

第7章

変化する災害への対応
～水害を主な事例として～

松田 磐余
(関東学院大学)

はじめに

日常生活が突然破壊される現象には、人為的なものから自然的なものまで様々ある。最も悲惨な状況は戦時下に現れるが、平時下でも事故や犯罪など人為に起因する事象がある一方で、自然現象に起因する災害も長く人類の課題である。ここでは、自然災害の中でも、水害を主な事例として取り上げ、我々の生活との関連から考えてみる。神奈川大学で開催された2020年度ならびに2021年度特別講演会での講演内容と、開発途上国における災害の事例を紹介し、社会と自然災害との関係を検討することから、自然との付き合い方や災害情報との接し方を考えてみたい。

1. 自然災害とは

1.1 自然災害の捉え方

世界を見ると毎日のように自然災害の発生が報じられている。死者数が4桁に達する災害も年数回あり、被害には様々な要因が絡んでいることが読み取れる。要因を考慮しながら被害を見ると、自然災害とは、「自然現象に伴う地震動や豪雨などが、それらに対して脆弱な地域に加えられて、そこで生活している人々・建設されている施設・展開されている土地利用などが直接的・間接的に被害を受け、日常的な社会・経済活動の継続が困難になる現象である」(松田、2013)、とすることが出来る。地域に inputs して災害を発生させる自然現象を誘因、その地域が持っている災害に対する脆弱性を素因と呼んでいる。

アジア、特に東南アジアはいろいろな誘因に襲われる。日本列島から南に伸びて、環太平洋造山帯の一部を構成する地域のプレート境界では、巨大地震を含む多数の地震が発生することは良く知られているし、プレートの境界から離れていても、プレートの活動に伴って歪みを蓄積する活断層が壊滅的な被害をもたらす地震を発生させる。造山帯では、プレートの動きと密接に関連する大小の活火山が存在し、噴火の影響は深刻である。その上、太平洋では台風、インド洋ではサイクロンと呼ばれる熱帯性低気圧が毎年多数発生し、発達してから陸地に近づいてくる。雨季と乾季のある低緯度地域では、年間の降水に偏りがある一方、四季のある中緯度地域では夏季には豪雨、冬季には豪雪が加わる。

素因は日常的には地域に潜在しているが、誘因が inputs すると災害となって顕在化する。素因は自然的素因と、社会的素因に分けて考えると扱い易い。自然的素因とは、端的に言えば、ある地域の土地条件に潜んでいる災害に対する脆弱性である。地震災害に対する条件では地盤が軟弱であるとか液状化しやすい性質であるし、水害について言えば地形が低平である、降水が集中しやすいなどである。これらの性質は、地形・地質（地盤）の形成過程で付与されているだけではなく、人為的に改変されている場合もある。

アジアには水害に対して脆弱な大平野がある。インダス川、ガンジス川、エーヤワディー川、チャオプラヤ川、メコン川などの下流部は雨季には広大な水域が広がる。ユーラシア大陸西岸に流下する長江や黄河なども広大な平野を伴っている。日本の箱庭的な平野とは性質を異にし、人間との関わりも全く異なる。

社会的素因は土地利用と深く関わっている脆弱性である。都市では建設されている施設そのものや、施設の持つ機能などの中に潜在している。都市に建設される施設は都市が発達するにつれて変化し、巨大化していく傾向があり、その機能は複雑になり、相互に関連し合っている。そのため、

社会的素因は長い時間をかけて変化していくと共に、日常的な社会・経済活動と関わって、時々刻々変化している。一方、農林業地域では社会的素因は都市地域に比べて変化が遅く、気象条件に伴う誘因に対しては著しく脆弱であるという特徴がある。漁業地域でも同様に、船や海洋を介した特徴的な脆弱性を持つ。

地域に潜在している被害量を被害ポテンシャルと呼ぶことにする。顕在化したものが災害である。社会的素因が変化すると、被害ポテンシャルが変化する。端的な例では、水田に盛土して宅地化すると、地震災害や水害の被害量が増大する。自然的素因が存在する地域に資産や人口が集中することを、被害ポテンシャルが増大すると表現出来る。被害ポテンシャルは直接被害だけでなく、間接被害も含めて評価するのが合理的である。なお、被害を直接受ける施設、人間、農作物などを被害主体と表現する。

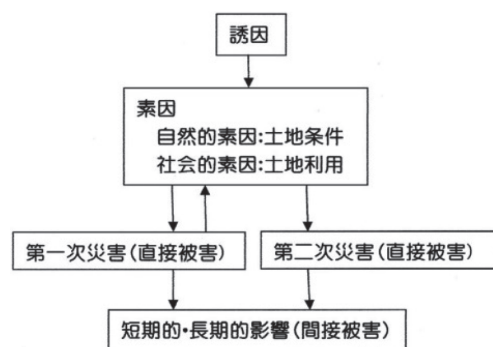


図 7.1 自然災害の流れの概要

自然災害の流れの極く概要を示すと図 7.1 になる。誘因が素因を持つ地域に入力して、第一次災害が発生する。台風が河川流域に豪雨をもたらす。堤防の決壊により外水氾濫が発生し、家屋が流出したり都市施設が破壊される。斜面が崩壊し、家屋が破壊される。これらが第一次災害（被害）の例で直接被害である。第一次災害が発生すると、被害が誘因となり、再び素因に働きかけて、新たな災害が発生する。例えば、家屋の破壊に伴い人的被害が発生する。流出した家屋が他の家屋を破壊する。災害の経過によりいろいろな過程を踏む被害が発生するが、それらを一括して第二次災害（被害）と呼ぶ。第一次・第二次災害では、施設被害や人的被害、農作物の被害などの直接被害が発生する。直接被害を受けた施設などが機能を失うと、日常性が破壊される間接被害が生じる。間接被害には短期的影響と長期的影響がある。都市ガス・上水道・電気に頼っている都会の日常性は、ライフラインと呼ばれるこれらの供給が絶たれれば、継続不可能となる。住居の滅失が避難所や仮設住宅での生活を余儀なくさせ、健康被害を増大させ、場合によっては人命の喪失に繋がる。災害関連死の多くが健康被害に起因している。生産施設や流通施設の破壊は、長期的な経済的影響となって現れる。人命の喪失は元に戻らず、その影響は未来永劫まで続く。被害主体が持つ機能が失われると、その影響は多方面に互り、影響期間も様々である。自然災害を社会現象にしている理由の一つは、入力される自然力が同じでも、自然的・社会的素因により、被害程度や内容が全く異なるからである。

1.2 自然災害の被害量と被害強度

自然災害は前節のように捉えることが出来るので、その被害量は概念的には以下の式で表現可能であろう。

$$D = P * N * V * (1 - C)$$

D : Damages 災害の被害量、直接被害 (Dd) と間接被害 (Di) の総量。

Dd : Direct Damages 直接被害、被害主体が損傷。

Di : Indirect Damages 間接被害、被害主体の機能喪失による短期的・長期的影響。

P : Damage Potential 潜在的被害量、被害主体の集積量。

N : Magnitude of Natural Phenomenon 入力する誘因の大きさ、すなわち、自然の猛威の大きさ。

V : Vulnerability 災害に対する脆弱性、Vn と Vs がある。

Vn : Natural Vulnerability 自然的素因、主に土地条件に由来。

Vs : Social Vulnerability 社会的素因、主に土地利用と施設への依存度に由来。

C : Countermeasures 対策 (対応) の効果 (効率)、 $0 < C < 1$ 、Cs と Cn がある。

Cs : Structural Countermeasures 施設による対策、いわゆるハードな対策で、防災投資により向上。

Cn : Non-structural Countermeasures 施設によらない対策、いわゆるソフトな対策で、地域社会が持つ耐災害力、コミュニティの成熟度や宗教観などにより異なる。

都市が発展するにつれ、都市施設が建設され、人口が集中する。農業でも施設農業が進み、作物が改良され、大規模化・高級化が図られる。その結果、地域の人口が増大し、各施設の資産価値の総量が上昇し、被害ポテンシャル (P) が増大する。そこへ、自然の猛威 (誘因) が襲い掛かると、その大きさ (N) を反映する直接被害 (Dd) が発生する。一般に、大きな猛威ほど頻度は低いに影響する範囲は広くなる。直接被害は被害ポテンシャルが大きい地域で大きくなることは論を俟たないが、自然的素因 (Vn) の内容により、N に対する反応が異なり、被害量が左右される。地震災害で言えば軟弱地盤地域、水害で言えば低平な排水不良地域で被害が大きくなるのはその例である。直接被害が施設などに発生すると、その機能に依存出来なくなり間接被害が発生する。被害量は施設などへの依存度 (社会的素因 Vs) が高いほど大きくなる。間接被害は長期間いろいろと姿を変えながら続くので、総被害量は災害が終焉 (完全な復旧・復興) するまで集計する必要がある。一般に、直接被害量は、被害主体にどれだけ防災投資 (Cs) をしたかにより左右される。施設の耐震・耐火への配慮、堤防やダムの建設、被災し難い都市計画などにより直接被害量は減少する。間接被害量は、直接被害量が少なければ少ないほど減少することは明白である。被災中に直接被害を拡大させないための対応や被災後の対応 (Cn) によっても、間接被害量が左右される。河川氾濫や土石流などからの避難、復旧復興計画の事前策定による迅速な対応などである。しかし、C が 1 になることはなく、被害を 0 にすることは出来ない。

P、N、V、C はそれぞれ独立している訳ではない。河成低地の水田に盛土をして住宅地にした場合を例にとる。河成低地の Vn が盛土と土地利用の変化により、水害に対する脆弱性に加えて、地震に対する脆弱性も加えられる。もちろん Vs と P も変化する。排水や整地に投資される額 (Cs) が不足していれば、地震や豪雨に極めて脆弱な地域が生まれる。新しく出来た住宅地では近隣のコミュニティの成立が難しく、農業地域で見られたコミュニティ (Cn) が崩壊する。自然災害の被害ポテンシャルの総量は、これらの要素が複雑に関連しながら常に増加し続ける。

