

□気候変動がもたらす最近の水害とその縮災

関西大学社会安全学部 特別任命教授

河田 恵 昭

1. 気候変動は地球上の全自然災害の発生状況を変える

気候変動によって日本全土が、さらに雨が降りやすく、かつ雨量も多くなる国土に変わった時、地震の発生特性は変わるのだろうか？答えはYesである。たとえば、ハリケーンが豪雨を伴いカリブ海沿岸諸国に沿って時計回りに進行したとしよう。そうすると微小地震群が発生し、その中心位置がこの進行を追っかけることがわかっている。長期的に雨が降るようになると考えると、地下水位とか地層内の摩擦係数などもゆっくりと変化するから、地震の起こり方も変わるだろう、が正解である。火山噴火もそうだろう。たとえば、火口のカルデラに大量の雨が貯留するようになれ

ば、水蒸気爆発が誘起されやすいのではないだろうか。このように、気候変動は水害ばかりでなく高潮などの海象、地震や土砂災害などの地象災害というように、ほぼ全自然災害に影響するだろう。こうなると何が困るかと言えば、これまで災害が起こらなかった地域で未経験の災害が、しかもいきなり大規模災害が起こる危険性があるということだ。たとえば、2023年9月リビア洪水では数千人が死亡した。普段水が流れていない河道に突然、上流のアースダム決壊による鉄砲水が流れ、都市域を襲ったのである。2017年ハリケーン・ハーヴィーによる未曾有の豪雨によって、米国テキサス州・ヒューストンとその近郊に約千億トンの降雨があり、写真1のように、河川が氾濫して市内が広範囲に水没したほか、周辺の複数の調整地内の



写真1 米国テキサス州ヒューストン市の水没状況（2017年ハリケーンハーヴィーによる約千億トンの豪雨による河川の氾濫、ヒューストン市提供）

既成市街地も水没した。このような未経験の水害を経験すると、被害がそれほど大きくなくても政情そのものが不安定になることが起こる。たとえば、2021年7月ドイツを襲った洪水では、過去に経験しなかったような300人を超える死者・行方不明者を数え、その対応の混乱から政権与党のキリスト教民主同盟が信頼を失い、同年12月のメルケル首相の退陣につながった。これまで大きな災害が発生してこなかった諸国にとっては、気候変動は大変な脅威になっていることが理解できよう。

さて、国土交通省はすでに、1945年以降、風水害の人的被害は治水事業費によって着実に減少していることを明らかにしている¹⁾。これは、歴史的にどのように解釈すればよいのだろうか。調べてみると、過去1500年間に図1のように、死者

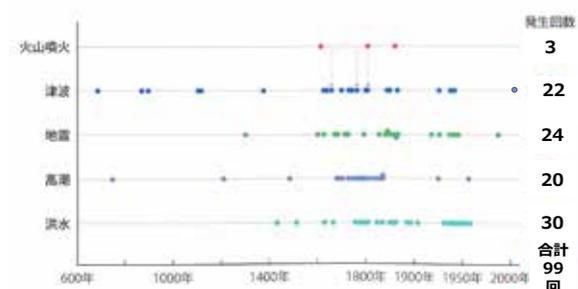


図1 わが国で過去1500年間で犠牲者が千人以上と判断できる巨大災害の災害別発生件数。世界の歴史上、これほどの激甚災害多発国は日本だけである。

が確実に千人以上だった洪水、高潮、地震、津波、火山噴火災害は99回発生し、平均15年に一回発生してきたことがわかっている²⁾。この巨大災害の中で洪水災害は最多で30回である。気候変動によってこの洪水災害がどのように変化するかは、防災対策を進める上で極めて重要な視点と言える。なお、次章以降では、風水害、洪水災害、高潮災害をすべて水害と扱うことにした。

