

# 国際防災・人道支援フォーラム 2025 II

International Disaster Reduction Alliance Forum (DRA Forum 2025 II)



基調講演

Keynote Lecture

開催日時

令和7年(2025年)9月17日水

Date & Time

September 17, 2025 (Wednesday)

## 「社会現象の相転移とそれを活用した事前防災対策」

Phase Transition in Societal Phenomena  
and Its Application to Pre-Disaster Reduction

河田 恵昭 • Yoshiaki Kawata

国際防災・人道支援協議会会長、人と防災未来センター長

Chairperson, Disaster Reduction Alliance (DRA) /

Executive Director, Disaster Reduction and Human Renovation Institution (DRI)





---

## 国際防災・人道支援フォーラム 2025 II

International Disaster Reduction Alliance Forum (DRA Forum 2025 II)

---

### Contents もくじ

#### P.01 Japanese – 基調講演 資料



#### 社会現象の相転移とそれを活用した事前防災対策

河田 恵 昭

国際防災・人道支援協議会会長、人と防災未来センター長

#### P.08 English – Keynote Lecture Materials



#### Phase Transition in Societal Phenomena and Its Application to Pre-Disaster Reduction

Yoshiaki Kawata

Chairperson, Disaster Reduction Alliance (DRA) /

Executive Director, Disaster Reduction and Human Renovation Institution (DRI)

基調講演 Keynote Lecture

# 社会現象の相転移と それを活用した事前防災対策

## 1. はじめに

最初に私の災害研究へのかかわりについて紹介したい。私自身が30歳代であった1976年から1985年までの日本では、死者が1,000人を超えるような大災害は発生していなかった。そのような社会状況で、本当に1,000人を超える大災害がおこらないのかと自問自答をし、“それは大都市で起こる”という結論に至った。そこで、フルブライト奨学金制度の上級研究員として、プリンストン大学に留学し、「都市災害」にテーマを絞って研究を本格化することとなった。

研究を進めていく中で、都市で起こる災害は人口と人口密度が増加するにつれ、人口が疎な地方で発生する「田園災害」から「都市化災害」・「都市型災害」・「都市災害」・「スーパー都市災害」へと進化していくことがわかった。とくに、「都市災害」や「スーパー都市災害」では、都市人口と死亡率から算定される数をはるかに上回る死者数となることがわかり、人口と人口密度が一定値を超えると被害が急増する“何か”が起こることを見出した。これが社会現象の『相転移』である。

この研究論文が1991年日本自然災害学会学術賞を受賞し、その4年後、世界初の都市災害となる阪神・淡路大震災が起こり、事前に予測したとおり、甚大な被害が発生することとなった。

## 2. 社会現象における『相転移』

災害研究の中で、人口と人口密度が高い大都市で起こる災害では、何らかのきっかけがあれば、劇的かつ不連続に人的被害が拡大する現象が確認された。これは、1923年の関東大震災での東京市と横浜市、1985年のメキシコ地震でのメキシコ市で実際に発生したことが確認され、これらを社会現象における『相転移』であると指摘した。【図1】では、都市と国の人口密度比を都市災害増幅指標  $R$  (横軸) として、東京市 (T)・横浜市 (Y)・メキシコ市 (M) の実際のデータを示した。この図から、大都市では地震が発生すると、犠牲者が人口に比例する下部の曲線から大きく乖離していることがわかったのである。下部の曲線は、 $R$  がいくら増加しても  $\alpha_1$  が小さくなって、その積が1となつて、 $R$  の効果、すなわち人口が過密であることの影響

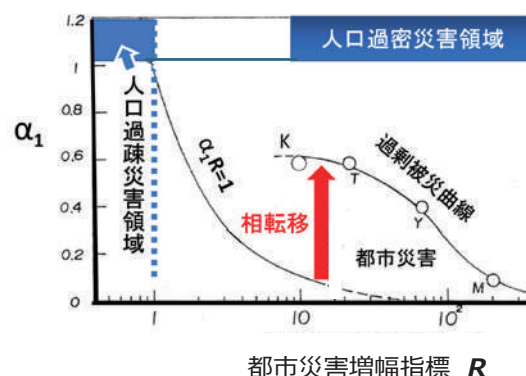


図1 都市災害で起こる人的被害激増の相転移

がないことを示している。一方、上部の過剰被災曲線は、たとえば、 $R = 50$  の場合（東京都心 23 区）、 $\alpha_1$  が図から 0.4 となり、 $\alpha_1 \times R = 20$  となる。すなわち、東京都心 23 区で災害が発生した場合には、死亡率は最悪 20 倍も大きくなることを示している。したがって、両曲線の間にデータが位置する場合は、『不完全な相転移』が発生したと解釈できるのである。この図を公表後、1995 年に阪神・淡路大震災が発生したが、その時の神戸市のデータが図中 K で示されており、過剰被災曲線上に位置しており、相転移が発生したことを表している。

『相転移』とは、熱力学の用語で、一定の外的条件のもとで 1 つの相から別の相へ移ることをいう。合成ダイヤモンドやリチウム電池は、相転移を利用して製造している。一番身近な例は、水が温度により氷（固相）・水（液相）・水蒸気（気相）へと変化することであり、このような目に見える変化を一次相転移といい、同相でも密度や磁性などの物性による変化で目に見えない変化を二次相転移という。つまり、都市で起こる災害は、『相転移』が起こることによって都市化災害からスーパー都市災害へと進化すると指摘したのである。こうした社会現象における『相転移』が発生し、都市災害となった事例について、阪神・淡路大震災以降の災害で振り返ってみる。

## （１）地震・津波災害

### ①阪神・淡路大震災

世界初の都市災害となった阪神・淡路大震災では、1995 年 1 月 17 日 5 時 46 分、淡路島北部を震源地とするマグニチュード 7.3 の地震が発生した。国内で史上初となる震度 7 を記録し、死者・行方不明者は 6,400 人を超え、全半壊などの被害を受けた住宅は約 240,000 棟にのぼった。

1923 年の関東大震災で犠牲になった 109,000 人の約 9 割が火災で亡くなっていたため、都市における震災では、広域延焼火災が起これなければ未曾有の人的被害は発生しないと当時考えられていた。しかし、阪神・淡路大震災では、直後の犠牲者である約 5,000 人は古い木造住宅の全壊・倒壊が原因とされており、火災が原因とされている犠牲者は約 500 人だった。これは神戸市の密集市街地、例えば長田区の当時の人口密度は約 13,000 人 / km<sup>2</sup> で、そこに老朽木造住宅が凶器となり、『相転移』が生じ

たためである。前述した都市災害で起こる人的被害の相転移（【図 1】）の神戸市（K）のデータを見ても、ほかの例と同様に犠牲者と人口が比例する下部の曲線から大きく乖離して、完全に相転移が発生していることがわかる。

### ②東日本大震災

東日本大震災では、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の地震が発生した。死者・行方不明者は 22,000 人を超え、全半壊の被害を受けた住宅は 200,000 棟にものぼった。津波による犠牲者は約 15,000 人であったが、これは想定外の大きな津波によるものではなく、住民の約 3 割がすぐに避難しなかったことが大きな要因とされている。地震後、津波が真っ先に来襲した岩手県沿岸でも約 30 分の避難時間があったことからわかるとおり、住民が避難しなかったという『相転移』が生じたのである。