自然災害の被害量は以上のように整理出来るが、被害強度については別で、概念的には、被害強度 = $D \div$ 被害範囲、となろう。被害範囲は個人から、コミュニティ、企業、地方自治体、国まで、その大きさや質は千差万別である。被害量は被害範囲に発生する総量であるので、被害強度は被害範囲の取り方により全く異なる。

1995 (平成 7) 年 1 月の阪神・淡路大震災では、死者・行方不明者 6437 名 (災害関連死 912 名を含む)、被害総額 9 兆 6000 億円 (内閣府防災情報) と言われているが、被災地域は外見的にはか

なり復興している。これは被災地域が大都市で、公的援助も含めて対応力が大きいことによる。しかし、犠牲者が出た家族、倒産した企業、崩壊したコミュニティなど、被災範囲を小さくとれば、滅失した機能は枚挙に暇がなく、いずれも一部の数値が計上されているだけで、埋もれたまま復元されることなく忘れ去られていく。また、被害範囲を大きくとっても、入力する自然力がその範囲の対応力を凌駕するほど相対的に巨大であれば、再建不可能となる。例えば、1889（明治22）年8月の奈良県十津川水害では、被災者の2489名（新十津川村による）が北海道に集団移住し、新十津川村を建設したことは良く知られている。最近でも、1955（昭和30）年から続く桜島の噴火では風下側に立地していた鹿児島市有村町の住民の一部が集団移住している（松田・石村、1994）。過疎化が進行中の地域が被災すると、過疎化に拍車がかかり、集落の消滅を招きかねない。2024（令和6）年1月の能登半島地震では、斜面崩壊と海岸の隆起により、交通手段が途絶し孤立集落が発生した。その結果、いくつかの集落では全戸避難を強いられ、復興までには難題が山積した。集落の消滅さえ議論されている。

1.3 自然災害の変貌

ここでは、自然災害の被害ポテンシャルの変化を都市の発達段階と結びつけて述べてみたい。河田（1995）は、都市の発達過程により災害を4段階に区分し、田園災害、都市化災害、都市型災害、都市災害と呼んだ。各段階には、人口数、人口密度、都市地域の拡大、都市基盤施設の整備状況、防災投資の額、などが影響すると言う。ここでは、河田（1995）とは各段階の内容が異なるので、都市化以前の災害、都市化災害、都市型災害、カストロフィックな災害、と言う名称を使用

表 7.1 都市災害の進化

進化段階	主な被災地域	資産・人口の集積	防災投資額	災害の特徴		
				被災頻度	被害の特徴	典型例
都市化以前の災害	農村	小	小～中	多	被害額の小さな災害が頻発 直接被害が主 自助による各種対応例が見られる 災害下位文化が見られる	河成低地の水害 輪中地帯
都市化災害	新興住宅地	中	小～中	多～中	社会基盤施設が整備されていない地域に都市化が進行 防災投資が行われて社会基盤施設の整備が進むと、頻度が低下 直接被害が主	狩野川台風による 東京・横浜の内水氾濫と斜面崩壊 広島のと砂災害 鬼怒川の水害
都市型災害	中小都市	大	中～大	中～少	社会基盤施設が整備されるに従い、頻度が低下 間接被害が主、ライフライン災害 直接被害は局所的に発生	東日本大震災時の 東京（帰宅困難） 神田川流域の水害
カストロフィックな災害	巨大都市	巨大	大	まれ	巨大な入力により発生 直接被害、間接被害とも巨大	関東大震災 阪神・淡路大震災
	広範囲	小～中	小～中	まれ	巨大な入力により発生 直接被害が主だが、各地域の特性に応じた被害形態が見られる	東日本大震災

松田（2011）による。

し、4段階に互る災害の変貌を追ってみたい（表7.1）。

第1段階は、ある地域が都市化される前の災害で、農村にその典型が見られる。最近では営農方法が進化し、被害ポテンシャルが急増する傾向が見られるが、土地利用が粗放的で、単位面積当たりの資産や人口の集積が少ない地域での災害である。したがって、防災投資量が少なく、被害が頻発するが、巨大な誘因が入力し壊滅的被害が発生する場合を除けば、1回の被害量は大きくはない。公的な災害投資が多額でないことを反映して、災害サブカルチャーと呼ばれる諸々の対応策が住民個人や集落ごとに採られることが多い。例えば、日本の河成低地では輪中や水塚などが古くから知られている。被害の軽減に役立つこれらの施設は、最近では堤防の強化が進み、姿を消しつつあり、それにつれて施設を維持して来た水防団が消滅している流域も多い。第5節で述べるバングラデシュでは雨季の浸水に備えて、低地に盛土をしてキラと呼ばれる高まりを造成し、家畜を移動させている。

第2段階は、都市化災害である。都市が隣接する農村地域に拡大していく時に見られる。水田として利用されていた地域を十分な盛土なしに宅地化する例が典型である。自然的素因を持つ地域に、十分な防災投資をしないで住宅地がスプロールしていく。すなわち、被害ポテンシャルの増大に、防災投資が追いつかない状況が生まれる。被害が頻発し、被害額も次第に大きくなる。この段階で見られる特徴は以下のことが繰り返されることである。水害の発生→防災投資→安全性が向上→開発の進行（人口・資産の集積）→より被害量の大きい水害の発生→防災投資→安全性が向上→開発の進行（人口・資産のさらなる集積）→より被害量の大きい水害の発生、と水害が変化していく。災害が発生すると応急的な対応が採られ、安全性が幾分向上する。すると、人口や資産の集積が促され、被害ポテンシャルが増大する。そこへより大きな誘因が入力すると、前回よりも大きな被害が出る。日本では、高度経済成長時代に各地で見られ、1958（昭和33）年9月の狩野川台風による東京・横浜の災害以降は都市水害という言葉が使われるようになったことは良く知られている（松田、1995）。

第3段階は都市型災害である。防災投資が進み、市街地の安全性は向上したが、社会基盤施設的能力が不十分だったり、古くなったために発生する災害である。例えば、東京都では内水氾濫対策として、下水道の処理能力を時間雨量30mmに対応するように計画してきた。処理能力は時間雨量50mmに対応出来るように改善され、さらに時間雨量70～100mmに対応出来るように地下河川の掘削を進めてきた。完成まで莫大な投資と時間が必須である。完成したとしても、アンダーパスでの自動車の水没などの漏れが出るが、直接被害の発生頻度や被害額は著しく減少する（松田、2009）。

誘因の持つ入力の大きさが大きくなるにつれ、その発生頻度は低くなる。一方、防災投資の財源には限界があるし、投資効果の面からの制約もあり、最初から巨大な入力に対応出来るような防災投資は考え難い。被災後の防災投資の積み重ねで、地域全体の安全性が徐々に高められていくのが常である。第3段階ではこのような状況が続いていく。

しかし、社会基盤施設に頼り切っている住民の脆弱性が露呈するのもこの段階で、間接被害の発生頻度が高くなるし、都市への人口の集中が被害量を大きくする。都市施設が破壊され、その施設の機能喪失が、住民の日常生活に影響を与える災害で、ライフライン災害とも呼ばれる。特に停電の影響は著しい。首都圏の地震被害想定では停電による交通機関の運休で大量の帰宅困難者が出る事が予想されている。2011（平成23）年3月11日の東日本大震災時には、津波被害は言うに及ばず、地震動の揺れも東北地方に較べれば、はるかに小さかったにも関わらず、東京では交通網が遮断され、帰宅困難者が大量に発生して、大混乱となったことは記憶に新しい。最近では、コロナ

感染症の影響で、都心に出勤する必要のない在宅勤務が推奨されているが、一部と言わざるを得ない。

市街地への防災投資が続けられ、安全性が次第に向上し、災害の発生頻度は低下して行くが、都市への人口と資産の集中は止まらず、被害ポテンシャルの増大は進行し続けている。このような都市が必然的に警戒しなければならないのが、第4段階のカタストロフィックな災害で、河田（1995）は特に狭義の都市災害と呼んだ。人的・物的被害が巨大になり、都市そのものが破壊される。誘因と被災形態の因果関係が未然に分からない、言い換えれば予測出来ない巨大災害である。発生頻度は低いが、直接被害・間接被害共に膨大になる。複数の被災形態が同時進行し、時間の経過と共に被災内容が変化して、被害の質を変貌させながら被害範囲を拡大していく。複合的な被災状況が生まれ、被害程度には都市の社会的素因が顕著に反映される。

東京を例に取れば、安政江戸地震（1855年）と大正関東地震（1923年）で2回壊滅的被害を受けた。被災時の被害ポテンシャルの集積量は比べ物にならないが、江戸、東京にとってどちらもカタストロフィックな災害であったことは議論の余地はない。復旧・復興には多大な時間と資金を要した、と同時に災害に強い都市づくりにも取り組まれてきた。現在危惧されている首都圏のカタストロフィックな災害には、首都圏直下地震、利根川・荒川流域への豪雨、富士山の噴火によるものがある。地域防災計画の策定のためなどに被害想定が行われているが、仮定や確率に依拠していて、被災状況はその一例を示しているに過ぎない。被害がより巨大になることもあるし、その逆も有り得る。

2. 自然的素因としての地形と水害

2.1 河成低地の地形

水害を例に採り、自然的素因としての地形を検討してみたい。地形学的観点からは、河川は山地で生産された土砂を、山地から運び出し、低地に堆積させる働きをしていると言える。そのため、形成される低地を河成低地と呼ぶ。山地では斜面を構成している岩石が風化し、地震や大雨時に落下して谷底に堆積する。これを溪床堆積物と言う。溪床堆積物は大雨の時に水と一緒に土石流となって運ばれる。運ばれた溪床堆積物は、山地を離れると、粗いものから順番に堆積し、まず、礫からなる扇状地が形成される。より細かい砂や粘土はさらに下流に運ばれ、自然堤防地帯（蛇行帯）や三角州を形成し、最も細粒の物質は海中に運ばれる。要約すれば、山地では侵食作用が卓越して谷が拡大し、低地では堆積作用が行われて河成低地が形成される。

すなわち、山地などで発生する斜面崩壊、山麓部で発生し易い土石流、下流部での河川氾濫は、地形が造られる過程で見られる自然現象である。土砂を運ぶ現象が洪水である。洪水は、河川の流量が降雨後に平常時より増えることを指し、河川が地形を形成する営力の一つである。水害は、人間が作り出した現象で、土地利用がされていなければ、土石流や氾濫で被害は発生しない。河川（自然）は地形を造っているだけなのに、それを被害とを感じる。