2. 相転移「越流氾濫」が水害被害を激化させる

本当に異常出水に対してわが国の河川は大丈夫だろうか。実例を示そう。大阪湾に流入する一級河川の淀川下流の200年確率の計画高水流量は毎秒1万2,000m³である。でも複数の鉄道橋の桁高は100年確率の6,950m³のままであり、かけ替えの具体計画もない。写真2の鉄橋は、手前が100年、向こう側が200年確率で架橋されており、当然桁高が異なる。水害が発生していないのは、異常な豪雨が降らなかったからであり、河川技術者の手柄ではない。淀川水系でも上流のダム群で『流域治水』が進行中である。これを適合策と呼ぶのを躊躇したい。あくまでも改善策に留まっている。気候変動が顕著になる前から課題だったか



写真2 淀川に架かる鉄道橋（手前の阪急電鉄神戸線、宝塚線鉄橋は100年確率洪水対応、背後の京都線鉄橋は200年確率洪水対応で、前者より約1.5m高くなっている。）（筆者撮影）

らである。同じことは利根川や荒川でも発生している。2020年東日本台風で両川が水害を起こさなかったのは、たまたま2日間で豪雨が止んだからである³⁾。台風来襲時に停滞前線が関東地方に存在しておれば、間違いなく溢れていた。水害が起こった時、どのような被害が致命的なのかを予測し、これを、事前対策を含む「縮災」として軽減するという方法を筆者が明らかにした。社会現象としての相転移の発生を未然に防ぐのである^{4,5)}。筆者が水害統計を補足した図2を見ると、1996年頃以降1ha当たりの被害額が過去の数倍に突然大きくなっている。でも浸水面積はむしろ減少気

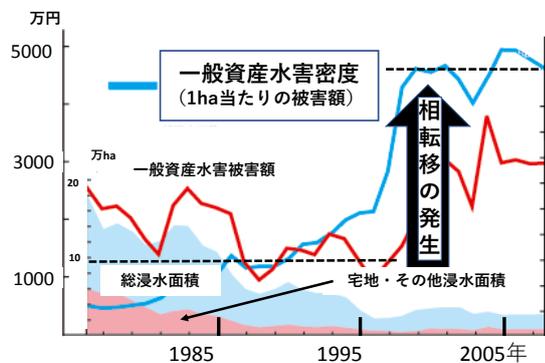


図2 国土交通省が発表した水害統計において、線状降水帯の豪雨によって、1996年辺りから破堤氾濫から越流氾濫への相転移が発生したと推定できる。

味である。この原因は、床下浸水に比べて床上浸水家屋が増加していると判断できた。筆者ら⁶⁾が2000年東海豪雨水害を調べたところ、床下浸水家屋1棟当たり0.62t、床上のそれは4.6tの水害廃棄物が発生することがわかった。後者は前者の7.4倍である。被害額もほぼこれに比例するだろう。これは社会現象としての相転移の発生を証拠であると推察され、多分、線状降水帯の発生は1996年頃から顕著になったのであろう。ではなぜ、床上浸水になるのか。それは洪水が破堤氾濫ではなく越流氾濫するからと考えられる。そのときには、内水氾濫も発生寸前だったのだろう。破堤は河川の増水過程でも起こるし、越流後にも起こるから、災害後の調査では両者の区別が難しい。しかし、2019年熊本・球磨川の水害では、堤防は3か所でしか破堤せず、橋梁群やJR肥薩線などが大被害を被ったのは高水位が長時間にわたって継続したからだと考えられる。写真3は、浸水深が深く、3階建て住宅の2階の天井まで水没したことを示している。少し高台にあった特別養護老人ホームで犠牲者が出たのは、氾濫水位の上昇が早かったからである。これは氾濫水が大量に早く堤内地に流入したからで、越流氾濫の特徴である。



写真3 2020年球磨川が越流氾濫し、堤内地では2階の天井まで水没した。浸水深が長期にわたって深くなり、鉄道橋梁の複数流失や300kmに及ぶ道床被害が発生した。写真の人吉市右岸地区ではタイムラインの発動は少し遅れたが死者はゼロだった（筆者撮影）。