## （２）豪雨災害

近年、線状降水帯による豪雨災害が増加しているが、国土交通省「河川データブック 2020」で公表している水害被害の経年変化を見ると、その理由がわかる（【図 2】）。水害による総浸水面積や宅地・その他浸水面積が経年的に漸減しているにもかかわらず、1996 年頃から一般資産水害密度（1 ha 当たりの被害額）が不連続に増加し、『相転移』が起こっていることを示唆している。実際に 2012 年以降、毎年のように豪雨災害が発生し、それらの多くは線状降水帯によるものとされている（【表 1】）。それ以前の 1996 年以降の豪雨被害については、線状降水帯が原因であるという認識がなかったことが原因となっていると推察される。

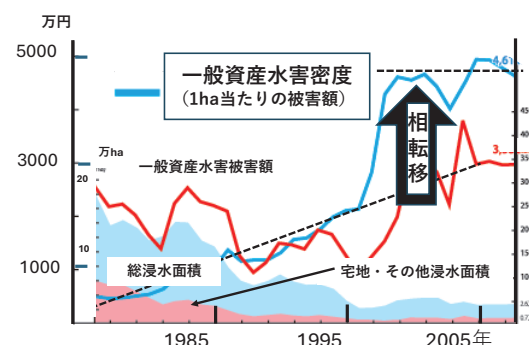


図2 水害被害が破堤氾濫から越流氾濫に変化して発生した相転移

表1 近年の線状降水帯による豪雨災害

2012年7月	九州北部豪雨	死者	30人
2013年8月	秋田・岩手豪雨	死者	8人
2014年8月	広島土砂災害	死者	77人
2015年9月	関東・東北豪雨	死者	14人
2017年7月	九州北部豪雨	死者	42人
2018年7月	西日本豪雨	死者	245人
2019年8月	九州北部豪雨	死者	4人
2020年7月	令和2年7月豪雨	死者	85人

従来の洪水氾濫は、豪雨による増水が原因で堤防が決壊し、破堤氾濫へとつながるものだった。しかし、近年の豪雨では、既往最大雨量の2倍などといった並外れたスケールとなる場合もある。こうした場合には、河川の増水が早くなることで、破堤の前に越流氾濫が起こり、破堤氾濫に比べて堤内地（ほとんどの場合、市街地）への氾濫流量が多く、当然被害も大きくなっていく。さらに、外水氾濫よりも内水氾濫が先行することで被害が激甚化する恐れもある。つまり、洪水氾濫の発生特性と社会経済被害の出方が変化するという『相転移』が生じたのである。

【表1】で挙げた中で、令和2年7月豪雨について紹介する。2020年7月3日から7月31日にかけて、熊本県を中心に九州や中部地方など、日本各地で集中豪雨が発生した。特に被害が甚大だった球磨川流域では、多くの観測所で観測史上最大雨量が記録され、球磨川水系では2箇所の堤防決壊、3箇所の堤防越水・8箇所の溢水が発生した。これらの結果、約1,060haが浸水し、熊本県では死者・行方不明者が60人を超え、住宅被害も全半壊が約4,500棟、床上浸水が約700棟、床下浸水が約600棟にものぼった。

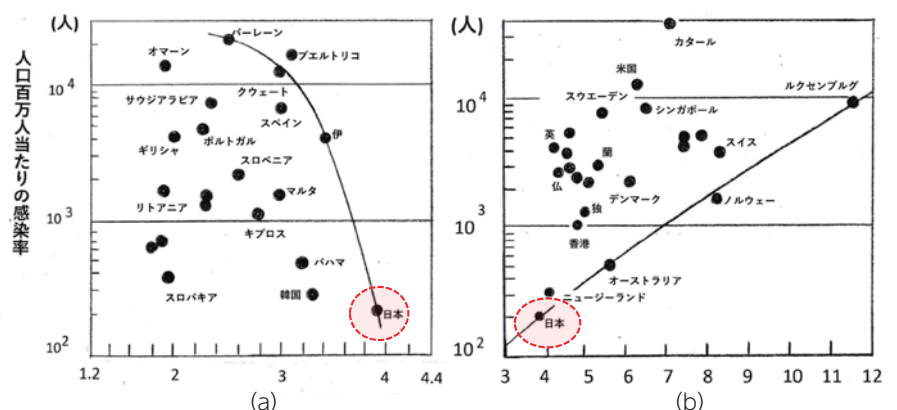
### (3) 感染症

都市で発生する災害として、地震や豪雨などの自然災害のほか、感染症も対象となる。新型コロナウイルスは、2019年12月頃に中国の武漢周辺から始まったことが定説となっているが、その後、パンデミックが起こり、数年間にわたり世界中で猛威を振るった。感染症拡大のメカニズムは、クラスター（感染者集団）が形成されると、そこを経由して感染者が移動し、新たなところで別のクラス

ターが発生する、つまり典型的な人流のネットワークを経由することにある。新型コロナウイルスの感染がパンデミックとなり、かつ長期化した要因は、2つの『相転移』が発生したからである。1つ目は、クラスターとなる大都市の多さである。現在、世界には百万人都市が約380もあり、総人口も80億人と急増している。1次相転移としての感染拡大は、それぞれの大都市で容易に起こった。2つ目は、人流や物流を含む社会経済活動をネットワーク化したことである。これらのネットワーク化により、短時間かつ大量の移動が可能となり、さらに感染拡大が加速されるという2次相転移が起こったのである。つまり、ネットワーク構造でいえば、感染症拡大はクラスターがノード（点）となり、感染者の移動がエッジ（線）となってパンデミックとなったわけである。

## 3. 減災

新型コロナウイルスの感染症拡大が進む中で、日本は感染率が低いと言われていたが、【図3】を見ていただきたい。2018年の世界各国の国民1人当たりの名目GDPと2020年7月下旬の新型コロナウイルスの感染率の関係を示したものである。日本のGDP26位を基準に、【図3】の左(a)が27位から50位まで、右(b)が1位から25位まで、感染率が公開されている国のみを示した。(a)では、GDPが増加するにつれて感染率が減少していることがわかる。これはGDPが増えれば、ライフラインなどの社会のインフラが充実し、生活環境が向上する — 例えば、上下水道が普及し、医療水準が上がると感染率が低下するこ



## 社会現象の相転移とそれを活用した事前防災対策

とを示している。つまり、目に見えるかたちとして環境や設備などを充実させることで被害を抑止する“文明的防災”が関係している。一方、(b)では、GDPが増加するにつれて感染率が増加している。これは、経済的な豊かさが社会の豊かさに必ずしも寄与していない — 例えば、移民による人種差別や所得による医療格差などが生じていることを示している。つまり、目に見えない形のサービスや機能を充実させることで被害を軽減させる“文化的”防災が関係しているのである。

自然災害においては、人びとが何を被害と考えるかという価値観が多様化するにつれ、被害への対応が困難になってきている。2016年の熊本地震では、避難所の被災者から必要な物資として500を超える品目が挙げられた。これを聞いてどう感じるだろうか — 500品目全てが揃わないことを被害するのか、日常生活に不可欠なもので避難生活では手に入らないものが揃わないことを被害とするのか。災害の最終目標は被害者の生活再建とされてきたが、これまで被害と考えられてきたものの多くは、“文明的”被害であって、日常生活を営む上で大切な“文化的”被害が見過ごされてきた可能性が大きい。わかりやすく言えば、“文明的”被害は「あらねばならない」、「文化的」被害は「あった方がよい」ということである。新型コロナウイルスの感染拡大を経験して、“文明的”・“文化的”という視点があることに気付いたのである。