河成低地の地形の模式図を図7.2に、縦断図を図7.3に示した。平常時に水が流れているところが河道で、洪水時に氾濫水が流下するところが氾濫原である。河成低地の地形の特徴を、河道と氾濫原に分けて表7.2に纏めた。水害との関係から見ると、扇状地は前述したように土石流が堆積した地形で、傾斜が急で平常時でも河道内の流速が速い。扇状地の勾配は、扇状地を形成する河川の流量や上流から運ばれてくる土砂量の多寡で異なるが、一般的には数100分の1以上である。扇状地では、河道を固定すると堆積が進み、河床が氾濫原よりも高い天井川が形成され、洪水が越水し

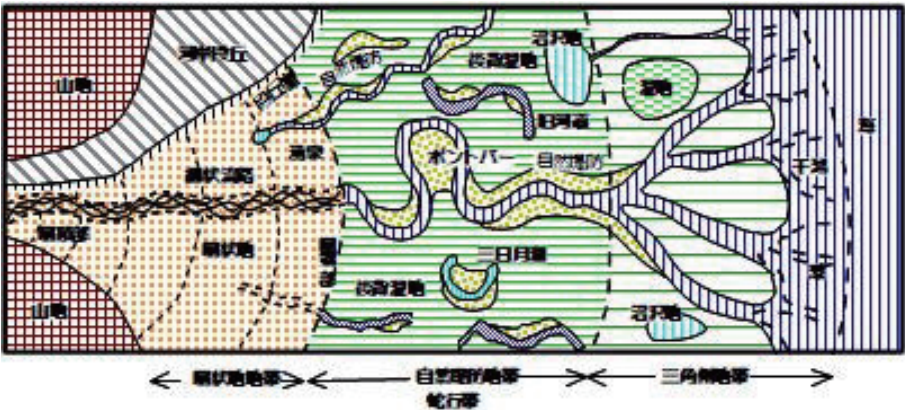


図 7.2 河成低地の模式図

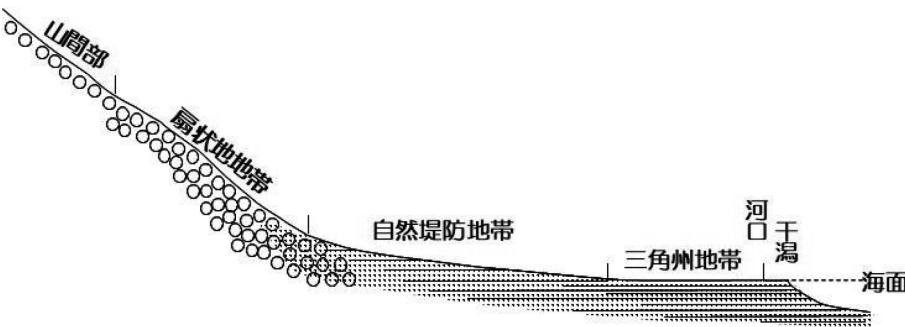


図 7.3 河成低地の縦断面図

表 7.2 河成低地の地形の特徴

区 分		扇状地地帯	自然堤防地帯（蛇行帯）	三角州地帯
氾濫原	形成環境	山麓、谷底	谷底、平地	河口、浅海
	勾配	大（数 100 分の 1 以上）	中（ほぼ 1/1000 以下）	小（ほぼ平坦）
河 道	微地形	河道、網状流跡、砂礫堆、	河道、旧河道（ポイントバー、三日月湖）、後背湿地、自然堤防	河道、自然堤防、後背湿地、河口州、滯
	透水性	大	中	小
河 道	河床物質	礫、砂	砂（礫）	砂、シルト
	流路形態	網状流	蛇行	分流（蛇行）
	河道幅	大	中	中～小
		河道水深	浅	深

河道は、季節的変動はあるが、常に水流が見られるところ。
氾濫原は洪水時に氾濫水に覆われるところで、河道を除く低地全体。

易くなる。自然堤防地帯の傾斜はほぼ 1/1000 以下で、自然堤防の標高が後背湿地より高く、前者が畑や住宅地に、後者が水田に利用されているのが一般的である。しかし、相対的に高い自然堤防も洪水が運んできた土砂が堆積した地形であるので、水没する可能性が高い。自然堤防地帯では、河川は蛇行する。河道を直線化する捷水路を建設すると、旧河道付近で破堤し易いことがしばしば報告されている。三角州地帯は傾斜がほとんどなく平坦で、自然堤防の発達も悪くなる。河道は分流することが多く、水深が大きい。感潮しているのが普通で、高潮時には水位上昇が著しい。

2.2 水害のタイプ

水害には二つのタイプがある。一つは、地形形成作用が行われている地域に人間が無防備に入り込んで発生するもので、斜面崩壊や土石流による土砂災害や低地の新興住宅地の浸水被害に典型的な例が見られる。山口県や広島県は土砂災害にしばしば見舞われてきた。その原因の一つは、花崗岩地域の山麓部に発達する扇状地性の緩斜面を住宅地化したことによる。被災後に危険地域に指定されることがあるが手遅れである。扇状地性の緩斜面は、山間部で生産された溪床堆積物が土石流となって運ばれて堆積した地形である。堆積物の中には巨礫が挟まれていることも多いが、花崗岩はマサ土と呼ばれるように細粒になるため、山麓には緩斜面の扇状地が形成され易い。同じ現象は繰り返し発生するので、そのような素因を持つ地域を住宅地化するには、巨額の防災投資が必要になる。現実には防災投資が不足し、被災している。写真 7.1 はベネズエラの例で、巨礫を含む土石流で集落が壊滅した。被災地域全体での犠牲者は5万人を超えた。低地の新興住宅地も同様で、低地は河川が氾濫して形成された地形なので、排水機能が十分でなければ、氾濫の危険性をいつも孕んでいる。



写真 7.1 扇状地での被害例（松田撮影）
ベネズエラの 1995 年の土石流災害

二つ目のタイプは、人為により不可逆的に土地条件が変化させられていくことによって発生する。水害対策でさえ土地条件を変化させ、出水状況を変えていく。低地の外水氾濫に典型的に見られ、中小河川で注目されたが、大河川流域でも同様な現象が発生する。

降雨は、樹木や草に遮断された後、地表面に到達する。地表面に到達した後は、すぐには流出せず、落葉の上や水田などにしばらく停滞し、地下に浸透する。地下に浸透した水の一部は土壤中を流下するが、さらに深く浸透し、地下水を涵養する。地下に浸透した水は崖や湧泉で湧出し、河川を涵養する。降雨が激しくなり、土壤表層部の空隙が水で飽和されたり、土壤への浸透量よりも多い水が供給されると、地表面に貯留されていた水は地表面に沿って流れ出すし、土壤中を流下する水量も増加し、これらの水が河道に排水される。人為の影響があまりないところでは、降雨はこのようなシステムを通じて河川により排水され、海に流下する。このシステムを降雨－流出システムと呼ぶことにする。

流域が開発される前は、降雨－流出システムが働いているので、河川の流量は、季節変化はあるが、年間を通じてある一定量が保たれている。降雨時には水位は次第に上昇し、降雨のピークを過

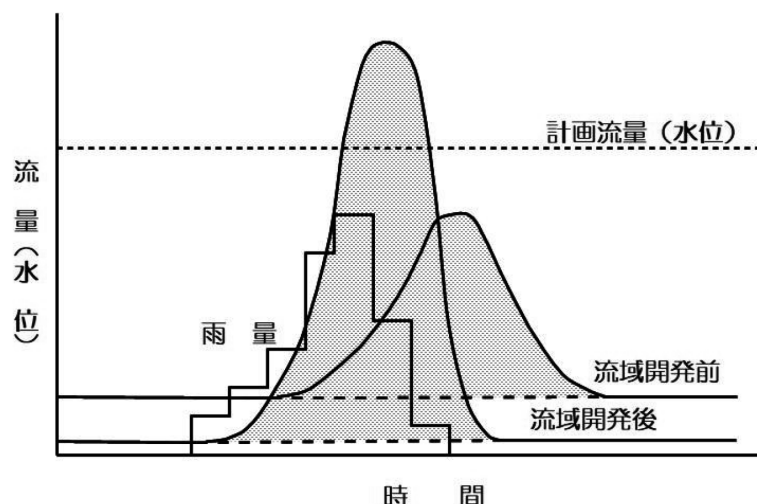


図7.4 ハイドログラフの変化

ぎると次第に低下していく。しかし、流域が開発されると、この降雨－流出システムが変化するの
で、平常時の水量が減少する。降雨時には流量が急激に増大し（したがって、水位も急激に上昇
し）、降雨のピークを過ぎると急激に減少する。図7.4は縦軸に流量、横軸に時間を取ったもの
で、ハイドログラフと呼ばれ、降雨時の洪水の時間的变化が示されている。流量を水位と読み替え
ることも出来る。降雨が激しい時に河道から排水されるのが洪水流出で、平常時より水位が上昇し
た後、水位が平常に戻るまでに流出した量が洪水流出量である。

流域に都市化が進行すると、流域の地表面や河道に諸々の影響が及ぶ。住宅地などの開発や道路
の舗装などは、地表面の被覆状況や地表付近の物質を変化させ、不浸透域を拡大していく。側溝な
どの排水路の整備は、人為的な流出経路を設置している。これらの影響は、水文学的には、表面粗
度や浸透係数の低下をもたらし、表面貯留量が減少すると言う。その上、地下に浸透し難いので土
壌中の水分貯留量、さらには地下水への供給量を減少させる。例えば、屋根に降った雨は、屋根か
ら樋を伝って側溝に流れ込み、下水道を通して、排水路として利用されている小河川に流出す
る。道路に降った雨も、地下に浸透することなく側溝から排水される。したがって、降雨でもたら
された水は、地表面に貯留されたり、地下に浸透し難くなり、地表面を流下する表面流出量が増加
する。

