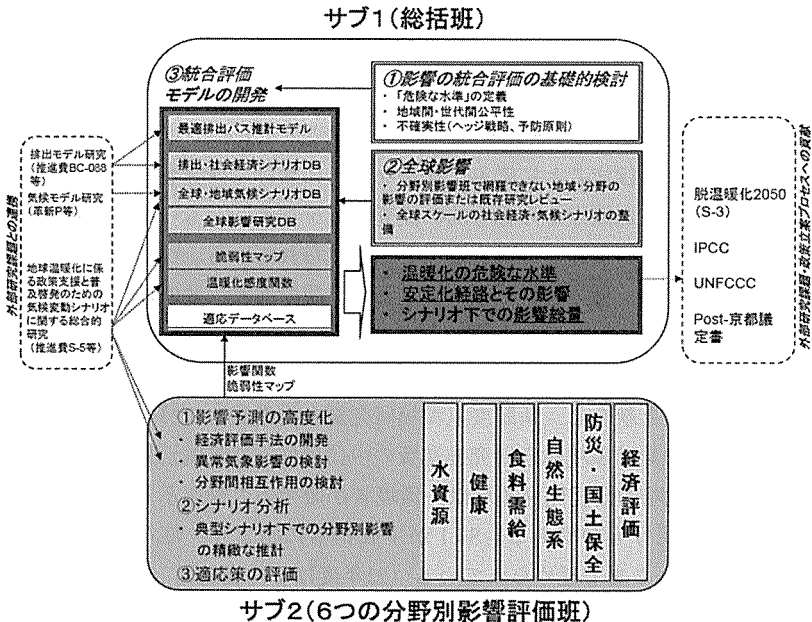
- I. 地球環境研究総合推進費 S-4 とは
- II. 気候変動による水資源の影響
- III. 気候変動による水災害
- IV. 適応策について

I. 地球環境研究総合推進費 S-4 とは

地球環境研究総合推進費とは、環境省が扱う競争的資金であり、その目的として、「地球環境研究総合推進費は、地球環境問題が人類の生存基盤に深刻かつ重大な影響を及ぼすことに鑑み、様々な分野における研究者の総力を結集して学際的、国際的な観点から総合的に調査研究を推進し、もって地球環境の保全に資することを目的とした研究資金」と述べられている。つまり、地球環境研究をトップダウン型で進める政策支援型研究費であり、政府間気候変動パネル（IPCC）や地球圏-生物圏国際協同研究計画（IGBP）等への日本の貢献が期待されている。なお、地球環境総合研究推進費は、平成22年度に環境研究・技術開発推進費と統合し、新制度（環境研究総合推進費）に移行する予定である。本年までの地球環境総合研究推進費の中には様々な目的別領域があるが、Sと呼ばれる戦略的研究開発領域は、環境省が研究の大枠を示し、これに沿った研究成果を問うものである。S-1が平成14年に始まり、毎年約1件の公募があり、現在S-7まで進められている（21年度は2件実施）。

その中でS-4は、平成17年度から平成21年度まで、茨城大学の三村信男教授をトップとして、課題名「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベ

ル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」の題目で実施している。このプロジェクトの目的として、「わが国及びアジア・太平洋地域を対象にして、分野別の影響を定量的に把握し、影響を緩和するための適応策を検討する。さらに、これらの研究成果を統合した排出・影響予測総合評価モデルを開発することによって、温暖化影響の危険な水準と温室効果ガスの安定化排出経路に関する研究を実施する。それによって、分野別の温暖化影響に関して確固たる知見が集積されるとともに、統合されたわが国への影響と安定化濃度との関係を示し、温暖化影響の視点から達成すべき気候安定化の水準を提案する」と述べられており、中長期の気候政策（緩和策）の策定に貢献することが第一義的に考えられている。S-4は、水資源、健康、食糧、森林、災害ならびに経済の班によって、それぞれの影響と適応策を考察すると同時に、総括班によって温室効果ガス濃度と各班の影響の関係をとりまとめている（図－1）。平成20年5月に中間成果発表として、「地球温暖化日本への影響～最新の科学的知見～」（環境省、2008a）が記者発表された。S-4の成果は、主に個別