これらの考察の結果として、“災害文明”とは「防災や減災に関係した形あるもので、主として私たちの物質的環境に関係し、技術・工学・医学・発明・社会基盤システムなどの客観性を有するもの」、「災害文化」とは「防災や減災に関係した形のないもので、主として私たちの生活様式に関係し、哲学・芸術・宗教・制度・風習・習慣・知恵などの精神的な日常生活に関わるもの」と定義した。それらの具体的な特徴を【表2】に列記した。日本では、明治以降“文明的”防災を重視して発展した一方で、従来から育んできた“文化的”防災を軽視した結果、“文化的”防災が衰退し、人びとの日常防災の能力が低下した。代表的なのが消防団で、その高齢化と社会的な価値を高めるような国民運動がない、などといった理由から、団員の希望者が減少する一方であるなど、衰退傾向が止まらない状態となっている。今後は、日常生活を営む上で智慧に相当する“災害文化”を“災害文明”の上に位置付けるパラダイムシフトが必要となってくる（【図4】）。

表2 災害文明と災害文化の特徴

災害文明	災害文化
<ul style="list-style-type: none"> <li>• へしねばならない。</li> <li>• へそうなるべきだ。</li> <li>• 正解がある。不確実性はない。</li> <li>• 科学は答えを教える。</li> <li>• 科学の成果と政治を連動させる。</li> <li>• Best solution（最善の解）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• へしたほうがよい。</li> <li>• へそうなるほうがよい。</li> <li>• 正解でないかもしれない。不確実性がある。</li> <li>• 科学だけでは答え難い。</li> <li>• 科学と政治には境界がある。</li> <li>• Best effort（最善の努力）</li> </ul>

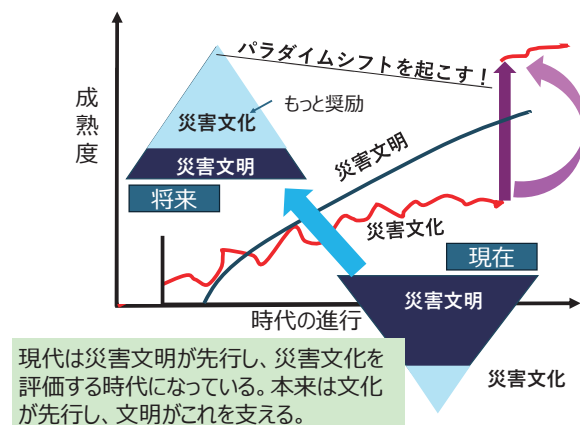


図4 災害文明から災害文化へのパラダイム・シフトを表す（左上の三角形のように、災害文化は災害文明の上位に位置して、両者は調和的でなければならない）

## 4. 国難災害に臨む準備

### (1) 被害拡大への対策

自然災害の被害や感染症の経路拡大過程がネットワーク的であるという視点で考察を進めると、国難災害に当てはめて検討することができる。

もし、首都直下地震が発生した場合、複合災害がノード(点)になり、連滝災害(連続滝状災害)がエッジ(線)となって時空間的に被害が拡大していくことが想定できる。複合災害として、まず挙げられるのがライフラインだが、それ単体の被害だけでは止まらず、新たな複合災害を惹起する。停電、断水、都市ガスの供給停止、通信途絶、交通(道路・鉄道・空港)障害のほか、金融・医療・福祉・教育などの機能障害も候補として挙げられる。この中でもっとも深刻なのが停電といえる。その他多くのライフラインの機能不全へとつながり、大きな影響を及ぼすことになるからである。

さらに、停電(一次の相転移)の複合災害(二次の相転移)の先にある三次災害とされる連続滝状災害

表3 首都直下地震時に発生する長期広域停電の相転移で発生する複合災害と連淹災害

連淹災害 (Cascading disaster)	複合災害 (Compound disaster)
<p>〈例：停電が引き起こす三次災害〉</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. エレベーターの停止・閉じ込め</li> <li>2. あらゆる交通機関が停止</li> <li>3. 高速道路通行止め</li> <li>4. 首都圏の人流・物流停止</li> <li>5. 断水</li> <li>6. 情報ネットワークダウン</li> <li>7. マンション生活が不可能</li> <li>8. 企業活動、文化活動停止</li> <li>9. 学校教育停止</li> <li>10. 在宅勤務不可能</li> <li>11. ホテル・宿泊施設の利用不可</li> <li>12. 徒歩のみによる移動可能</li> <li>13. 百貨店・大型スーパーの閉店</li> </ol>	<p>〈例：停電が引き起こす新たな二次災害〉</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 病院災害 1673病院（首都圏の68%）が震度6弱以上、約25万人の入院患者を東京電力のサービス地域外に転院必要</li> <li>2. 燃料災害 石油精製（全国の31%に相当）が不能でガソリン、軽油などが不足（全国の32%を消費）など</li> <li>3. 食料災害 首都圏で1日約2万トン消費する食料とペットボトルの飲料水の供給停止</li> <li>4. 情報通信災害 電話、インターネット、電子決済の利用不可、テレワーク不可能</li> <li>5. 避難所災害 災害救助法が破綻し、首都圏脱出、全国広域避難</li> </ol>

（三次の相転移）にはどのようなものがあるのだろうか。実際に停電になった場合の複合災害・連続淹状災害の例を【表3】にまとめた。こうした自然災害の多くは、地域的な広がりにおいて時空間分布が発展形であるため、被害拡大途中でその軽減策や抑止策を適用できる場合がある。

一方、前述したとおり、新型コロナウイルスの感染拡大はクラスターがノード（点）となり、感染者の移動がエッジ（線）となってパンデミックとなった。感染症の場合は、一定期間は特效薬がなく、急激な症状の悪化を防ぐための一般的な治療法でしか措置することができないため、発症直後の拡大対策は不可能であるという点に注視する必要がある。

## （2）復旧・復興の対象

社会インフラの定義についても再考が必要となってきた。これまで災害が起こると被災者の生活再建のために、電力、水道、鉄道、道路などの基幹インフラの復旧が最優先で行われてきた。その定義は、土木工学的な発想で行われてきており、近年の災害で教育・福祉・医療施設等の被害が発生しているにも関わらず、特殊な事例として取り扱われてきた。

こうした施設とその機能に対する被害の復旧・復興の重要性が改めて認識された事例として、令和2年7月豪雨における球磨川流域の被害について紹介したい。球磨川流域では、4つの鉄道橋が流失して約1,200人の高校生の登

下校が困難となり、人吉市では道路橋が破壊されて全校生徒の7割となる小学生が通学できなくなるなどの被害が報告された。学校施設の被害だけでなく、生徒・学生の通学路である私道の安全確保や鉄道の輸送機能回復なども重要で、対策が必要となることがわかった。被災した人吉市の住宅地をみると、球磨川の堤防は上流から下流にかけて2箇所しか破堤していないにも関わらず、大出水が原因で越流氾濫が発生したため、浸水対策を考慮したピロティ構造の住宅も2階の天井まで被災する大きな被害となっていることがわかる（【図5】）。さらに、道路橋と鉄