低地での都市化では盛土を伴うことが多く、地表面の微起伏が変化し、貯留の様相が変化す
る。また、氾濫を防ぐために、河川改修が行われる。小河川の改修では、いわゆる三面張りが行わ
れることが多い。両側の谷壁と河床をコンクリートで被覆する方法である。土の谷壁に比べれば遥
かに強固であるし、水の疎通も良くなり利点が多い。また、蛇行部を切って、河道を直線にする捷
水路を建設し、河床勾配を大きくすることも行われる。これらによって、河道内の流下可能な流量
が増加し、氾濫し難くなる。しかし、疎通が良くなったと言うことは、河道内の流下速度を速める
し、蛇行部の直線化は河道内の貯留量を減少させる。流域や河道へのこれらの影響は次のような結
果をもたらす。①表面粗度と浸透係数の低下は表面流出量を増大し、降雨が河道に到達するまでの
時間を早める。②三面張りや捷水路の建設は、河道内の流下速度を早める。すなわち、降雨でもた
らされた水は、速やかに排水されるようになる。その結果、①降雨が洪水となって流下してしまう
洪水流出率が高くなる。②最大洪水流量が増大する。③出水時間の遅れが短くなる（降雨のピーク
と洪水流量のピークの時間差が短くなる）。したがって、これらの結果として、④ハイドログラフ
の波形が尖鋭化する。水害対策は、最大洪水流量に対応しなければならないので、同じ降雨量でも

堤防を高くしたり、河川の断面積を増大する必要が生じる。

3. 水害対策と被害の関係

3.1 日本の水害対策

日本は造山帯に位置するため土砂の供給量が多く、山が荒れるので、治山が必要である。河川は急流で、最大流量と最小流量の比である河況係数が大きい。気候は温帯に位置しているが、熱帯的特性を持ち、梅雨末期の豪雨や台風に伴う豪雨に見舞われる他、低気圧による豪雨もあり、春には融雪洪水も発生する。最近では線状降水帯が発生したというニュースをしばしば耳にする。このような特性を持つ日本における明治時代以降の治水政策が、社会的素因や土地条件の変化に与えた影響を、高橋（1971）を参考にして検討する。

治水の黎明期は、オランダ人技師デレーケの来日に始まる。デレーケは1873（明治6）年に来日し、30年間滞在した。常願寺川を見て、「これは川ではない、滝だ」と言ったことは良く知られている。デレーケは西洋技術の導入にあたって、日本の河川の自然的特性も考慮し、水系を一貫したものとして扱う治山治水計画を進めようと努力したが、明治政府は受け入れなかった。その結果、デレーケは日本の伝統的治水技術（例えば、武田信玄の霞堤など）を破壊しながら堤防工事のみで治水が出来ると考えていた、と思われてしまった。また、治水、利水、砂防の所管が別れ、省間はもとより、省内でも縄張り争いが絶えなかった。

一方、1896（明治29）年の河川法、1897（明治30）年の森林法と砂防法という治水三法が明治政府のもとで成立し、流域を一体として扱うのではなく、各省庁がバラバラに縄張りを持って、対応することが押し進められた。その後は、①長大な連続堤防の建設、②必要に応じて、放水路の建設や捷水路の掘削を行い、洪水を海まで一気に早く流す、という明治政府の政策が第二次大戦後まで引き継がれてきた。

第二次大戦後には、戦時中に山地が荒廃したことと、平野部の治水投資が不足したことの影響により、多数の台風に起因する大水害に見舞われた。1945（昭和20）年9月には枕崎台風により、原爆被災下の広島が大被害を受け、死者・行方不明者3756名を記録した。1947（昭和22）年9月にはカスリン台風による豪雨で利根川が決壊するなどにより死者・行方不明者1930名、1948（昭和23）年9月にはアイオン台風による豪雨で一関が被災し、死者・行方不明者838名を出している（数値は理科年表に在る）。これらの水害は、洪水を一気に海まで走らせるという高水工事の破綻を意味し、国土保全（治山・治水）と資源開発（電力・農産・水産）を意図して、1950（昭和25）年に国土総合開発法が成立した。その一環として、洪水調節、農業用水・都市用水開発、発電などを旨とする多目的ダムの建設が進められた。しかし、多目的ダムの建設には、①ダム湖への土砂の堆積、②河口部への土砂供給量の減少による海岸侵食、③稲作などで水が一番必要な夏場に、洪水対策のためにはダム湖の水を抜いておかなければならない、④水没保障目当てのマボロシの村が水没予定地に出現するなどして、建設費の60～70%が用地費に充当される、などの問題を伴った。

さらに、経済復興に伴ない、水害の素因を持つ地域に人口が集中して、治水対策が都市化に追いつかない現象が生じた。それを顕在化させたのが1958（昭和33）年9月の狩野川台風による東京、横浜の被害である。狩野川台風は伊豆半島の狩野川流域に土砂災害を発生させ、その名前を冠されたが、東京、横浜の市街地に異なる様相の被害をもたらした。1950年代の後半から首都圏への人口集中が始まり、地価の安い低湿地に住宅地を拡大し、規制の無い宅地造成を斜面に展開させ

た。横浜では鶴見川低地をはじめ、帷子川・大岡川低地や低地に続く斜面が住宅地に変化した。東京低地では、それまで都市化が進んでいなかった北部の葛飾区や足立区、南部では江戸川区の水田地帯に住宅地がスプロールして行った。また、東京低地中央部の荒川放水路（現在の荒川）下流部では、地盤沈下の影響も加わり排水条件が劣悪であった。排水施設を考慮せず、無秩序に拡大した住宅地に潜在した水害への脆弱性が、狩野川台風に伴う豪雨で顕在化した。狩野川台風による都市部の被害、特に内水氾濫被害に因んで都市水害という言葉が生み出された（松田、1995）。

明治時代以降採られてきた「水を一滴も堤内地に漏らさない」という考え方が破綻し、同様な現象が1960年代には全国で見られるようになる。高橋（1971）は、「水害の大小や性格を決定する主役は、むしろ雨を引き受ける土地の側にあるのではないかという見方が成り立ちうるはずである。土地の性格は一朝一夕にできあがるものではない。その土地の自然特性に加えて、そこに記録されてきた人間の歴史の集積が、現代の土地であると考えることができる。」（11 ページ）、「治水事業を熱心に進めた川ほど、中下流部での洪水流量負担は増大するという自己矛盾に直面したことになる。」（41 ページ）と述べている。高橋の見解は直後には受け入れられなかったが、1974（昭和 49）年 7 月 7 日のいわゆる七夕豪雨で巴川が氾濫し、流域の静岡・清水市が大被害を受けたことを契機にして変化がもたらされた。建設省土木研究所（1975）はこの水害に関する報告書の中で、巴川流域の水害対策について、「洪水防御というものが、在来のダムや河川堤防のような狭い意味の洪水防御工事（または土木工事）だけではないこと、そして、それだけではもういなくなって来ているということである。」と記述している。

さらに、1976（昭和 51）年 9 月の台風 17 号が追い打ちをかけた。8 日から 14 日までの豪雨で、全国 43 都道府県が被災し、死者・行方不明者 169 人、家屋被害約 54 万棟を記録した。この水害では都市水害が目立ち、建設大臣は 1976（昭和 51）年 10 月、河川審議会に「総合的な治水対策の推進方策はいかにあるべきか」について諮問した。河川審議会に設置された総合治水対策小委員会は 1977（昭和 52）年 6 月に「総合的な治水対策の推進方策についての中間答申」を報告し、この答申を受けて、1979（昭和 54）年度から「総合治水対策特定河川制度」が発足する。

中間答申では、まず、水害に対処するために、治水施設の整備、洪水流出量・土石流出量の抑制、水害に安全な土地利用方式の設定、警戒避難体制等の拡充、災害救済制度の確立など、総合的な治水対策を実施して、水害による被害を最小限にとどめるべきである、と述べている。次いで施策として、河川流域が持つべき保水・遊水機能の設定と確保、洪水氾濫予想区域および土石流危険区域の設定公示、水害に安全な土地利用方式・建築方式の設定、洪水時の諸情報を速やかに伝達する体制の強化、水防体制の強化などを挙げている。また、総合治水対策の実施に当たっては、関係部局・関係省庁・地方公共団体との協議体制を整備することを謳っている。すなわち、治水施設の整備を図るが氾濫を許容して水害被害量の軽減を図ること、避難体制を確立すること、土地利用方式や危険地域を設定し公示すること、流域内の関係機関の協議体制を整備することにより、河川を対象にするハードな対応だけではなく、流域を対象にして住民や行政機関を含めたソフトな対応も導入される。

しかし、総合治水では以下の問題が生じてきた。遠藤・大熊（1987）や国土交通省（2002）を参照すると以下になる。①市街化の進展に対して、治水施設整備が追いつかず、また計画期間内に治水施設が完成しない。②氾濫を許容する保水地域の指定域が狭く、流域分担当が少ない。③洪水流出抑制対策が大規模開発にのみ義務付けられているので、ミニ開発が増加し、遊水地による貯留対策が行われず、市街化率に見合った貯留量が確保出来ていない。④流域内の土地利用計画の立案の際に、水害を考慮して土地利用の誘導や規制を行うことが上手くいっていない。また、新た

な問題として、①浸水は減っているが、都市化の進展により被害は増大している（被害ポテンシャルが増大していることの反映）。②地下室・地下街など地下空間やアンダーパスの水没など、思いがけない被害が発生している。③ポンプ排水をすることにより、一部地域では内水氾濫が抑制されるが、下流では越水の危険性が増し、ポンプの稼働についての調整が必要になっている。④都市機能の麻痺や経済活動の停止など間接被害が大きくなっている。その上、総合治水では時間雨量 50 mm に対応する流域整備計画を策定することから始まり、対象とする雨量を増大してきたが、最近では次節で述べるように、豪雨の頻度が増して来ている。

打開策として採択されたのが流域治水への取り組みで、特定都市河川浸水被害対策法が 2004（平成 16）年 5 月に施行された。この法律では、特定都市河川および特定都市河川流域が指定される。指定される条件は、①都市部を流れる河川であること、②著しい浸水被害が発生しているか、または、発生する恐れのあること、③市街地が進展し、河道改修、ダム、遊水地などによる従来の河川整備手法のみでは浸水被害を解消することが困難であること、である。指定されると、河川管理者、下水道管理者、都道府県知事、市町村長の 4 者は、流域水害対策計画を策定する。その中には、従来から行われているが、対象とする降雨を決めて、洪水流量配分図を作成することも含まれる。