図－1 S-4 研究構成概念図

の各影響評価が経済評価と一緒に示され、続いて環境省から発表された地球温暖化影響・適応研究委員会報告書「気候変動への賢い適応」（環境省，2008b）にも大きく貢献した。また、内閣官房の「地球温暖化問題に関する懇談会中期目標検討委員会（第7回）」に対応するために、平成21年5月には、「地球温暖化『日本への影響』—長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価—」（環境省，2009）をまとめて発表した。このような研究成果は、環境省の意向が強く反映され、様々な政策資料として利用される。ここで注意することは、Sが環境省の望む結果を出すものではなく、行政の知りたい情報を提供する研究であることである。環境省主導の研究発表は、マスコミに大きく取り上げられ、多方面から各担当研究者に、問い合わせが届き、気候変動の関心の高さを実感することとなった。

この後、大型の気候変動研究プロジェクトが開始され、S-5「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」や文部科学省の21世紀気候変動予測革新プログラムなどが大きな成果をあげている。S-4もこれらの研究グループと情報を交換しながら気候変動研究を進めている。

II. 気候変動による水資源の影響

1. 水資源全般の影響

S-4の中の水資源研究班は、5つの機関で構成されており、水資源全般を東北大学大学院工学研究科、農業用水を農村工学研究所、都市用水を東京大学都市工学専攻、政策オプションを国土総合政策研究所、洪水被害を東京大学生産技術研究所が担当した。しかし、特に研究領域の垣根を作ることなく、情報交換をしつつ水資源全般を様々な視点から影響の評価をしている。水資源の影響範囲は、直接間接を含めると広大かつ深遠であり、S-4水資源グループの中の5つの機関のみで全てをカバーできるわけではない。しかし、可能な限り多くの影響について定量的に評価できるよう試みた。沖らの研究グループは、全球の水資源について評価し、世界の各地域の影響について発表した。この成果は大変大きなものであり、Science誌に掲載され（Oki and Kanae, 2006）、AR4（IPCC第4次報告書）に引用されるなど大きな反響を得た。他にも全球にお

ける沿岸域の地下水への塩水浸入の評価や日本国内の水文状況をリアルタイムで表示する Japan watch, 日本全国の水需給表示などの成果が発表された。これらの他にも, ため池崩壊リスク(農村工学研究所)や河川水温とアンモニアの関係(東大都市工), 将来の利水量の変化(国総研)などの成果をあげた。S-4ではリスクの地図化と経済評価が大きな目標とされており, 日本全域を俯瞰的に眺めたデータを総括班に提供することが一つの目的とされた。そのため上記のような学術的に価値の高い研究成果の場合でも, 総括班の求める経済損失の推定や日本全国の被害評価に寄与しないものについては, 中間発表や報告書などで構成し省かれた。そのため, 成果報告会などではこれらの成果が割愛され, S-4の成果の一部しか流布されていないのは残念なことである。

以降では, 著者が関連した水資源の研究成果を中心に述べることにする。

2. 積雪水資源の評価

農業用水に関しては, 利水と渇水に関して検討されたが, 減反と人口減から大きな影響の出にくいことが把握された。しかし, 温暖化によって春季融雪量の減少による農業用水不足が報告された(那須ら, 2007)。東北大グループは長く日本全域の積雪水資源量を求めるモデルを開発しており, この利用によってこの影響を評価した。過去の多雪と少雪の年の積雪水当量の空間分布を示し, その差を見ることから積雪水資源の脆弱地域を把握した。差が大きいほど, 雪の多少により水資源の影響が大きく出る地域である。図-2は, その差をクラスで表したものであるが, 1000mm以上の積雪水資源量差は日本海側に広く存在している。しかし, 大きな差が水資源の脆弱性を直接的には示さない。越後山脈は, 大きな減少量を示すが, 少雪年も十分な水資源を供給できる。そこで, 日本海側, 太平洋側, 内陸部の代表的な積雪流域として, 信濃川, 北上川, 最上川を選び, 春季の灌漑用水に占める積雪量を調べた(表-1)。全ての流域において, 多雪年の作付面積当たりの積雪水量は少雪年の場合の倍以上の値を示した。北上川は太平洋側にあり積雪水量総計の値が低いいため, 多雪年においても作付面積当たりの積雪水量は小さな値となっている。水稻の一般灌漑水普通栽培において, 1灌漑期間中に水田に必要な用水量は 1m^2 あたり 1.5m^3 である。これと作付面積当たりの積雪水量との比較を行う。信濃川では少雪・多雪年ともに積雪によって十分な農業用水を得られることが分かる。最上川では少雪年において積雪のみから農業用水を確保することは困