道橋が合計17も落橋しただけでなく、手前に写っているJR肥薩線や第三セクターの道床、通信柱・ケーブルなどが延長370kmにわたって被災した。

また、入居者14人が犠牲となった高齢者福祉施設「千寿園」は、2024年に別の場所に再建されているが、もし廃園となっていれば100人を超える入居者や待機者が路頭に迷うところであった。球磨川流域には同種施設が27あり、推定2,000人近くの入所困窮者が発生することも推定された。人吉市だけで見ても、44の医院、25の歯科医院が地域医療に貢献しているが、その多くも被災した。一般的に、医療機器や医療器具は水損するとほぼ修理ができないことから、診療再開までに長時間を要することが多い。このため、水害での被害は地震よりも大きいとされている。こうした被害への対応も重要となってくる。



図5 令和2年7月豪雨による球磨川の越流氾濫に伴う熊本県人吉市の住宅被害

### (3) 「縮災」という考え

人吉盆地は、人が住む前は球磨川で発生する“洪水の遊び場”であった。その地に暮らすのであれば、洪水とどのように付き合えばよいかという視点が必要である。2009年に「ダムによらない治水」を選択した球磨川流域の関係者は、地球温暖化で線状降水帯が形成され、想定外の降雨が球磨川流域に発生するとは想像もしていなかっただろう。過去は振り返ったが、将来はこれほど変わるとは気付けなかったのである。想定外の洪水が発生しても、安寧で中庸な共生社会を創る努力が求められる。

球磨川は日本3大急流河川の1つであり、流域に降った雨が急激に川に集中するという宿命的な特徴もっている。「緑のダム」などによる雨水の貯留効果がほとんど期待できず、洪水流量を減らすか、下流の河道狭窄部を拡幅して、流下能力を大きくする方途しかない。しかし、後者を選択すれば、下流の八代市等が現在以上に危険になることがわかっている。そうすると、残された方法はダムの築造である。すでに流域住民はピロティ構造による住宅の建設、居住地地盤のかさ上げなど、自助・共助の努力を行っている。それでも被災したため、①電力、②水資源、③洪水調節などの多目的な公助努力が必要とされている。①では、脱原発社会を目指し、クリーンな再生エネルギーの切り札となるのが水力発電であり、安定的な発電量も期待できる。②は、地球温暖化の進行とともに全国的に洪水と渇水という極端現象がさらに激化することが予想されている。熊本県は地下水が豊富であるが、広域渇水になれば地下水位が低下し、上水道源や農業用水が将来不足するリスクがある。③では、想定外の大洪水に備え、縮災対策としてのダム建設が重要となる。球磨川は令和2年7月豪雨で「ダムによらない治水」の限界を残念ながら経験することになってしまった。否が応でも、新たなリスクの存在を前提にしなければならなかったのである。

縮災とは、減災の具体的方法を示すものである。事前の予防力と事後の回復力から構成され、それぞれの内容を検討しなければならない。前述したとおり、近年では被害が福祉、医療、環境、教育などへと拡大しているため、これらと重なる“連接対応”が必要となっている（【図6】）。

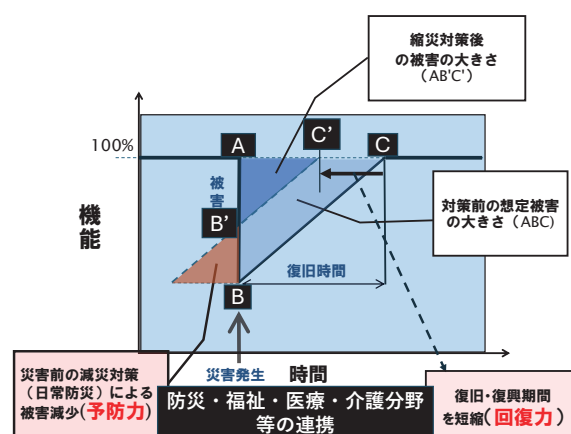


図6 縮災による事前防災（予防力）と事後防災（回復力）

## 5.おわりに

これまでの考察結果は、将来の大災害を予見することが可能なことを示唆している。なぜなら、災害によって『相転移』が起こらないようにすることによって、事前の防災対策が役立つからである。そこで、何が『相転移』を引き起こすのかが不明な現在では、その候補を見出すことが喫緊の課題となっている。また、『相転移』を起こさない対策の推進も同時に重要な課題となる。

“災害文明”に属する対策は、財源と時間が必要で、實際上、実現不可能に近いといえる。そうすると、“災害文化”に属する対策として、自助と共助で何ができるかを考えて、まず実行することである。例えば、食料と水の備蓄を増やす、安否確認の方法を話し合う、家に閉じ込められないように家具を配置する、などの自助だけでなく、近所の人と一緒に避難する、近所の高齢者などの避難行動要支援者を気にかけてあげる、逃げ遅れたら近所の高い建物に避難させてもらう、などの共助である。多くの人びとが、個人的に「～したほうがよい」ということを思い浮かべて、実行することが望まれる。また、『相転移』を起こさない対策を進めるには、前述してきた考察結果のロジックを理解することが必須であり、その理解の進捗が将来起こり得る災害による被害の軽減と抑止につながっていくと考えられる。

## 参考文献

- 1) 河田恵昭 (1995) : 都市大災害、近未来社、pp.233.
- 2) 河田恵昭 (2021) : 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. ([https://www.kansai-u.ac.jp/Fc\\_ss/center/study/pdf/bulletin011\\_11.pdf](https://www.kansai-u.ac.jp/Fc_ss/center/study/pdf/bulletin011_11.pdf)) (2025 年 8 月 5 日確認)
- 3) 河田恵昭 (2021) : 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、Vol.144, pp. 4-7.

Keynote Lecture 基調講演

# Phase Transition in Societal Phenomena and Its Application to Pre-Disaster Reduction

## 1. Introduction

This study was motivated by my early concerns regarding the future of large-scale disasters in Japan. During the decade from 1976 to 1985, when I was in my thirties, Japan experienced no major disasters that resulted in more than 1,000 deaths. In that social context, I kept asking myself whether such large-scale disasters were truly a thing of the past. Eventually, I came to the conclusion that such a catastrophic event would most likely occur in a major metropolitan area. Based on that insight, I pursued advanced research in the United States as a senior Fulbright scholar, where I concentrated my studies on the theme of “urban disasters” at Princeton University.

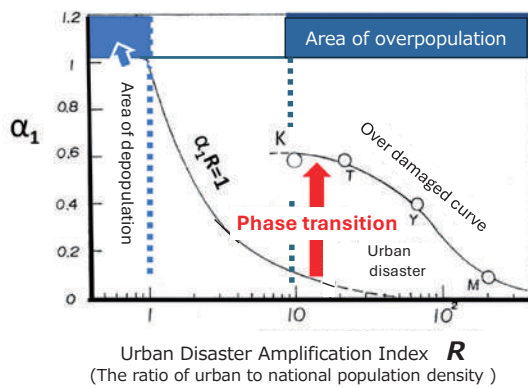
As my research progressed, I found that disasters occurring in urban areas tend to evolve along with increases in population and population density. These disasters develop through stages—from “rural disasters” in sparsely populated regions to “urbanizing disasters,” “urban-type disasters,” “urban disasters,” and finally “super-urban disasters.” In particular, in the cases of “urban disasters” and “super-urban disasters,” the actual number of fatalities far exceeded the projections based on urban population and average mortality rates. This indicates that when population and density surpass a certain threshold,

some nonlinear and abrupt phenomenon causes damage to increase explosively. This is what I define as a Phase Transition in Societal Phenomena.