一方、堤防などの治水施設の能力を上回る洪水の発生や、地震時の液状化などにより堤防が破壊されれば、壊滅的被害が発生することが予想されることから、人口や資産の集積が著しい首都圏及び近畿圏を対象に、1987（昭和 62）年度より高規格堤防の建設が進められた。対象とされたのは荒川、利根川、江戸川、多摩川、淀川、大和川の 5 水系 6 河川である。しかし、高規格堤防の建設は、2010（平成 22）年 10 月に行政刷新会議の「事業仕分け」での検討やその後の見直しにより、「人口が集中した区域で、堤防が決壊すると甚大な人的被害が発生する可能性が高い区間」とすることなどを主な内容とすることに変更された。整備区間も約 120 km に縮小された。大熊（2020）は、高規格堤防の建設には、大量の土砂が必要であること、堤防沿いが人家の密集地である場合には立ち退き問題が発生こと、膨大な時間と資金を必要とすること、などを指摘している。現在まで、高規格堤防が整備された区間は数% に過ぎない。

3.2 水害対策と被害の関係

1961（昭和 36）年に施行された災害対策基本法の第二条の二に、「防災 災害を未然に防止し、災害が発生した場合における被害の拡大を防ぎ、及び災害の復旧を図ることをいう。」と防災の定義が示されている。すなわち、防災には、未然に防止する事前対策、発災中の被害拡大を防止する対応、災害の復旧を図る事後対策の 3 段階があり、これは災害の進行の流れに沿っている。事前対策は素因に対する対策、発災中の対応は直接被害に対する対策、事後対策は間接被害に対する対策と読み替えられる。

一方、防災の担い方にも、自助、公助、共助の 3 レベルがある。自助は言うまでもなく個人的対応であるが、対応出来る範囲には限界がある。共助に関わる組織の種類や大きさには様々なものがある。自治会など近隣住民のコミュニティ、企業・NPO など、それぞれの組織には独自の役割がある。自助・共助は発災中の対応に欠かせないし、事前対策にも重要な位置を占める。公助は税金を原資とする公的な対応である。国と地方自治体でヒエラルキーがあり、それぞれ分担が異なる。

災害対策では地震災害と水害では大きく異なる。地震災害では、直接被害を防ぐための事前対応、すなわち耐震化が重要で、そのほとんどが自助による。水害での自助による事前対応の代表的なものは水塚や高床式住居の建設に見られるが、共助にまで拡大しても輪中の維持や発災中の水防

活動などに限られる。水害対策で最も重要な事前対応は公助による社会基盤施設の整備である。堤防強化、河道改修、ダム建設、遊水地の設置など、洪水の氾濫を防ぐことと、洪水の出水時間をずらして最大洪水流量を低下させることが図られる。税金を投入して行われるので、そこには国の政策が反映される。明治政府以来、洪水を一滴も堤内地に氾濫させないと言う政策が採られてきた。この政策に対して、日本各地の水害の実態を精査し、流域の変貌に目を向けさせたのが高橋裕である。高橋（1971）が明治政府の治水策の破綻を指摘していることは、既に述べた。しかし、現在の国土交通省の方針には、総合治水や流域治水の名のもとに、流域全体を捉えることの重要性は言及されているが、基準地点の計画洪水流量を定めて、それに見合う高水工事を施工する治水が主流を占めていることには変わりはない。その根底には大熊（2020）が指摘しているように、科学技術で災害を克服しようとする国家の自然観が受け継がれている。

流域、もしくは集水域とは、降雨－流出システムが完結する全体で、具体的には降雨が斜面を伝って河道に集まり、低地に出て海に達するまでに関わる範囲である。流域の形成は、基本的には地形形成作用の内的営力により、人類が出現するはるか以前から、継続されてきた。そこに、ダム建設、放水路や捷水路の開削、河道の固定などにより、人類が制約を加え、全体のシステムが変えられた。システムに齟齬が生じても、発展する科学技術でカバーしながら、改良・改修と称される改変が加えられた。しかし、流域全体が一つのシステムとして機能しているので、その一部に手を加えることは、その影響が流域内のどこかに出ることを意味している。災害の事前対策では勿論のこと、災害復旧・復興でも同様なことが生じる。荏本ほか（2023）は、経済学的な視点で使われる合成の誤謬という概念を用いた検討が災害研究にも必要である、と述べている。その上、巨大な入力に対応することは不可能であるし、最近では、自然的な気候変動に人為的な地球温暖化が重なり、気象条件が著しく変化し、入力が巨大化する傾向にあることも指摘されている。台風の異常な発達、線状降水帯の出現、偏西風の蛇行、海流の蛇行などが報道されている。

自然災害を、科学技術を駆使して抑え込もうとするのが防災と考えられがちであるが、被害を発生させないことは不可能であるので、正しくは減災である。減災は、ハードな対策だけでは不可能と考え、ソフトな対策に役立てるべく公表されるのが被害想定である。例として、中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」が、2010（平成22）年に最終報告書に纏めた結果のうち、関東低地や東京低地に大きな被害が発生するものを表7.3に示した。

利根川の場合は、流域平均雨量を約320 mm/3日とすると、基準点となる八斗島での洪水流量は2万2000 m³/sになるという。この洪水流量はカスリン台風による出水量に匹敵し、200年に一度の発生確率である。この洪水でカスリン台風時に破堤した埼玉県加須市で再び破堤すると、氾濫水は中川低地を流下し、96時間後には旧江戸川に達する。浸水面積は530 km²となり、床上浸

表 7.3 大規模水害の被害想定結果

河 川	破堤地点	浸水面積 (km ²)	浸水区域人口 (万人)	浸水世帯数 (万世帯)	死者数 (人)	最大孤立者数 (万人)
利根川	加須市 弥兵衛地先	530	230	86	2600	2日後110
荒 川	北区 志茂地先	110	120	51	2000	1日後86
荒 川	墨田区 隅田地先	90	100	43		2日後73

200年に1回の発生確率で、排水施設が稼働しなくて、避難率が0%の場合。
中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」の資料より作成。

水約 68 万世帯、床下浸水約 18 万世帯が発生する。浸水区域内の人口は約 230 万人に達し、浸水範囲が広がる 2 日後には最大約 110 万人が孤立状態になる。排水施設が稼働せず、避難率が 0% の場合には死者数は約 2600 人と予想されている。ただし、避難率が 40% になれば死者数は約 1500 人に、80% になれば約 500 人に減少する。

荒川の場合も同様に 200 年に一度の降水確率とすると、流域平均雨量は約 550 mm / 3 日となり、基準点の岩淵地点での洪水流量は 1 万 4000 m³/s となる。この洪水で東京都北区志茂地先の右岸で堤防が決壊すると、江東デルタを除く荒川右岸・隅田川右岸地域まで浸水する。浸水深が 2 ~ 5 m となり、浸水面積は 110 km²、浸水世帯は床上約 45 万、床下約 6 万に達し、浸水区域内人口は約 120 万人になり、1 日後には約 86 万人が孤立する。排水施設が稼働せず、避難率が 0% だと、死者は約 2000 人になる。

一方、江東デルタは周囲を堤防で囲まれているので、上流の利根川や荒川の破堤による出水からは守られるが、荒川が墨田区墨田地先で決壊し、氾濫水が流入すると最悪になる。浸水面積は 90 km²、浸水世帯数は床上約 37 万、床下約 5 万 6000 となり、浸水区域内人口は約 100 万人に達する。地盤高が低い地域が浸水するので、床下浸水世帯数に比べて床上浸水世帯数が非常に大きくなる。

荒川からの出水では、地下鉄のトンネル内に氾濫水が浸入する。降水条件を同じとして、止水板の条件を高さ 1 m で坑口部にはないと仮定すると、堤防決壊後約 10 分で南北線赤羽岩淵駅、4 時間後には千代田線町屋駅、8 時間後には日比谷線入谷駅から地下トンネルに流入し始める。最終的には 17 路線の延長約 147 km が冠水し、97 駅が浸水する。そのうち 81 駅では改札フロア等の部分まで水没状態になると言う。

被害想定結果からは、①自然的素因が克服されていないこと、②人為的改変の弊害が明確になっていること、③治水対策の堤防建設でさえ、水害の状況を変えていくこと、④予期しない弱点が露呈されること、⑤結局、科学が進歩し、防災投資が進んでも、大きな入力には対抗出来ていないこと、が読み取れる（松田、2013）。

自然に手を加えると土地条件は不可逆的に変化し、変化した土地条件が次の時代の前提条件になる。災害対策に依存し、開発を進めれば、いくら防災投資をしても、それを上回る被害の発生が危惧される。行き着く先がカタストロフィックな災害である。利根川・荒川流域の大規模水害の被害想定にはそれが現れている。それでなくても、発生頻度は低いのが、被害が膨大になる巨大入力に対応するには、入力エネルギー量に対して幾何級数的に増大する防災投資が必要になる。生きているシステムとして流域を捉えて、土地改変の影響を考慮し、流域内の被害ポテンシャルの増大を極力防ぐことが課題となる。

4. 水害の誘因に関わる気候変動

水害の誘因として気候変動の影響は重要で、地球温暖化に原因があるのではないかと議論されている。南極大陸やグリーンランドの氷床や棚氷の縮小、山岳氷河の縮小が報道されて久しい。最近では、豪雨による水害、逆に異常な乾燥に伴う山火事、海水温の上昇と大型台風の発生、高山地域の氷河湖の決壊による水害など、地球温暖化に伴う現象に起因すると見られる災害が増えている。

地球の歴史の中で見ると、最終間氷期最盛期がほぼ 12 万 6000 年前にあり、それを過ぎると気候は寒冷化に転じた。約 11 万 9000 年前からさらに寒冷化が進行して、最終氷期に入ったと考えられ