表一1 積雪水量

		積雪水量 (m^3)	作付面積 (km^2)	作付面積当たりの 積雪水量 (m^3/m^2)	1 灌漑期間中に水田に 必要な用水量との比
最上川	少雪	8.83×10^8	717 (山形県)	1.23	0.82
	多雪	32.0×10^8		4.46	2.97
北上川	少雪	0.96×10^8	795 (宮城県)	0.12	0.08
	多雪	4.05×10^8		0.51	0.33
信濃川	少雪	32.1×10^8	1210 (新潟県)	2.65	1.76
	多雪	78.5×10^8		6.49	4.32

難であることが分かる。北上川では少雪・多雪年ともに農業用水に用いるほど十分な量の水を積雪から得ていない。しかし一方で北上川は、積雪水資源の農業用水への貢献度が大きいと考えることもできる。現在、太平洋側の積雪のある流域は、将来、温暖化により融雪の量・時期が変化することで、代掻きの時

期に十分な農業用水が得られないといった問題が発生する可能性がある。雪は白いダムというが、ダム相当の貯水量を増やす適応策が今後望まれる。

3. 河川水質の変化

気候変動は、水量の変化だけでなく水質の悪化を引き起こす。豪雨に伴う斜面からの土砂と市街地からの濁質成分の流出は河川水質の悪化を助長する。また、気候変動による豪雨の頻度増加と無降雨期間の長期化は、流域内の濁質成分の降下堆積を促し、少降雨でも過剰な水質悪化を生む可能性をもつ。日本列島の主要流域において気候変動に伴う水質汚濁評価を試み、豪雨による影響と無降雨長期化への影響を示した(川越ら, 2008)。

まず、過去の豪雨と無降雨期間の頻度解析を行い、それぞれの再現期間を求める。気候変動による豪雨頻度の増加に対する流域毎の濁質負荷量と河川流量の関係式($L-Q$ 式)を用い評価する。また、無降雨期間の長期化に対し、土地利用パラメータと無降雨日数等を考慮した濁質堆積による負荷量推定式を用い評価する。ここでは、水質成分としてBODとSSを評価した。

$L-Q$ 式による各流域の河川流量と濁質負荷量の関係から、信濃川、石狩川は流量増加に従いSSとBODともに著しく増加し、淀川は流量増加に伴いBODが増加するものの、SSの増加が乏しいことが理解された。なお、流量増加と無関係に濁質が異常増加した現象も明らかにされた。異常増加前の流量と降水状況を検証すると、無降雨期間が連続した流量の少ない状態が認められた。この結果は、無降雨および流量の少ない期間の流域内における濁質成分の堆積と、その後の降雨により堆積した成分が流出したと考えられる。

荒川流域を対象に濁質成分堆積式を用いて無降雨期間の影響をシミュレーションしたところ高い再現性が認められた。このモデルを用いて、無降雨期間の長期化による濁質変化の解析を代表的な1級河川流域について行った。図-3に、再現期間30年の無降雨日数とSS堆積の平年比の分布図を示す。列島全体に微量ながらも濁質堆積が増加すること、信濃川、天竜川、淀川は、比較的濁質堆積が多くなることが明らかにされた。また、必ずしも濁質堆積が無降雨の長期化に比例して増加していないことが示されている。