This research paper received the Academic Award from the Japan Society for Natural Disaster Science in 1991. Four years later, the Great Hanshin-Awaji Earthquake struck—what would become the world’s first major urban disaster—resulting in enormous damage just as I had predicted in advance.

## 2. Phase Transition in Societal Phenomena

In the course of disaster research, it has been confirmed that disasters occurring in densely populated urban areas can lead to a dramatic and discontinuous escalation of human casualties, triggered by certain catalysts. This phenomenon was observed in historical events such as the 1923 Great Kanto Earthquake in Tokyo and Yokohama, and the 1985 Mexico City Earthquake. These cases were identified as instances of Phase Transition in Societal Phenomena. Figure 1 plots actual data from Tokyo (T), Yokohama (Y), and Mexico City (M), using the urban disaster amplification index  $R$  (the ratio of urban to national population density) on the horizontal axis. The figure



**Fig.1** Phase transition of sharp increase in human casualties caused by urban disasters

shows that in large cities, when an earthquake strikes, the number of casualties significantly deviates from the lower curve that represents proportional fatality rates. That lower curve demonstrates that even if  $R$  increases, the multiplier  $\alpha_1$  decreases in such a way that their product remains 1 — suggesting that increasing density alone would not affect disaster severity. However, the upper curve — representing excessive disaster losses — indicates that when  $R = 50$  (e.g., Tokyo's 23 central wards),  $\alpha_1$  becomes 0.4, so  $\alpha_1 \times R = 20$ . In other words, if a disaster occurs in central Tokyo, the mortality rate could be as much as 20 times higher. If data points fall between the two curves, this is interpreted as an 'incomplete Phase Transition in Societal Phenomena.' After this graph was published, the Great Hanshin-Awaji Earthquake occurred in 1995. Kobe City's data, plotted as K in Fig.1, lies on the upper curve, indicating that Phase Transition in Societal Phenomena did in fact occur.

The term 'Phase Transition' originates from thermodynamics and refers to the change from one state to another under certain external conditions. Examples include the creation of synthetic diamonds and lithium batteries, both of which use Phase Transition mechanisms. The most familiar example is water changing from ice (solid phase) to liquid (water) to steam (gas), depending on temperature. These visible changes are known as first-order Phase Transition. Meanwhile, less visible changes — such as those in density or magnetism — are known as second-order Phase Transition. In this context, I assert that urban disasters may escalate into super-urban

disasters due to sudden, nonlinear changes — Phase Transition in Societal Phenomena. This research paper won the Japan Society for the Study of Natural Disasters' Academic Award in 1991, and four years later, the Great Hanshin-Awaji Earthquake, the world's first urban disaster, occurred, causing enormous damage as predicted. This research paper won the Japan Society for the Natural Disasters Science Award in 1991, and four years later, the Great Hanshin-Awaji Earthquake, the world's first urban disaster, occurred, causing enormous damage as predicted.

## (1) Earthquake and Tsunami Disasters

### ① The Great Hanshin-Awaji Earthquake

The Great Hanshin-Awaji Earthquake, which occurred on January 17, 1995 at 5:46 a.m., with a magnitude of 7.3 and an epicenter in the northern part of Awaji Island, was the first urban disaster of its kind in the world. It recorded a seismic intensity of 7 for the first time in Japanese history. More than 6,400 people were killed or went missing, and approximately 240,000 houses were either completely or partially destroyed.

In the 1923 Great Kanto Earthquake, about 90% of the 109,000 victims died in fires. Based on this, it was previously believed that unless a large-scale urban fire broke out, a similarly high death toll would not occur in a city earthquake. However, in the Great Hanshin-Awaji Earthquake, approximately 5,000 people died shortly after the quake due to the total or partial collapse of old wooden houses. Only about 500 deaths were attributed to fire. In Kobe's densely built urban areas, such as Nagata Ward — which had a population density of approximately 13,000 people per square kilometer—aging wooden homes effectively turned into deadly weapons, causing a Phase Transition in Societal Phenomena to occur. Looking at Kobe City's data point (K) in Fig.1, we see a significant deviation from the lower proportional fatality curve, consistent with other cases. This deviation indicates that a complete Phase Transition in Societal Phenomena had occurred.

## ② Great East Japan Earthquake

On March 11, 2011 at 2:46 p.m., the Great East Japan Earthquake struck with a magnitude of 9.0 off the coast of Sanriku. Over 22,000 people were reported dead or missing, and approximately 200,000 houses were completely or partially damaged. Of the fatalities, around 15,000 were due to the tsunami. However, the massive scale of the tsunami was not the only reason. A major contributing factor was that roughly 30% of residents did not evacuate immediately after the earthquake. Even in coastal areas of Iwate Prefecture, where the tsunami struck first, there was a window of about 30 minutes to evacuate. The lack of timely evacuation constitutes another example of a Phase Transition in Societal Phenomena.

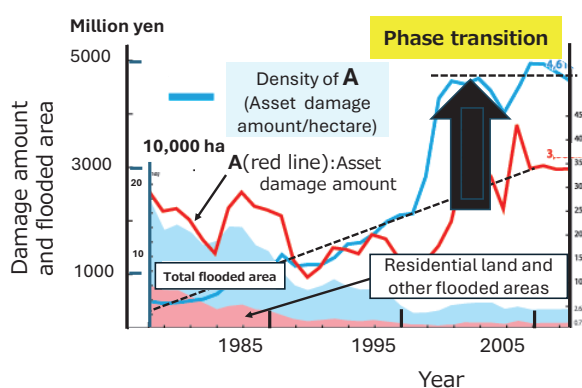
## (2) Heavy Rain Disasters

In recent years, heavy rain disasters caused by linear rainbands have become increasingly frequent. Looking at the long-term trends in flood damage published by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism's 'River Data Book 2020,' we can understand why (Fig.2). Although the total flood-affected area and the area of inundated residential and other lands have gradually decreased over time, the density of asset damage per hectare has shown a discontinuous increase since around 1996 — indicating that a Phase Transition in Societal Phenomena has occurred. Since 2012, heavy rain disasters have occurred almost annually, many of which have been attributed to linear

rainbands. It is believed that prior to 1996, the role of linear rainbands in causing such disasters was not well recognized.

Traditionally, river flooding occurred when increased water levels due to heavy rain caused levees to break, leading to breach-induced floods. However, recent heavy rain events have often produced rainfall at twice the previous maximum levels. In such cases, the river rises much more rapidly, causing overflow floods to occur even before the levees break. Compared to breach-induced floods, overflow floods often release greater volumes of water into floodplain areas, typically urban areas, thus resulting in more severe damage. Moreover, when internal flooding (from sewer systems and drainage failures) precedes external flooding from rivers, the disaster becomes even more catastrophic. In short, the characteristics of flood occurrence and the patterns of socio-economic damage have changed — a clear indication of a Phase Transition in Societal Phenomena.