つまり、破堤氾濫から越流氾濫に移行し、この相転移が市街地における床下浸水よりも床上浸水家屋が多くなっているという変化につながったと考えられる。

3. 令和6年能登半島地震で発生した相転移の教訓を水害に生かす

この地震では、耐震性に乏しい古い木造住宅を中心に全壊・倒壊によって直接死226人の80%以上が発生したことがわかっている。震度6弱以上の住民数（曝露人口と呼ぶ）が17万人であり、阪神・淡路大震災ではその13.6倍の232万人だった。したがって、能登地方にこの人口が住んでいたと仮定すれば、約3,100人が犠牲になったと推定される。この大震災では約5,000人が犠牲になったので、能登半島地震でも阪神・淡路大震災と同じ相転移が発生したのである。これは重要な事実である。被害の絶対値が小さいからと言って、相転移が起こらなかったと考えてはいけないのである。これは都市災害と共通する現象である。都市災害で相転移が起こる確率は、人口が過大になればなるほど大きくなるが、これと同じなのである。

このように考えれば、平成30（2018）年7月豪雨災害（西日本豪雨）で発生した13タイプの水害現象（連滝災害と呼ぶ）は、人口密度が大きな地域で起これば、相転移になって被害が大きくなるだろう。それらは、河川の上流では、土砂崩れ、斜面崩壊、大量の流木の発生、河床埋没、集落への濁流の直撃、ダムの緊急放流、中流では、橋梁での流木堆積、湾曲部での流砂の大量堆積、市街地や農地への洪水氾濫、下流では、内水と外水の同時氾濫、堤防決壊、浸水域の拡大、ライフライン被害などである。そして、気をつけなければならないのは、水害後の被害調査である。たとえば、2015年鬼怒川が洪水氾濫して多大な被害が発生したが、これは越流氾濫という相転移が起こした災害である。洪水後の調査では堤防の破堤箇所が広範囲に見つかっているので、増水して破堤によっ

て氾濫が卓越したと誤解しがちであるが、破堤前に越流氾濫がすでに始まっていたと考える方が合理的なのである。このように考えるとレジリエンスを国土強靱化と訳して、その政策を2013年から進める日本政府の方針を変更する必要があることに気づく。図3は縮災の模式図である。レジリエンスは“回復が早い”とか“打たれ強い”とかを表す事後対策である。これは欧米先進国のように被害が小さな自然災害が卓越する場合に適用できる。しかし、わが国のように未曾有の被害が想定される場合にはレジリエンスでは不十分で、図3のような事前対策としての予防力を発揮しなければならない。だから、縮災（災害レジリエンスとも呼ぶ）でなければならない。事前に相転移現象の発生が予測できれば、予防力が期待出来て、一般災害と見なすことができるのである。いま、発生が心配な南海トラフ巨大地震や首都直下地震では具体的な相転移を事前に見出すことができれば、被害は激減するのである。しかし、多くの災害研究者は、そもそも「相転移」なるものを理解できないという問題を抱えている。だから、何時まで経っても旧来の被害想定に縛られてしまって、有効な対策を見出せないのだ。

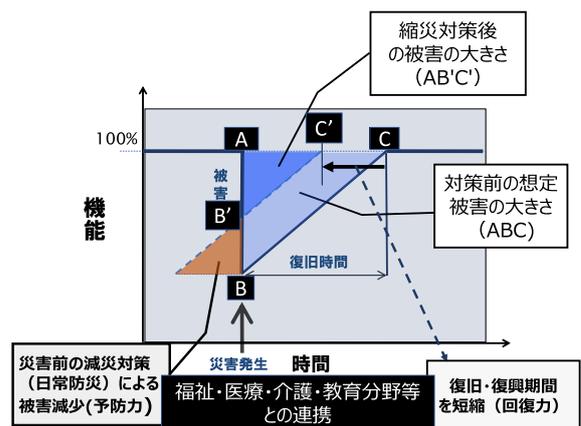


図3 縮災の模式図で、事前対策の予防力と事後対策の回復力（レジリエンス）を組み合わせる必要があることを示す図。縮災（災害レジリエンス）では、福祉、医療、介護、教育などの共通的社会資本も視野に入れた対策が必須