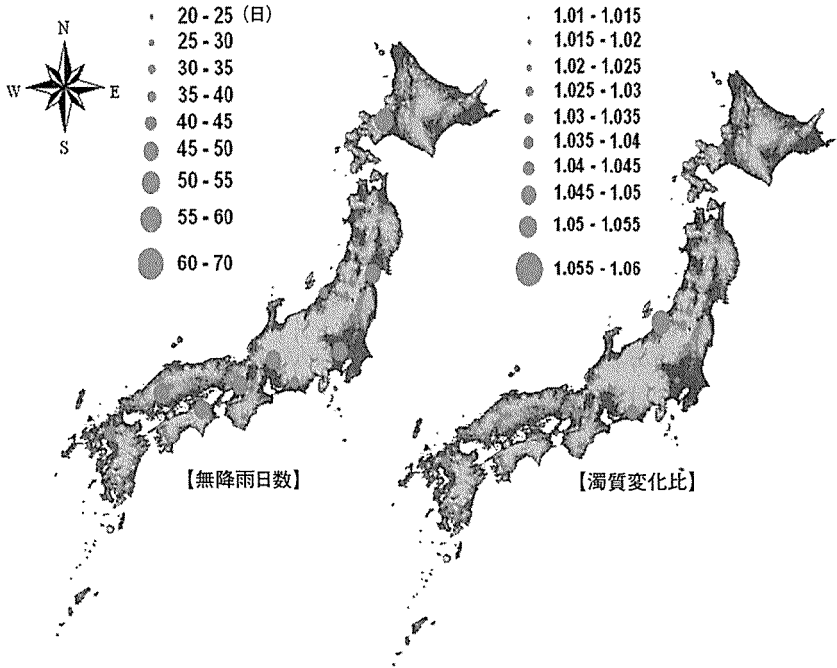


図-3 無降雨期間による濁質変化予測（再現期間30年）

Ⅲ. 気候変動による水災害

1. 水災害の変化

東京大学と国立環境研究所、地球フロンティアが2004年に発表した気候モデルにおいて、将来の降雨パターンは、熱帯型豪雨が増えると報告された(2004)。これはAR4/ IPCCでも温帯域でその傾向のあることが述べられている。つまり、現在想定されている豪雨より大きな豪雨の発生を意味する。ここで注意しなければいけないのは、こうした現象は確率的であり、明日に起こることではないことである。2004年の福井、新潟豪雨や2009年の北九州中国豪雨が気候変動との関連性を疑われているが、断定はできず、長い降雨トレンドを見なければ気候変動の影響をデータから読み取ることはできない。しかし、多

くの気候モデルによって豪雨の増加が示されており、その影響について評価する必要がある。豪雨がもたらす災害は、洪水氾濫や斜面崩壊、土石流、浸食、流木、汚染物質の拡散など様々な被害をもたらす。ここでは、S-4の成果のうち、特にその被害金額が大きいとされる洪水氾濫と斜面崩壊について報告する。

2. 将来の洪水氾濫

既設対策の効果を超過する河川流量の増大が予測されるため、事前に洪水に脆弱な地域および保全対象の重要な地域を抽出すること、気候変動に対する対策投資の配分を見積もることが必要になる。そのために、浸水被害における様々な算定項目に対して議論可能である経済学（浸水被害）と分布的な解析が可能である水理学（洪水氾濫）を組み合わせた洪水氾濫の被害評価モデルを作成する。このモデルを日本列島全土に適用し、浸水被害領域および被害額から洪水氾濫の被害の高まる地域の特定を試みた。また、時間変化による被害の推移を示した。