Among the cases listed in Table 1, the July 2020 Heavy Rain Disaster is particularly notable. From July 3 to July 31, 2020, widespread torrential rainfall occurred across Japan, centering on Kumamoto Prefecture, as well as parts of Kyushu and the Chubu region. In the Kuma River basin, where the damage was especially severe, many observation points recorded the highest rainfall levels in history. In this basin, two levee breaches occurred, along with three overflows and eight cases of water overtopping. As a result, approximately 1,060 hectares were flooded. In Kumamoto Prefecture alone, 65 people were killed



**Fig.2** A Phase transition occurred when flood damage changed from levee breach flooding to overflow flooding

**Table 1** Recent heavy rain disasters caused by linear rain bands

July 2012	Northern Kyusyu	Death toll: 30 people
Aug. 2013	Akita and Iwate	8
Aug. 2014	Hiroshima debris flow	77
Sep. 2015	Kanto and Tohoku	14
July 2017	Northern Kyushu	42
July 2018	Western Japan	245
Aug. 2019	Northern Kyushu	4
July 2020	Reiwa 2 heavy rain	85

and 2 were missing, and housing damage included approximately 4,500 homes that were fully or partially destroyed, around 700 with above-floor flooding, and about 600 with below-floor flooding.

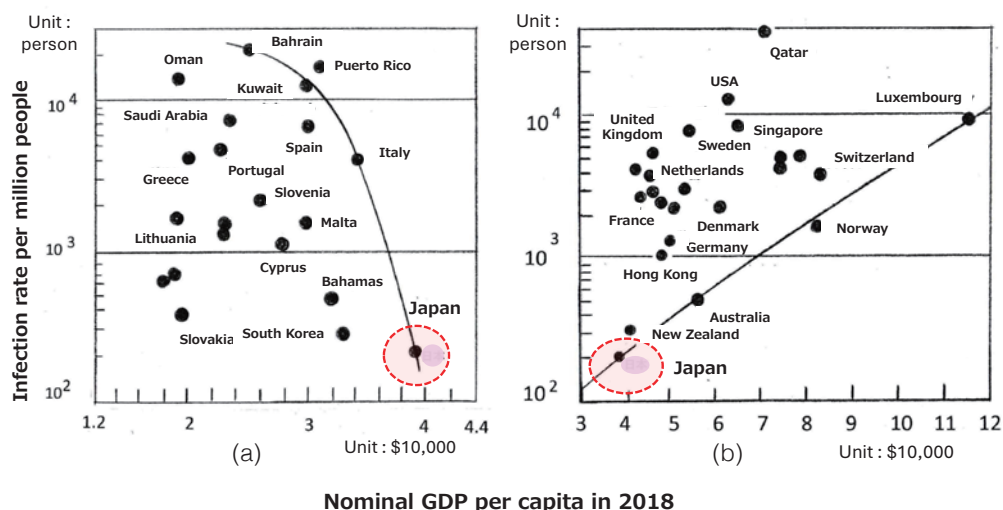
### (3) Infectious Diseases

In addition to natural disasters like earthquakes and heavy rains, infectious diseases are also considered urban disasters. The novel coronavirus (COVID-19) is believed to have originated around December 2019 in the Wuhan region of China, and it subsequently developed into a global pandemic that spread across the world for several years. The mechanism of infectious disease transmission involves the formation of clusters (groups of infected individuals), which serve as nodes from which the virus spreads via human movement to form new clusters elsewhere. This process is a typical example of transmission through a human mobility network. The reason why the COVID-19 pandemic became widespread and prolonged can be attributed to two distinct Phase Transition in Societal Phenomena. The first was the sheer number of megacities acting as clusters. Currently, there are around 380 cities worldwide with populations exceeding one million, and the global population has rapidly increased to 8 billion. The Phase Transition in Societal Phenomena I occurred as infections spread easily in each of these urban areas. The Phase Transition in Societal

Phenomena II was caused by the networked nature of modern socioeconomic activities, including both human and logistical mobility. This network allowed for rapid, large-scale movement, which in turn accelerated the spread of infection. In network terms, the spread of infection can be visualized as clusters forming the nodes and the movement of infected individuals forming the edges—resulting in a full-blown pandemic.

## 3. Disaster Mitigation

During the COVID-19 pandemic, Japan was often noted for having a relatively low infection rate. However, Figure 3 illustrates the relationship between nominal GDP per capita in 2018 and the COVID-19 infection rate as of late July 2020 across different countries. Using Japan's GDP rank (26th) as a baseline, panel (a) shows countries ranked 27th to 50th, while panel (b) shows countries ranked 1st to 25th, limited to those that had publicly available infection rate data. In panel (a), a clear trend emerges: as GDP increases, the infection rate decreases. This implies that improvements in infrastructure — such as water and sanitation systems and advanced medical care — help suppress infection rates. This corresponds to what can be called ‘Disaster-Resilient Civilization,’ where visible investments in



**Fig.3** Nominal GDP and Coronavirus pandemic infection rate per million population  
(a) Increased GDP and decreased infection rate (from 27th to 50th in low-GDP)  
(b) Increased GDP and increased infection rate (from 1st to 25th in high-GDP)

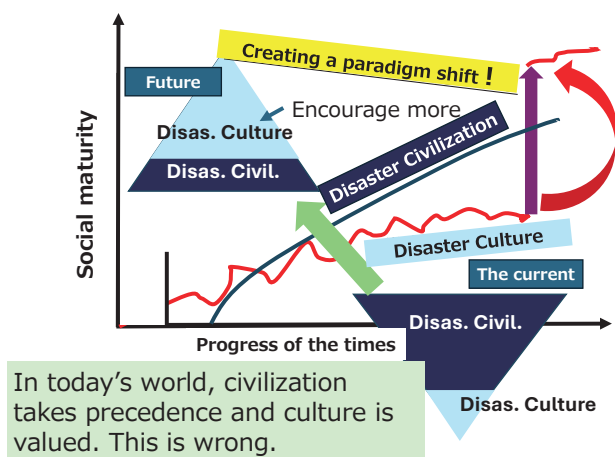
**Table 2** Characteristics of disaster civilization and disaster culture

Disaster Civilization	Disaster Culture
<ul style="list-style-type: none"> <li>• It must ~</li> <li>• That's how it should be ~</li> <li>• There is a correct answer and there is no uncertainty.</li> <li>• Science gives the answers.</li> <li>• Linking scientific findings with politics.</li> <li>• Best solution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It is better to ~</li> <li>• It is better that way.</li> <li>• It may not be correct and there is uncertainty.</li> <li>• Science alone is difficult to answer.</li> <li>• There is a boundary between science and politics.</li> <li>• Best effort</li> </ul>

its ability to meet every identified need, or only those essential for preserving health and dignity during evacuation? Traditionally, disaster response has prioritized rebuilding victims' lives. However, many items previously considered as 'damage' fall under 'Disaster-Resilient Civilization,' while crucial aspects of daily life—the 'Culture of Disaster Resilience'—may have been overlooked. Put

simply, 'Disaster-Resilient Civilization' refers to what must be present, while 'Culture of Disaster Resilience' refers to what should ideally be present.