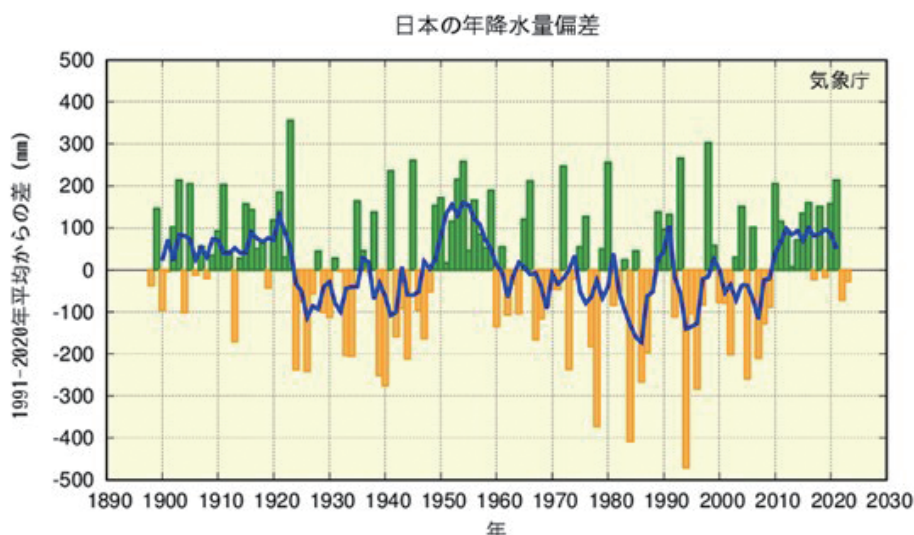


図 7.5 日本の年降水量偏差

偏差の基準値は 1991～2020 年の 30 年間の平均値、折れ線は偏差の 5 年移動平均値。気象庁 (2024) をコピー

ている。約 11 万年前には亜氷期の極相期となり、海面高度が現在より数 10 m 低下した。最も寒冷化した最終氷期極相期は約 2 万年前にあり、日本付近の平均気温は 6～7℃ 低下し、海面高度は約 130 m 低下したとされている。最終氷期極相期以降、気候は急激に温暖化し、約 7300 年前に最も暖かくなる。最終間氷期最盛期から寒冷化へ移行するまでの経過年数から見ると、現在は次の氷期の入り口と考えられるが、前述したように地球温暖化を示す現象が世界各地から報告されている。

気象庁では「気象監視レポート」を定期的に刊行している。その 2023 年版（気象庁、2024）に基づいて、最近の降水量の変動を見ることにしたい。

図 7.5 に 1981 年以降の降水量の偏差を示す。偏差で表しているのは、実測値が日本全国でくまなく観測出来ているわけではないので、正確な見積もりが出来ないためであるが、偏差を利用すれば、傾向の把握は出来ることによると言う。日本全国 51 の気象観測地点（青森・新潟・石川・奈良・岡山・佐賀の各県は地点無し）の 1900 年以降のデータを利用して、偏差を求めている。基準値には 1991 年から 2020 年までの 30 年間の平均値を採用し、毎年の降水量と基準値の差を偏差としている。差がプラスになれば多雨傾向、マイナスになれば少雨傾向を示す。図には、偏差が棒グラフ、偏差の 5 年移動平均値が折れ線グラフで示されている。図からは、長期的な変動は見られないが、1920 年代の半ばまで、並に 1950 年代と 2010 年代にプラスの傾向が認められる。また、1970 年代から 2000 年代までは毎年の変動が比較的大きい。2010 年代以降はプラスの傾向が見られるが、2022、23 年はマイナスであった。

水害との関係では、日降水量や大雨の発生回数が重要である。大雨の発生頻度はアメダスの観測データから集計されている。アメダスの観測点は観測が始まった 1976 年には約 800 地点であったが、現在では約 1300 地点に増加し、気象観測地点よりもはるかに密に設置されている。そのため、ゲリラ豪雨などの狭い範囲の豪雨も捉え易いと言う。報告書の中の「アメダスで見た極端な大雨の変化（1976～2023 年）」の表と報告書のグラフ中に示されている 10 年間の増加トレンドを編集して表 7.4 に示した。アメダスの地点数は、地点数の少ない期間については、現在の約 1300 地点に換算して集計されている。表からは、今後のデータの蓄積が必要であるとしながらも、報告書の記述にあるように、「極端な大雨の年間発生回数は有意に増加している」こと、ならびに、より強度の強い雨ほど頻度の増加率が大きいことが読み取れる。すなわち、1976～1985 年間の発生回

表 7.4 アメダスで見た極端な大雨の変化

雨 量	1976～1985 年間の回数 (日数) A	2014～2023 年間の回数 (日数) B	変化の倍率 A/B	1976～2023 年の長期傾向
1 時間降水量 50 mm 以上	約 226 回	約 330 回	約 1.5 倍	約 28.2 回/10 年
1 時間降水量 80 mm 以上	約 14 回	約 24 回	約 1.7 倍	約 2.5 回/10 年
1 時間降水量 100 mm 以上	約 2.2 回	約 4.0 回	約 1.8 倍	約 0.6 回/10 年
3 時間降水量 100 mm 以上	約 155 回	約 253 回	約 1.6 倍	約 25.7 回/10 年
3 時間降水量 150 mm 以上	約 19 回	約 34 回	約 1.8 倍	約 4.1 回/10 年
3 時間降水量 200 mm 以上	約 2.8 回	約 5.6 回	約 2.0 倍	約 0.7 回/10 年
日降水量 200 mm 以上	約 160 回	約 251 回	約 1.6 倍	約 24.9 回/10 年
日降水量 300 mm 以上	約 28 回	約 57 回	約 2.1 倍	約 8.3 回/10 年
日降水量 400 mm 以上	約 6.4 回	約 15 回	約 2.3 倍	約 2.7 回/10 年

気象庁（2024）より編集。信頼水準など詳しくは原典を参照してください。
 年間の回数（日数）は 10 年間の平均で、アメダスの地点数を 1300 地点として換算。
 3 時間以上経過した後に、再び雨量を超過した場合にはカウントしている。
 強度の強い大雨は発生回数が少ないので、換算が適切でない場合がある。

数よりは、2014～2023 年間の発生回数は増加しており、増加率は降水量が多いほど大きくなっている。具体的には、1 時間降水量 100 mm 以上では約 1.8 倍、3 時間降水量 200 mm 以上では約 2.0 倍、日降水量 400 mm 以上では約 2.3 倍になる。注目されるのは日降水量で、200 mm 以上が最近 10 年間で約 251 回あり、そのうち約 5.6 回は 3 時間で降っていることである。また、平均すれば年間約 25.1 回日本のどこかで記録されていることになる。日降水量 300 mm 以上でも年平均 5.7 回あり、水害の頻発に反映されている。また、長期トレンドは、1 時間降水量 50 mm 以上は 10 年間で 28.2 回の割合で増加しているし、3 時間降水量 100 mm 以上では同じく 25.7 回、日降水量 200 mm 以上でも同じく 24.9 回の割合で増加している。

河川整備計画では、過去の観測値が利用され、100 年ないし 200 年に 1 回などの確率で求められた値を基礎にして、基本高水が決められる。近年の降水量が増大傾向にあれば、短期間のデータを重視しなければならない。中小河川の整備計画や下水道計画では 1 時間降水量が採用されることが多い。50 mm や 100 mm という 1 時間降水量の発生頻度の増加はこれらの計画に影響する。

一方、大雨の頻度が増加傾向にあるが、降水がほとんど見られない日数も増えていることも報告されている。例えば、2023 年には梅雨前線による豪雨で九州、四国、東海、北陸などで激甚災害に指定された水害が発生すると同時に、水不足も各地で見られた。新潟平野では降水量が少なく、稲の発育に悪影響が出た。四国ではダム湖が干上がったり、四万十川の水位が低下した。琵琶湖の水位低下も話題になった。降水量の減少と高温が相俟ってトマトなどの野菜栽培が影響を受けた地域もあった。偏西風の位置や蛇行の影響、前線の位置や地形の影響などを受けて、天候の局所的な変化が大きいのかも知れない。

5. バングラデシュの高潮災害で感じたこと

前節までは日本国内の水害を例に取り、水害に関わる諸事象を、主に開発による自然への関与と被害ポテンシャルの増大から述べてきた。ここでは、誘因と被害の関係が明瞭に現れやすい途上国での被害実態から、防災投資に資源を投入出来ない地域での被災や社会の歪が反映される状況などについて述べる。

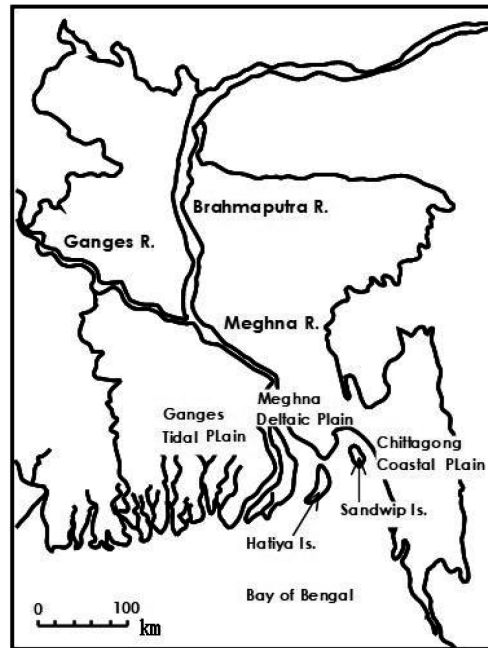


図 7.6 バングラデシュ
沿岸地域の地名は Barua (1991) による。

バングラデシュの国土面積は約 14 万 7000 km² で、そこに 2021 年現在約 1 億 6935 万人が居住している。国土は西から流下するガンジス (Ganges) 川と東から流下するブラマプトラ (Brahmaputra) 川が合流したメグナ (Meghna) 川が形成したベンガル (Bengal) 平野が占める面積が広く、国土面積は日本の 40% 程であるが、平地の面積は日本より広い (図 7.6)。サバナ気候の地域が広く、雨季には国土の約 30% が水没する。人口を国土面積で割ると人口密度は 1152 人/km² となるが、水面が占める割合が高く、年間を通じて居住可能な面積に換算すると数倍になる。人口の約 60% が農村、約 40% が都市に居住している。ベンガル湾に発生する熱帯性低気圧が発達しながら北上し、バングラデシュに上陸する例が多く、しばしば大被害を受けて来た。