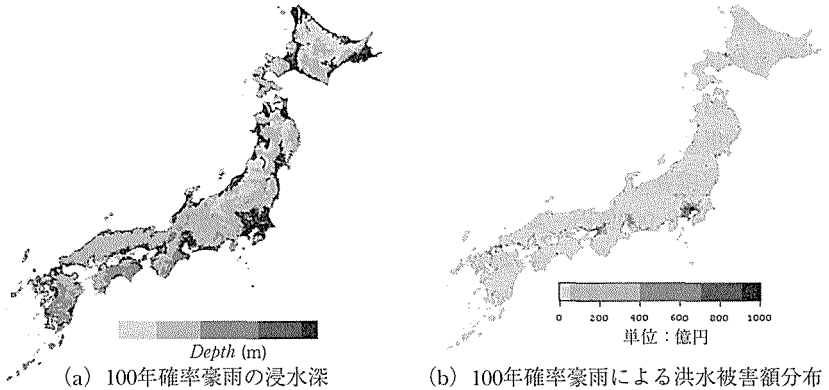
洪水氾濫の被害評価モデルに、解像度 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の数値地図情報を利用し、空間分布による気候変動による影響が評価された。水理モデルとして、氾濫流の伝播現象の再現性の高い二次元不定流モデルを用い、分布的に浸水領域を示した。このモデルには降雨と標高の数値地図データを用いる。経済学のモデルとして、国土交通省監修の治水経済評価マニュアルを参考に、グリッドセル毎の土地利用と浸水深の関係から被害額を推計した（Kazama et al., 2009）。被害額の算定に用いた土地利用は田、畑地、建物用地、ゴルフ場、幹線交通用地である。洪水氾濫の被害評価モデルに用いた降雨は再現期間毎の極値データである。再現期間に応じた降雨極値は1980年から2000年の降水データに基づいた値である。再現期間を5年、10年、30年、50年、100年と設定した。再現期間毎の降雨極値分布の作成手順は以下 a) から c) の通りである。

- a) 確率分布として GEV 分布、母数推定法として PWM 法を用い、AMeDAS 地点毎に24時間の再現極値を導出。
- b) 再現期間毎の降雨極値と AMeDAS 地点の平年値降雨量の関係を気候タイプ毎（最大降雨月の生じる季節からタイプを分類、春・夏、秋、冬の3タイプ）に定式化。
- c) 関係式にメッシュ気候値2000（気象庁発行）の平年値降水量を代入し、再

再現期間毎の降雨極値分布を作成。

図一4 (a) に再現期間100年の確率降雨に対する最大浸水深の分布を示す。低地一帯が浸水深約1mの領域になる。北海道、東北地方、関東地方、東海地方、近畿地方は低地面積が大きいので、浸水深約1mの領域が広範に認められる。特に関東平野の浸水面積は顕著である。一方、四国地方、中国地方、九州地方は、比較的浸水面積の狭い地域となる。

地形的な要因に規制された浸水の地域特徴以外に、土地利用毎の資産価値から被害額を求めた結果が図一4 (b) と表一2である。再現期間5年の浸水被害額約40兆円を基準にすると、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。なお、再現期間毎の降雨極値の増加率と比較すると、被害額が線形で増加する結果も明らか



図一4 洪水氾濫被害

表一2 再現期間毎の年平均被害期待額 (単位：億円)

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

にされた。

浸水被害を回避するための治水事業プロジェクトでは、リスクプレミアムを考慮して対策計画を決定する。例えば、50年に1回の確率の1,000万円の被害を許容する選択肢と、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20万円であるものの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る。この差異がリスクプレミアムとなる。リスクプレミアムを考慮する場合、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。再現期間毎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り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して利用できる。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。1級河川から小河川までの全国の平均治水整備率を50年とすると、100年確率の洪水が発生した場合の被害は、10,170億円(1兆円)となる。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、地域河川に対しては約4,000億円であるため合計で約1.2兆円となる(最近5カ年はほぼ同様の値)。この値を基準にすれば、本解析で算出した年平均被害期待額は約1年分の対策費用になることが明らかにされた。

3. 斜面崩壊の影響評価

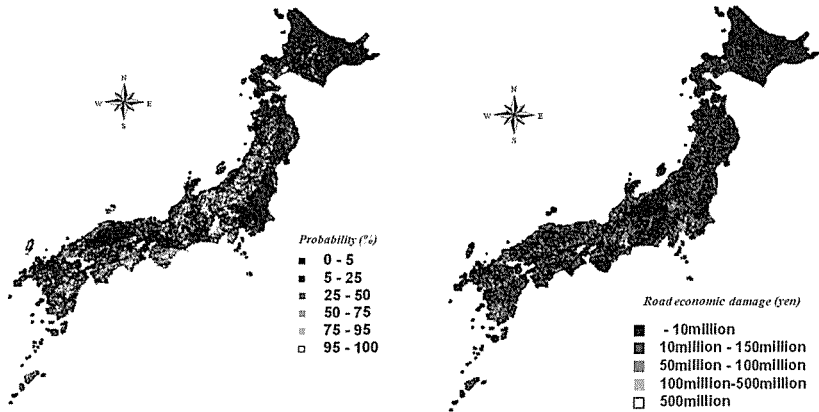
急峻かつ複雑な地形と脆弱な地質から形成される日本列島は斜面崩壊の生じやすい地域である。近年の豪雨の発生により人的被害や交通遮断を与えた斜面災害の事例が報告され、洪水氾濫と並び気候変動による豪雨への対策が必要とされている。そこで、斜面崩壊の発生確率モデルを開発し、日本列島全土の土砂崩壊発生確率を導く。山岳地にも存在する道路を対象に気候変動に伴う斜面災害の被害額予測を行う。グリッドセル毎の発生確率と被害額を分布情報で示すことにより、対策整備と危機管理体制の必要な地域の抽出が可能になる。