The experience of the COVID-19 pandemic has helped us realize the importance of distinguishing between civilizational and cultural perspectives in disaster prevention. Based on these reflections, I define a Disaster Civilization as 'Disaster-Resilient Civilization' as consisting of tangible elements related to disaster prevention and reduction, primarily tied to our material environment — technologies, engineering, medicine, inventions, and objective social infrastructure systems. By contrast, the Disaster Culture as 'Culture of Disaster Resilience' refers to intangible elements related to disaster response in everyday life—philosophy, art, religion, institutions, customs, habits, and traditional wisdom. Their respective characteristics are summarized in Table 2. Since the Meiji era, Japan has prioritized 'civilizational' disaster prevention, while neglecting its traditional 'cultural' approach. As a result, the culture of disaster resilience has declined, and people's everyday preparedness has weakened. A clear example is the declining number of volunteer firefighters, driven by aging demographics and the lack of national campaigns to raise their social value. This downward trend has yet to be reversed. Going forward, we must initiate a paradigm shift in which the Disaster Culture is positioned above the Disaster Civilization—placing wisdom and daily life preparedness at the core of disaster response (see Figure 4).



**Fig.4** Paradigm shift from disaster civilization to disaster culture (Like the triangle in the upper left, disaster culture is superior to disaster civilization, be in harmony.)

environment and facilities mitigate disaster impacts. On the other hand, panel (b) shows the opposite trend: as GDP increases, so does the infection rate. This suggests that economic wealth does not always translate into social well-being. Factors such as racial discrimination against immigrants or disparities in access to healthcare based on income may contribute. In this case, it is the enhancement of intangible services and social functions that plays a role in mitigating damage — what I call 'Culture of Disaster Resilience.'

In natural disasters, the increasing diversity of values regarding what people consider 'damage' makes response more complex. For instance, during the 2016 Kumamoto Earthquake, evacuees in shelter identified over 500 types of goods as necessary supplies. One may ask: Should disaster response be evaluated by

## 4. Preparing for National-Scale Disasters

### (1) Countermeasures Against Escalating Damage

Considering the spread of damage from natural disasters and infectious diseases as network-based phenomena allows us to better understand and prepare for national-scale disasters.

If a major earthquake were to strike directly beneath the Tokyo metropolitan area, compound disasters would act as nodes, while cascading disasters would form the edges of the network, causing damage to spread across time and space. Among the compound disasters, lifeline disruptions are particularly significant. These not only cause direct damage but also trigger other cascading effects. Examples include power outages, water supply disruptions, gas service suspensions, telecommunications failures, and transportation blockages (roads, railways, airports). Additionally, critical sectors like finance, healthcare, welfare, and education could also suffer functional breakdowns. Among these, power outages are the most critical, as they often lead to the failure of many other essential services.

Following the first-order Phase Transition in Societal Phenomena (e.g., a blackout), second-order shifts (e.g., cascading disruptions in related systems) can lead to third-order chain-reaction disasters. Table 3 outlines specific examples of such compound and cascading disasters triggered by power outages. Since many natural disasters exhibit spatial and temporal expansion, there may be opportunities to apply mitigation or suppression measures mid-course.

As previously discussed, the spread of COVID-19 also followed a network structure, with infection clusters forming the nodes and human mobility forming the edges—leading to a global pandemic. Unlike natural disasters, infectious diseases typically lack an effective cure in the early stages, making immediate containment extremely difficult. This characteristic must be carefully considered in response planning.

### (2) Targets of Recovery and Reconstruction

The definition of social infrastructure also needs to be reexamined. Traditionally, recovery efforts have focused on restoring physical infrastructure—electricity, water, railways, and roads—for the sake

**Table 3** Compound disasters and cascading disasters caused by long-term wide-area power outages following an earthquake directly beneath the capital.

Cascading disaster	Compound disaster
<p>〈Example: Tertiary disasters caused by power outages〉</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elevator stoppage and entrapment</li> <li>2. All forms of transportation suspended</li> <li>3. Highway road closure</li> <li>4. Stopping the flow of people and goods in the capital area</li> <li>5. Water outage</li> <li>6. Information network down</li> <li>7. Apartment life impossible</li> <li>8. Suspension of corporated and cultural activities</li> <li>9. School education suspended</li> <li>10. Impossible to work from home</li> <li>11. Hotels and accommodations not available</li> <li>12. Travel only by foot</li> <li>13. Department stores and large supermarkets closing</li> </ol>	<p>〈Example: New Secondary disasters caused by power outages〉</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hospital disasters: 1,673 hospitals are located in areas affected by earth. With a seismic intensity of 6 or higher, and approx. 250,000 hospitalized patients will need to be transported to other safer hospitals.</li> <li>2. Fuel Disaster: Oil refining is impossible (31 % of the national production), and gasoline and diesel are in short supply (32%おてゑnational production)</li> <li>3. Food disaster: The supply of food, which consumes about 20,000 tons a day and bottled water will be suspended.</li> <li>4. Information and communication disaster: Telephone, mobile phone, internet and electronic payment are not available. Telework is also impossible.</li> <li>5. Evacuation center disaster: Food, drinking water and relief supplies are in short supply, the Disaster Relief Act has failed, and it is difficult to escape from the capital area, leading to widespread evacuation across the country.</li> </ol>

of rebuilding affected communities. However, this definition stems from a civil engineering mindset and has often excluded damage to educational, welfare, and healthcare facilities, treating them as exceptions.

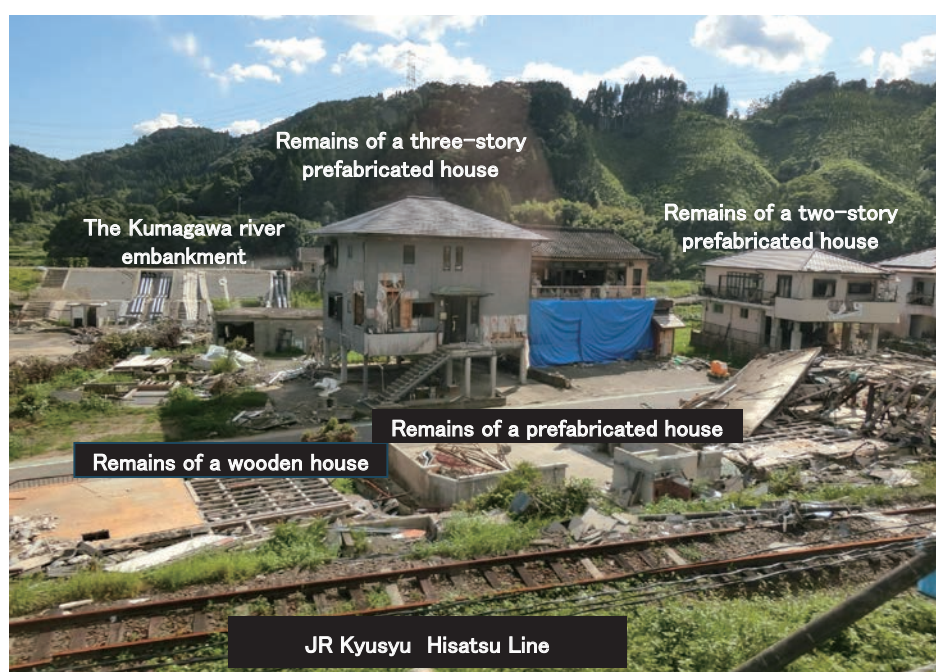
A case that highlights the importance of recovering these functions occurred during the July 2020 heavy rain disaster in the Kuma River basin. There, four railway bridges were washed away, making it difficult for approximately 1,200 high school students to commute. In Hitoyoshi City, a road bridge collapsed, preventing about 70% of elementary school students from attending school. Not only school facilities but also the safety of commuting routes and the restoration of railway transportation must be prioritized. In some flood-affected residential areas of Hitoyoshi City, despite only two upstream levee breaches, overflow flooding caused by massive runoff reached up to the ceilings of two-story homes, including those designed with piloti (elevated) structures (Fig.5). In total, 17 road and railway bridges collapsed, and about 370 km of railway tracks, telecommunication poles, and cables were damaged.