Frank and Husain (1971) は、天文潮位が 3~5 m と大きいこと、漏斗状の海岸線、低平な地形、頻繁なサイクロンの発生と言う特徴的な組み合わせが、数万人規模の犠牲者を発生させる原因であると指摘している。海岸部は低平で、海岸線から 200 km 離れても標高は 3 m 以下しかない。高潮災害では沿岸部の低地地帯が被害を受け易い。Barua (1991) は海岸低地を、ガンジス潮汐低地 (Ganges Tidal Plain)、メグナ三角州低地 (Meghna Deltaic Plain)、チッタゴン海岸低地 (Chittagong Coastal Plain) という水文地形学単位に区分している (図 7.6)。ガンジス潮汐低地はチュリア入江 (Tulia Estuary) の右岸から西に広がる地域でマングローブ林からなり、平均海面以下の地域が広く、滞筋が複雑に発達している。メグナ三角州低地はチュリア入江からサンドウィップ水路 (Sandwip Channel) までの範囲で、地形形成作用が活発で、海津 (1991) も詳述しているように侵食・堆積による地形変化が著しい。これが堤外地に居住地域が広がる原因の一つになっている。チッタゴン海岸低地は北北西から南南東に伸び、標高は 3 m 以上と相対的に高い。

図 7.7 と表 7.5 に大きな被害を発生させた 1970 年と 1991 年、並びに 21 世紀に入ってから 2007 年のサイクロンの経路と被害の概要を示した。1970 年のサイクロンでは、パキスタン政府の対応に不満を持った東パキスタンが独立してバングラデシュになったと言う。死者・行方不明者は 30 万人 (公式には 22 万 5000 人) と報告されているが、実際はもっと多いと推定され、実態は不明である。1991 年の死者・行方不明者数も同様で、公式に発表された人数は 14 万人であるが、実

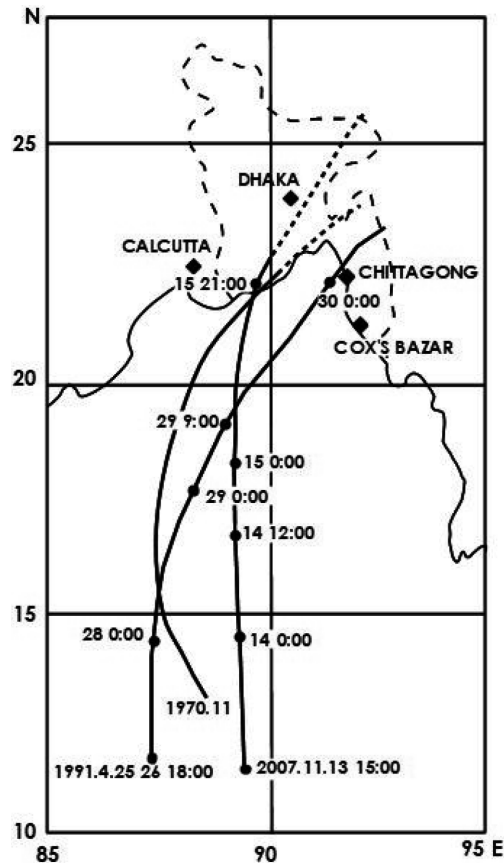


図 7.7 3つのサイクロンの経路

表 7.5 サイクロン被害の比較

被害 気象データ	1970 年	1991 年	2007 年
被災人口	4,700,000	10,721,707	8,923,259
死者・行方不明	300,000	140,161	4,234
家畜被害	280,000	584,471	1,778,507
家屋被害	400,000	1,630,543	1,518,942
教育施設被害	3,500	9,367	16,954
最大風速	196 km/h	235 km/h	250 km/h
中心気圧	950-960 hPa	950 hPa	944 hPa
高潮の潮位	20-30 ft (MSL)	20-25 ft (MSL)	

1970 年の被害は Frank and Husain (1971)、気象データは Flierl and Robinson (1972) による。

1991 年の被害データは Relier Control Room, Ministry of Relief による 5 月 26 日現在の被害、気象データは UNDP の報告書から抜粋。

2007 年のデータは土木学会「バングラデシュサイクロンシドル (SIDR) 高潮水害緊急調査と調査団の概要」による。

家屋被害、教育施設被害は全壊と半壊の合計。

際には 30 万人程度と考えられている (Matsuda, 1993)。2007 年の死者・行方不明者についても公式発表された数値より多くの犠牲者が発生している可能性がある。

3つのサイクロンの被害からは次のことが指摘出来る。①死者・行方不明者は 1991 年に比べて、2007 年には大幅に減少している。その要因としては、乾季で潮位が低かったこと、予報警報

が伝達された上、シェルターの建設が進んで避難出来たこと、サイクロンの上陸地点が農村部であったことなどが挙げられている。②1991年に比べて2007年では被災人口が100万人以上、被災家屋が10万以上少ない。この間の全国の人口は約1億560万人から約1億4000万人に増加している。被災地の人口が少なかったことが反映されているようである。③家畜被害は大幅な増加をしている。農村地域の経済成長の反映と見られる。④教育施設の被害が大きくなっている。家屋被害が2007年には減少している一方で、教育施設の被災数が増大しているのは、教育施設数の増加を意味している。避難シェルターが平常時には学校として利用されている例も多く、教育環境の改善が反映されている。

筆者は1991年の高潮災害後、国連地域開発センター（UNCRD）の調査に同行した。その報告の中で、災害の重要な社会的素因に関わる問題として以下の3点を指摘した（Matsuda, 1991；松田, 1991）。①サイクロンに襲われ易い4、5月や10、11月は稲の植え付けや収穫のために、季節労働者が海岸部に集中する。そのほとんどはいわゆる土地無し層で、村から離れた仮設小屋で生活している。季節労働者数が把握されていないので、被災地の居住人口が分からない。②農業従事者の60%は零細な土地しか持っていないか、小作人である。零細な土地は河川の氾濫や高潮で失われ、土地無し層へと転落する。漁民の多くも零細な経営をしているか、漁船の乗組員で、高潮により生活手段を失う。その結果、被災者は新しく離水した土地に危険を承知で入植するか、海岸部の堤外地に居住を余儀なくされる。そのため、定住人口さえ正確には把握されていない。③チッタゴン地区では工業化やエビの養殖事業により経済活動が活発化し、資産が集中したが、それに見合った防災投資が行われていない。防潮堤は低く脆弱である。

海岸沿いの防潮堤は低く、堤外地に居住を余儀なくされている人口も多い。バングラデシュの住民にとって、不十分なハードな対策下では、生命を守るためには避難しかない。現地での聞き取り調査から、避難しなかった理由として以下のことが指摘出来た。①過去にも最悪を意味するシグナル10の警報が出たが、被害は大きくならなかったため、今回も同様と考えた。②土地台帳が正確に整備されておらず、不法に土地を占拠している住民が多い。そのため、避難して、家屋や財産から離れるとそれらを奪われてしまう可能性があり、家から離れられない。③屋根や木に登って様子を見ていた。④避難者には女性が非常に少ない。イスラム社会では、女性には狭いところに男性と一緒にいることに抵抗がある。また、家畜を守るために家に留まっている。

一方、避難した住民の特徴としては以下のことを明らかに出来た。①シェルターに近いところの住民。②教育程度の高い人。③財産よりも身の安全を考えた人。

また、死者・行方不明者について、政府職員への聞き取りでは、政府関係者の犠牲者は一人もいなかったが、赤新月社の社員は、サイクロン情報をテレビ・ラジオの無い住民に伝えている途中で十数人が犠牲になったと言うことであった。情報を受け取り避難出来る条件を備えているか否かが犠牲者の発生に大きく関与している。

避難実態についてのその後の調査で、竹本・古谷（2008）はハティヤ（Hatiya）島では、サイクロン情報がしばしば空振りすること、サイクロンシェルターが近くにないことが避難しなかった理由として確認出来た他、道がぬかるんでいて避難出来なかったことも報告している。一方、避難することにより家畜や家財が盗まれる可能性があることは確認出来ず、財産の盗難よりも散逸することを恐れたためとしている。

また、2007年の災害時の避難について、林ほか（2008）は、2007年のサイクロン災害時でも、サイクロン予報が十分な精度を持っていないこと、気象衛星やレーダーの画像がテレビなどで放映されず、サイクロンの接近が実感として認識出来ないこと、避難情報の伝達も十分ではないことな

どを指摘している。斎藤・室崎（2012）は、2007年と2009年のサイクロン被災後の状況についても考察し、過去のサイクロン被災時には女性の立場が弱く、シェルターの数が多くなっても、避難することに躊躇する事例が多く見られたことを指摘し、シェルターを含めたコミュニティの運営に女性の参画が必要で、そのためのガイドラインの作成を提言している。日下部（2016）は、ハティア島東部の堤外地に1991年のサイクロン被災時から居住する人物にインタビュー調査を実施している。その結果、①調査地域には電気が通じておらず、赤新月社の社員がサイクロンの情報を流していたが、情報の意味が理解出来ず、避難行動に繋がらなかったこと、②被災後に生活必需品は配られていたが、配給にアクセスし難いこと、③復興過程では、貧困層がより深刻な事態に陥ること、などを報告している。

文献の渉猟が不十分であることは否めないが、1991年のサイクロン災害に関わる調査で得られた状況があまり変化していないようである。先進国でも開発途上国でも、被災者が災害弱者になり易く、災害弱者の被災からの復興がより難しいことは、これまで多くの災害研究者が指摘してきた。災害弱者の再生産を回避する社会的な仕組みが必須である。そのためには、防災施設の建設だけでは不足で、社会の耐災害力を向上させることが必要であることは言うまでもない。最近の災害援助では、自助・共助も育てることに方向転換されていることは、評価すべきである。

むすびにかえて

自然災害の誘因、素因、対策について、日本については水害、バングラデシュについては高潮災害を例にして述べた。途上国では科学技術を活用して減災に取り組むと共に、社会環境も含めた対応が必須であることを指摘した。一方、先進国では科学技術を活用しても、自然を克服して災害から免れることは不可能であると考えられるようになって来ている。どちらの場合も重要なのは災害に関する情報の活用である。