発生確率モデルと被害額予測モデルに解像度1km×1kmの数値地図情報を利用し、空間分布による気候変動による斜面崩壊の影響を評価する。発生確

率モデルに地質、地形、水文および災害実績の数値地図情報を利用した。地質情報について、崩積土および土砂化しやすい新第三系堆積岩、第三系堆積岩、花崗岩を用いた。地形データとして起伏量をモデルのパラメータとした。水文データとして動水勾配をモデルのパラメータとした。動水勾配は二次元不飽和浸透解析より導かれた。国土数値情報の表層土壌、斜面傾斜度データ、洪水氾濫計算と同様に再現期間毎の降雨極値による降雨データを浸透解析に用いた。再現期間毎の降雨を入力することにより斜面崩壊の発生確率を得ることができる。災害実績データは2004年7月12日から13日の新潟・福島豪雨に伴い生じた斜面崩壊の情報から作成された。発生確率モデルは多重ロジスティック回帰分析を用いて開発された。災害実績の有無を1と0の二項分布にし、ロジスティック曲線で連結する。このロジスティック曲線を起伏量と動水勾配の説明変数による重回帰式にすることで発生確率モデルを定式化した(川越ら, 2008)。地質毎に発生確率モデル式は作成されている。斜面崩壊による道路被害額の予測は、斜面崩壊の発生確率、セル内の道路延長と道路当たりの経済単価を乗じてリスクを算定した。経済単価を導くための交通条件として、平成16年交通センサスの調査結果に基づき都道府県毎の高速道路国道相当、一般道相当の平均交通量を用いた。経済単価を国土交通省監修による建設事業の費用便益分析マニュアルに準拠して求めた。

斜面崩壊発生確率として再現期間10年、30年、100年の結果を説明する。図一5(a)に再現期間10年の発生確率分布を示す。再現期間10年の結果では、出羽山脈、奥羽山脈の日本海側、糸魚川―静岡構造線および中央構造帯周辺の山岳地を中心に発生確率90%以上の地域が広く分布する。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、短い周期の被害が懸念される。再現期間30年の結果では、発生確率90%の地域がやや山裾側に拡大する。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、九州山地は発生確率50%以上増加した地域である。再現期間100年の結果では、多くの山地と市街地に近接した丘陵が高い発生確率に変化する。

斜面崩壊による土砂崩壊の被害予測として再現期間10年、30年、100年の道路被害結果を説明する。図一5(b)に再現期間10年の被害額分布を示す。再現期間10年では、日本列島全域を通じて被害額5億円以上の地域が帯状に網羅されている。特に神奈川県、埼玉県、群馬県の関東山地縁辺部、三重県海岸沿



(a) 10年確率豪雨の斜面崩壊発生確率 (b) 10年確率豪雨による斜面崩壊被害額分布
 図—5 斜面崩壊被害

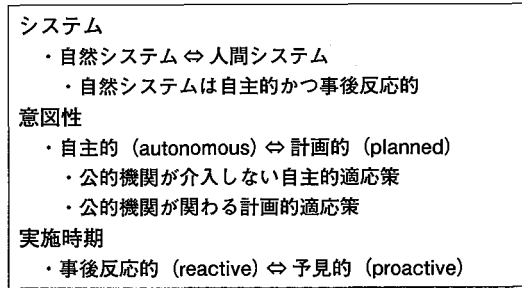
いの布引山地，高見山地，紀伊山地の山裾は，5億円以上の被害が集中する地域である。再現期間30年では，東北地方，中国地方で被害額5,000万円の地域が増加する。また，九州地方の被害額5,000万円から3億円の地域が5億円に上昇する。再現期間100年では，東北地方，中国地方の被害額5,000万円の地域が丘陵部まで広く拡大する。再現期間の変化により特に東北地方，中国地方の被害額増加が認められる。