The elderly care facility Senjuen, where 14 residents perished, has since been rebuilt at another location

in 2024. Had it been closed permanently, over 100 residents and those on the waiting list would have lost their support system. The Kuma River basin is home to 27 similar facilities, and it is estimated that as many as 2,000 people could have faced severe difficulties securing care. In Hitoyoshi City alone, there are 44 clinics and 25 dental offices that contribute to community healthcare, many of which were also damaged. Since medical equipment tends to be irreparable after water damage, reopening these facilities often takes significant time. For this reason, the damage caused by flooding is often considered even more severe than that caused by earthquakes.

### (3) The Concept of “New Resilience” (Shukusai)

Before human settlement, the Hitoyoshi Basin was essentially a floodplain for the Kuma River. To live there now requires a mindset of coexistence with flooding. In 2009, the local community chose a flood management strategy that did not rely on dams. However, with the advent of climate change and the formation of linear rainbands, they likely could not have foreseen the unprecedented scale of rainfall that



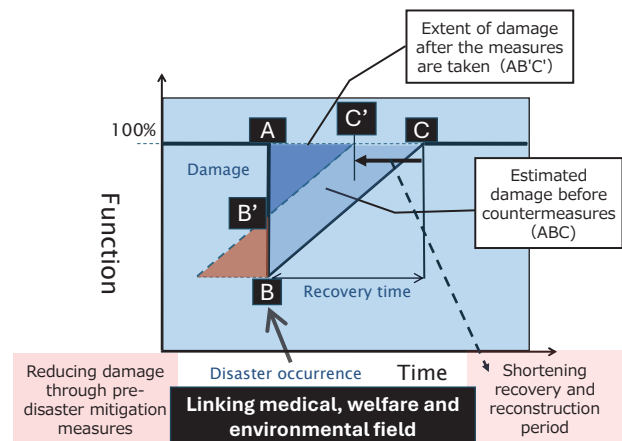
**Fig.5** Damage to homes in Hitoyoshi City, Kumamoto Prefecture, caused by the overflow of the Kuma River due to the heavy rains of July 2020

would later strike the region. While they looked to the past, they were unable to anticipate such drastic changes in the future. Even in the face of unexpected floods, we must strive to create a calm, balanced, and resilient society.

The Kuma River, one of Japan's three most torrential rivers, is prone to rapidly accumulating rainwater from its basin. The so-called 'green dams' offer little capacity for water storage, leaving two main options: either reduce the flood discharge or widen the downstream channels to increase flow capacity. However, widening the downstream river channels would increase the flood risk in downstream cities like Yatsushiro. Thus, dam construction remains the only viable option. Local residents have already taken self-help and mutual aid measures, including building homes with piloti structures and raising the elevation of residential land. Even so, they suffered damage, indicating the need for public support. This includes: (1) power generation, (2) water resource management, and (3) flood control. In terms of power generation, hydropower — a clean and renewable energy source — has great potential for stable output and supports a non-nuclear energy future. As for water resources, the intensification of floods and droughts nationwide due to climate change makes sustainable water management increasingly critical. Although Kumamoto Prefecture has abundant groundwater, widespread drought could lower water tables and threaten municipal water supplies and agricultural irrigation. Regarding flood control, dam construction is essential as a measure for disaster damage reduction (Shukusai) in preparation for unexpected, large-scale floods. The July 2020 heavy rain disaster revealed the limitations of flood management strategies that rely solely on alternatives to dams. Like it or not, we must now proceed with disaster planning under the assumption that new and more severe risks will emerge.

New resilience (Shukusai) refers to concrete methods for minimizing disaster impacts. It consists of both pre-disaster reduction and post-disaster resilience. Each of these elements must be reviewed

and strengthened. As damage increasingly spreads to welfare, healthcare, environmental, and educational systems, a connected, cross-sectoral response is now essential (see Figure 6).



**Fig.6** New resilience through pre-disaster reduction and post-disaster resilience

## 5. Conclusion

The findings presented so far suggest that it is indeed possible to predict future large-scale disasters. The reason for this lies in the ability to prevent Phase Transition in Societal Phenomena — and in doing so, to make pre-disaster measures truly effective. Therefore, identifying the conditions that trigger such Phase Transition in Societal Phenomena has become an urgent task. At the same time, it is equally important to promote countermeasures that prevent such shifts from occurring in the first place.

Countermeasures that fall under the domain of a Disaster Civilization often require significant financial resources and time, making them difficult to implement in reality. This makes it all the more important to consider what can be done within the domain of the Disaster Culture, especially through self-help and mutual aid. For example: - Individuals can store more food and water, discuss how to confirm each other's safety, and arrange furniture to avoid being trapped in case of a collapse. - Communities can help one another evacuate, especially assisting

## Phase Transition in Societal Phenomena and Its Application to Pre-Disaster Reduction

elderly or vulnerable residents, and allow neighbors to shelter in taller buildings if someone is delayed in escaping. It is essential that many people personally consider what they can and should do — what actions they believe they “ought to take” — and then follow through with those actions. To advance measures that prevent Phase Transition in Societal Phenomena, it is critical to understand the logic behind the findings presented in this paper. Such understanding will directly contribute to reducing and suppressing the damage caused by future disasters.

---

### Reference

- 1) Kawata, Yosiaki (1995): Urban Disaster, Kinmiraisya, pp.233.(in Japanese)
- 2) Kawata, Yosiaki (2021): Response to social disaster through phase transition- Cases of COVID-19 and heavy rainfall disaster, Study on Societal Security Science, Vol.11,pp.37-56. ([https://www.kansaiu.ac.jp/Fc\\_ss/center/study/pdf/bulletin011\\_11.pdf](https://www.kansaiu.ac.jp/Fc_ss/center/study/pdf/bulletin011_11.pdf)). (in Japanese)
- 3) Kawata, Yoshiaki (2021): Preventing phase transitions in social phenomena is the key to disaster reduction measures, Science for Fire and Disaster Reduction, Vol.144, pp.4-7.(in Japanese)



## 国際防災・人道支援フォーラム実行委員会

Executive Committee, International Disaster Reduction Alliance Forum

〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1丁目5-2 西館6階  
TEL:078-262-5066 FAX:078-262-5082

<https://www.dri.ne.jp/pickup/forum/>