1961（昭和36）年の災害対策基本法制定以来、防災に関する各種情報が整備され、公開されている。同法の度重なる改正で、誘因に関わる情報の発表の仕方も改善されている。これらの情報を、国・地方自治体、各機関、各組織、各個人がいかに活用して、減災に繋げるか、が重要課題である。図7.8に災害情報の活用についての流れ図を示す。国は地震情報・火山情報・気象情報など、誘因に関する情報を提供する。中長期的な情報としては、過去の観測結果を統計処理したり、確率論的に計算した結果を公開する。確率論的震度予測図がその例で、多くの住民が目に見えている。しかし、2024（令和6）年1月の能登半島地震では確率論的には震度が小さい地域で震度7が記録された。発生確率が低くても、危険がゼロではないことに注意を払わなければならない。短期的なものは過去の観測結果から発生確率が高いと判断された事象が、警報や注意報として発令される。近年は警報や注意報の文言は誤解されないように工夫されているし、地図による可視的な表現も採用されている。

地方自治体は自然的・社会的地域特性を収集し、ハザードマップとリスクマップを作成して公示する。ハザードマップは災害予測地図で、自然的地域特性から自然的素因の地域分布を読み取り、誘因ごとに評価して、災害の影響が及ぶ範囲や、影響の程度が図化される。浸水危険地図や崩壊危険地図などが一般に馴染み深い。リスクマップはハザードマップに社会的地域特性に含まれる社会的素因を重ねて、被害量を推定した地図である。一般には国から提供される中長期的誘因に関する情報に基づいて入力が決められ、ハザードマップを重ねて被害量が計算され、その結果が公開される。被害想定結果は、事前対策（防災都市計画など）、発災中の対策（地域防災計画など）、事後対

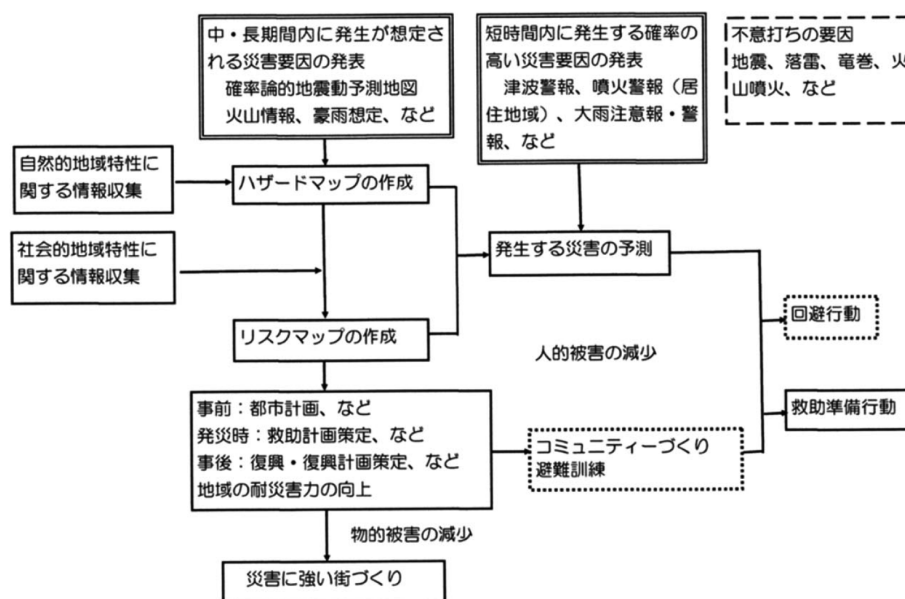


図 7.8 災害情報の活用

二重線枠：国から提供される情報。一重枠：地方自治体の役割。点線枠：住民の役割。
破線枠：災害情報を活用しにくい災害。

策（復興・復旧計画など）の立案に利用される。被災前に事前復旧計画を作成する場合もある。最終的には災害に強いまちづくりに活用される。短期的な発生確率が高い誘因を入力すれば、自然的・社会的素因から発生する災害が予測出来る。豪雨災害の時には特に有効で、早めの避難など被害を回避する行動に結びつけられ、人的被害の減少に役立てられている。警戒レベルが設定され、市町村がテレビ・ラジオを通じて、住民に避難行動を呼びかけることも行われている。警戒レベル5では、災害が発生しており、安全な場所で命を守るようにと、呼びかける。第4節で述べたように、水害では誘因が次第に大きくなる傾向があることが指摘されている現状では、フォーキャスト（forecast）よりナウキャスト（nowcast）と呼ばれる情報に、より一層の注意が払われるべきであろう。

国から提供される誘因に関する短期的情報の正確性や迅速性は著しい進歩を遂げているが、未知の部分も多い。線状降水帯や雷雨など、気象現象は発生頻度が高いことにもより、解析法が進歩し、狭い範囲での予測も行われている。線状降水帯については、従来は発生が確認されてから情報が発表されていたのを、2023（令和5）年5月からは、発生が予測される段階で発表されることに変更されたのもその例である。一方で、地震予知に関しては、震源と規模については地域的・長期的な発生傾向は発表されているが、発震時刻については予知できず、不意打ちを食らうのが現状である。能登半島地震では、群発地震は注目されていたが、活断層の活動は予測されておらず、まさに不意打ちであった。

最後に、災害対策では被災者個人への対応が重要であることを指摘しておきたい。その理由は二つある。一つは、被害程度（被害強度）が異なっても、その影響は個々の被災者にとってはほとんど変わらないことである。例えば、家屋被害には、全壊の他に一部損壊や半壊があるが、行政側や被害を補償する保険会社などの被害の把握法で、個々の被災者が受ける影響（被災強度）は一部損壊や半壊でも全壊とほとんど変わらない。二つ目は、被害の偏在である。地域全体では何%が被災する、もしくは死傷する、と言われても、全部の家屋のある部分が被災する訳ではない。まして、生身の人間ではなおさらである。災害を被災者側から見れば、その影響は0%か100%、いわゆるゼロか1の問題となり、平均値は意味をなさないことを考慮しなければならない。復興対策、

特に事前復興も同様で、地域全体ではなく、被災者各個人への集中的な援助を考慮しないといけない。

参考文献

- 海津正倫 (1991): バングラデシュのサイクロン災害。地理、36-8、71-78。
- 荏本孝久・佐藤孝治・落合務・趙衍剛 (2023): わが国の太平洋沿岸地域の津波防災対策を俯瞰する—現地調査から見た自然災害の課題とアジア地域の災害軽減化— (その1)。神奈川大学アジア・レビュー、10、49-67。
- 遠藤哲雄・大熊孝 (1987): 総合治水の理念と現状に関する考察。自然災害科学、6-3、11-22。
- 大熊孝 (2020): 『洪水と水害をとらえなおす—自然観の転換と川との共生』、農文協プロダクション。
- 河田恵昭 (1995): 『都市大災害—阪神・淡路大震災に学ぶ』、近未来社。
- 気象庁 (2024): 気候変動監視レポート 2023 世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況。https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2023/pdf/ccmr2023_all.pdf 2024年3月30日閲覧
- 日下部尚徳 (2016): サイクロン常襲地域における被災後の復興過程に関する研究—バングラデシュにおける定性調査をもとにした事例研究—。人間生活文化研究 (大妻女子大学)、26、583-594。
- 建設省土木研究所 (1975): 静岡・清水地区 49 年 7 月豪雨災害調査報告—地域洪水防御計画への接近。土木研究所資料 965 号、建設省土木研究所。
- 国土交通省 (2002): 総合治水対策の課題。
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/gaiyou/seisaku/sougouchisui/pdf/2_3 2023年11月16日閲覧
- 斎藤容子・室崎益輝 (2012): バングラデシュ・サイクロン被災地域におけるコミュニティ再建に関する研究—ジェンダーに配慮した住民参加によるサイクロンシェルターマネジメントガイドラインの作成過程の考察。災害復興研究 (関西学院大学)、4、103-117。
- 高橋裕 (1971): 『国土の変貌と水害』、岩波新書、793、岩波書店。
- 竹本天童・古谷純一 (2008): バングラデシュにおけるサイクロン災害要因に関する事例研究。土木技術資料、50-3、14-17。
- 土木学会 (2008): バングラデシュサイクロンシドル (SIDR) 高潮水害緊急調査と調査団の概要。https://www.jsce.or.jp/report/46/files/hasegawa.pdf 2023年10月25日閲覧
- 林 泰一・村田文絵・橋爪真弘 (2008): 2007 年 11 月バングラデシュを襲ったサイクロン「Sidr」の被害調査報告 (速報)。自然災害科学、26-4、391-396。
- 松田磐余 (1991): バングラデシュの高潮対策についての若干の考察—1991 年 4 月 29-30 日に発生した災害の現地調査から—。総合都市研究 (東京都立大学)、44、155-169。
- 松田磐余 (1995): 第二次大戦後の都市水害の変遷。経済経営研究所年報 (関東学院大学)、17、186-204。
- 松田磐余 (2009): 『江戸・東京地形学散歩—災害史と防災の視点から— (増補改訂版)』、之潮。
- 松田磐余 (2011): 『開発と防災—江戸から東京の災害と土地の成り立ち』、イマジン出版。
- 松田磐余 (2013): 東京の自然災害脆弱性を検証する。地学雑誌、122-6、1070-1087。
- Barua, D. K. (1991): Hydro-morphological factors and coastal protection works in Bangladesh. Intern. Workshop “Storm Surge, River Flood and Combined Effect”, a contribution to the UNESCO-IHP project H-2-2, 257-267.
- Flierl, G. R. and Robinson, A. G. (1972): Deadly surges in the Bay of Bengal: Discussion and Storm-tide table. Nature, 239, 213-215.
- Frank, N. and Husain, S. A. (1971): The deadliest tropical cyclone in history? Bull. Am. Meteor. Soc. 52-6, 438-444.
- Matsuda, I. (1991): Standing Problems in Countermeasures for Cyclone Disaster: what is possible for Bangladesh to help itself? “Cyclone Disaster in Bangladesh”, URCD, 9-37.
- Matsuda, I. (1993): Loss of Human Lives Induced by the Cyclone of 29-30 April, 1991 in Bangladesh. GeoJournal, 31-4, 319-325.