IV. 適応策について

1. 適応策の考え方

S-4の目的は，大きく「適応策の検討」と「温室効果ガスの安定化濃度の経路策定」に分けることができるが，水資源分野において適応策の検討に深く踏み込むことができなかった。その理由について考察したい。

適応策研究の必要性は，2001年のTAR（第3次報告書）において強調された。日本でもこの時期に一部の研究が進んだが，適応策の定義や社会基盤整備に関するものがほとんどであり，本格的に適応策研究に踏み込んではいない。2006年COP12において，CDMプロジェクトからの収益の2%を原資とする主に途上国への適応基金の運営についての合意がなされ，適応策の知見を収集



図—6 TARによる適応策の分類（久保田（2006）の改変）

していくことがナイロビ作業計画として決定された。これを受けて、緩和策と適応策を同時に考える必要性が言及され、スターンレビューやAR4が出版される頃から日本の適応策研究が大きく進みだした。

久保田（2006）によれば、適応策は「温暖化しつつある気候に対して自然・社会システムを調節して対応することを目的とした施策をさし、抑制策を補完するもの」と位置付けている。ここでいう抑制策は炭酸ガス放出を抑制する緩和策に相当する。さらにTARから引用して、「適応とは、すでに発現しているもしくは予期される気候およびその影響に対してとられる生態学的、社会的、経済的システムの調整」と定義している。適応策について、システム、意図性、実現時期による分類を述べている。システムは自然システムと人間システムに、意図性は自主的なものと計画的なものに、実現時期は予見的なものと事後反応的なものに分けている（図—6）。また、久保田は適応策研究について目的による分類を行っており、「適応策によって、影響をどの程度軽減できるか？」と「ある地域・分野において最適な適応策は何か？」に区分した。前者は、気候シナリオを入力値として、適応策による影響軽減によって、緩和策の効果を求めるものとしている。後者は、地域の状況に応じた人文地理学的なアプローチが多く、貧困や防災などと一緒に研究されることが多い内容としている。

AR4についても適応についてはほぼ同様の定義が示されているが、「適応能力 (Adaptation Capacity)」が強調されている。これは「気候変動に対して、起こりうる被害を和らげる機会をうまく活用する、またはその結果に対処するためのシステムの調整能力のこと」と定義されている。これに関係したものとして、脆弱性があげられる。同じくAR4では「気候変動性や極端な現象を含む

悪影響によるシステムの影響の受けやすさ、または対処できない度合いのことである。システムがさらされる気候変化及び変動の特徴・大きさ・速度、システムの感度、適応能力の関数」と定義している。脆弱性を低くするには、適応能力と抵抗力 (Resilience) が必要である (環境省, 2006)。

気候変動に関する水問題は、これらの分類の全ての項目に当てはまること分かる。つまり、水は、自然システムと人間システムの両方に関わっており、ローカルな問題は自主的であり、リージョナルな問題は計画的である。治水や水資源計画は予見の実施であるが、2004年の豪雨災害は事後反動的であるといえる。水に関する研究については、様々な研究者が得意分野においてそれぞれの目的に従って研究をしている。

社会基盤整備を考える際、三村 (2006) によると、適応策は一般に、防護、順応、撤退の3つに区分できる。洪水を例にとると、防護は堤防やダムなどによって外力に抵抗することであり、順応は霞堤や遊水池、高床住居など浸水を受容することであり、撤退は危険地域の居住を放棄することである。水問題に関する政策オプションに関しては、過去の国土形成計画におおよその具体案がまとめられており、特に気候変動に限ることではない。社会基盤整備の中では、ハード対策とソフト対策のような区分が見られる。両対策を併用する前提はあるが、費用便益の視点から資産価値の高い地域にはハード対策を中心に、人口希薄地域にはソフト対策を中心にする論調が多く見られる。Ⅲ章の研究成果は、当初、地域に応じた適応策を判断するための資料として利用する予定であり、被害額の大きい地域にはそれに見合う適応策の投資がしかるべきと考えた。Ⅲ章のような被害分布に従うなら、被害額の大きい地域はハード対策が、被害額の小さい地域はソフト対策が中心となるが、この結論に住民の合意が取れるだろうか？