4. 都市水害対策は喫緊の課題

最近、土木学会は巨大災害の経済被害推計を報告した⁷⁾。ただし、この被害額を鵜呑みにしてはいけない。経済被害は、定量的に評価できる項目が全体のおよそ30%であるから、実際に起これば3倍に膨れ上がると考えておかなければならない。報告によれば、世界の平均気温が2度上昇し、降水量が増えると109水系の一級河川で合計537兆円の被害が出る可能性があるとして指摘している。実際には1,500兆円に達することも覚悟しておく必要がある。たとえば、線状降水帯が東京都心部を襲えば、わが国の経済の中心である丸大有地区は、内水氾濫によって床下浸水や地下空間が浸水する危険が大きい。これに加えて日本橋川などが外水氾濫すれば、未曾有の地下空間水没災害になりかねない。すでに1945年以降、豪雨で皇居の堀の水が4度溢れ、浸水した日比谷交差点で魚が泳いでいたという話も伝わっている。東京メトロの出入り口には、この程度の出水に耐える浸水対策が講じてあるが、商業ビルでは床下浸水するだけで地下駐車場だけでなく、付近の地下通路網の浸水・水没は免れない。とくにJR東京駅付近では大深度地下空間利用が進んでいる。そして、浸水すれば長期化が避けられないことも広報していない。これは、高潮災害についても共通する危険の存在を提示している。なにしろ、土木学会によれば、東京の高潮災害被害は115兆円、大阪のそれは191兆円と想定されている。大阪の被害が大きいのはゼロメートル地帯が都心部と重なっているからであり、算定されていないが名古屋の被害もこれらに匹敵する額であろう。一級河川の洪水被害も、利根川、荒川、淀川などの大都市域を流れる河川の氾濫災害では、未曾有の被害になることは容易に想定される。とくに心配であるのは、電線の地中化の進行である。これが都心部の減災の切り札のように考えられているが、ゼロメートル地帯でこれを進めると、浸水災害が起これば逆に

停電が長期化することにつながりかねないことが忘れ去られている。なぜなら、市街地の送電系統には変圧器は必須であるが、熱が発生するから、外気を導入する必要がある、その過程で浸水する危険を勘案しておかねばならない。事業を進める側は長所しか言わないし、被害は発生しないことにしがちだからだ。図3に予防力と回復力に大きく関係するものとして医療や介護を指摘してあるのは、水害を念頭に入れた結果である。最近、都市で病院が開業される場合、高価な医療器具を用いる検査室は、2階以上のフロアに位置するのが標準となっている。これは水没すると被害が大きだけでなく、復旧に長時間を要し、医療活動の継続が困難になるという理由によるものである。

5. 水害対策では気候変動に対処する緩和策と適応策では不十分

これからの水害対策のあり方を図4によって説明しよう。この図は、温室効果ガスなどを減少して地球温暖化の進行を遅らす緩和策と防災対策を充実させて被害を少なくできるという適合策の関係を示す模式図である。そして、政府が進める「流域治水」などの水害対策は、学識経験者と行政者の合意の下で施行されている。何が問題なのか？