費用便益分析によって事業を決める手法は、一見合理的である。しかし、治水経済調査マニュアルが全ての便益を計上していない問題と、国土の在り方を合理的に決めるべきかという問題がある。ゲリラ豪雨が近年特に注視されているが、2008年に生じた兵庫県都賀川の事故は全国で取り上げられた。一方、2006年の山形県富並川の事件は小学生2人が死亡する悲惨な事故であったが、僻地であるがゆえに全国では注目されていない。詳細な条件は異なるが、この差はその後の対策にも表れている。このような対応は合理的かもしれないが、地元住民は納得しないだろう。水に関する気候変動問題はつまり防災問題と同

表一3 適応の分類

	防護	順応	撤退
生活	高度インフラ	環境配慮	コンパクトシティ
文化	保存	創造、復活	消失、変化、移動
予算	負担増	負担軽	??

じであり、工学的な視点から社会科学的な視点へと移行するのは自然な流れといえる。

2. これからの適応策研究

適応策の研究を適応するための研究とすれば、生活、文化、予算の視点が重要である(表一3)。また、これらを含むのは思想研究であるといえる。適応の思想研究は、社会生活のフレームワークを考えるものであり、環境哲学に似ているかもしれない。つまり、人間の生活様式を考えるものであり、緩和策と同様、安全水準を考える研究といえる。ある程度の災害や不便さを受容するか、それとも災害のない社会を目指すか、が命題である。また、適応によって文化も変化する。農業生産物は地元文化と深く関わっており、適応によって産地移動した場合、その文化は消滅する可能性がある。さらに、適応策の費用を誰が負担するか考える必要がある。水源税や環境税などはこの例であるが、住民の合意形成は簡単ではない。こうした社会科学的内容も重要な研究課題である。

適切な適応策を考えるには、コストは一因子でしかなく、様々な因子によって決定される。国策としては合理的な解が重要かもしれないが、住民には受け入れられない場合が多い。具体的な適応策を示すために従来の工学的な枠組みは力不足であり、多くの特に社会科学系の研究者との交流をしつつ、今後の研究の方向性を探る必要がある。

引用文献・サイト

環境省 (2008a) : <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=9770>

環境省 (2008b) : <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=9853>

環境省 (2009) : <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11176>

Oki, T. and Kanae, S. (2006): Global Hydrological Cycles and World Water Resources,

Science, Vol. 313. no. 5790, pp. 1068-1072.

那須貴之, 風間 聡, 沢本正樹 (2007): 地域別に見た気候変動に対する積雪水資源脆弱性, *水工学論文集*, 第51巻, pp. 361-366.

川越清樹, 菊地 裕, 風間 聡, 滝沢 智 (2008): 気候変動による主要河川の水質の影響, *環境工学研究論文集*, 第45巻, pp. 467-474.

東京大学, 国立環境研究所, 地球フロンティア (2004): <http://www.env.go.jp/earth/earthsimulator/index.html>.

So Kazama, Ayumu Sato, Seiki Kawagoe (2009): Evaluating the cost of flood damage based on changes in extreme rainfall in Japan, *Sustainability Science*, Vol. 4, Iss. 1, pp. 61-69.

川越清樹, 風間 聡, 沢本正樹 (2008): 数値地図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*, 27巻, 1号, pp. 69-83.

久保田泉 (2006): 小池勲夫編 地球温暖化はどこまで解明されたか, 丸善株式会社, pp. 202-209.

三村信男 (2006): 地球温暖化対策における適応策の位置づけと課題, *地球環境*, Vol. 11, No. 1, pp. 103-110.

(東北大学大学院工学研究科土木工学専攻水環境システム学研究室 准教授)

(原稿受付2009年12月21日, 原稿受理2009年1月19日)