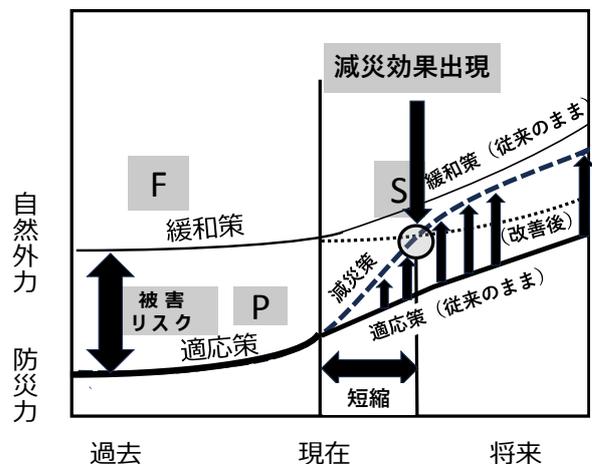


図4 縮災では、従来の気候変動の緩和策と防災力の適応策だけでは不十分で、新たな減災策によって相転移の発生を防ぐ必要があることを示す図

それは、実効的な対策までの時間的な悠長さは許されないということである。なぜなら、線状降水帯のような異常な豪雨が頻発する現状では、適応策が緩和策に次第に近づくような悠長な計画では破綻するということであろう。したがって、図中の破線で示した減災策のように至急強化して、緩和策を強力に進めてそれを示す点線との交点Sを早く実現させなければならないということである。破線のような減災策を施行しようとするれば、現在の災害対策基本法を改正しなければならない。この法律は、被害が先行することを前提としているからだ。図中矢印で「短縮」と書いたように、現在の防災政策の展開は後手後手になっているのである。たとえば、一級河川では起こり得る洪水規模（千年に一度程度起こると考えればよい）を対象としたハザードマップは公開されているが、どのような重大な被害が起こるのかについての情報は皆無である。どのような危険があるのかを示すのがハザードマップであり、浸水域を示せば終わりではないのである。しかも、学識経験者もこの具体的な減災策は行政当局（わが国の場合は国土交通省）の問題で、自分たちは適切なアドバイスをすることが役目だと誤解している。行政当局は条例や法律として明記されなければ仕事はできない、あるいは当面現状のままでも良いと判断している。だから、現在、一級河川で100年確率洪水に堪える鉄道橋と200年の鉄道橋が併存するという、写真2のような、危険な状態が継続しており、政府主導で早急に解決しようという努力が必要だろう。

現在進めている「流域治水」の限界は、2020年球磨川水害で露呈した。だから、熊本県は流水型の「川辺川ダム」建設に舵を切ったのである。あのような異常な豪雨があると、このダムがたとえ完成していても防げなかったことが明らかになったからである。だから従来の流域治水も同時に施行するという形で治水対策を進めることになった。これまで、適応策が必ずしも「適応できない」と

いう現実があった。しかし、筆者が社会現象として「相転移」を事前に見つけることができれば、事前対策として被害を劇的に減らせることを明らかにした。図3でABCからAB'C'のように、面積を小さくできるのである。

わが国では、防災分野に関心を持つ文系および理系の大学生、大学院生には、標準的な履修科目として熱力学が用意されておらず、「相転移現象」を知る機会がない。筆者は工学研究科土木系の大学院生時代にたまたま、機械工学科で流体力学と熱力学を履修することができた。その知識に基づきアナロジーを適用して社会現象としての相転移を発見し、それが大災害予防の特効薬の役目を果たすことを明らかにした。これから心配な水害に対しても、可及的速やかに相転移を利用した縮災対策を進めていただくことを期待したい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局防災課災害対策室作成資料 (2002)
<https://www.mlit.go.jp/river/dam/main/shinngikai/kondankai/dam/pdf3/no1-1.pdf> (3月20日確認)
- 2) 河田恵昭：自然災害の変遷と課題、そして今後の対応、土木学会誌、Vo.99、No.11、pp.46-49、2014
- 3) 河田恵昭：首都圏内での水害リスク、特集 水災害対策、積算資料公表価格版、経済調査会、pp.8-12、2020
- 4) 河田恵昭：巻頭随想 社会現象の「相転移」発生を防ぐのが防災対策の鍵、消防防災の科学、消防防災科学センター、No.144、pp.4-7、2021
- 5) 河田恵昭：相転移する社会災害への対処—COVID-19と豪雨災害の場合—、社会安全学研究、第11巻、pp.37-56、2021
https://www.kansai-u.ac.jp/Fc_ss/center/study/pdf/bulletin011_11.pdf (3月20日確認)
- 6) 平山修久・河田恵昭 (2005)：水害時における行政の初動対応から見た災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究、環境システム研究、Vo.33、pp.29-36.
- 7) 「2023年度 国土強靱化定量的脆弱性評価・報告書」の第一弾の報告書（首都直下地震・巨大洪水・巨大高潮）：日本経済新聞：2024年3月15日朝刊記事参照