

SAFETY EYE NEO

特集：「世界の洪水リスクの現状と将来見通し」

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価

第2章 気候変動と世界の洪水リスク変化

No. **12**
MAY 2015





著者紹介

今村 能之 (いまむら よしゆき)
山口大学 先進科学・イノベーション研究センター 教授 博士 (工学)

東京大学大学院工学系研究科土木工学専門課程修了後、1987年に建設省に入省。ケンブリッジ大学地理学部環境学修士。ケンブリッジ大学地理学部客員教授(1996～97年)。国土交通省荒川上流河川事務所長などを歴任するとともに、UNESCO (パリ)、内閣府総合科学技術会議、世界銀行 (ワシントンDC)、水災害・リスクマネジメント国際センター (UNESCO-ICHARM) などを経て、2015年より現職。専門は防災リスク管理、国際水政策、開発、水管理。

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価

はじめに

著者は世界銀行、国連教育科学文化機関 (以下「UNESCO」)、国土交通省などで、日本国内・海外において、水と防災に関する政策立案、現地プロジェクト推進、研究開発に携わってきた。これらの活動を通じて蓄積した知見および経験を中心に、できるだけ客観的データや事実を基に、世界の洪水を中心とする水災害の現況とリスクをまとめたものが、本稿である。本稿が世界の災害リスクの軽減に資することを望む。

1. 世界の水災害

1-1. 世界の水災害の発生

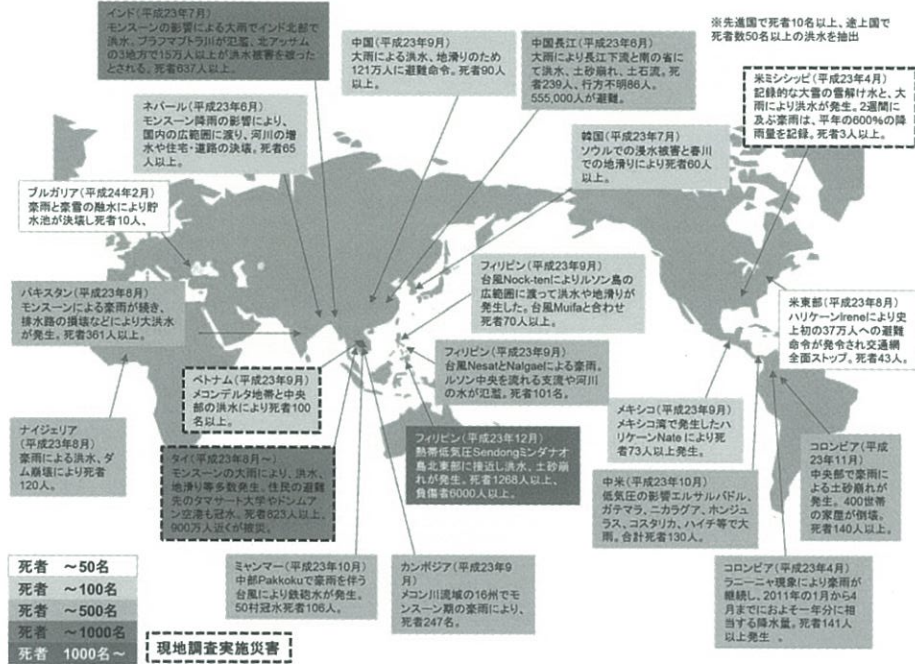
近年、世界各地で大規模な水災害が発生している。例えば、フィリピンでは2011年、2012年、2013年と続けて、死者が1,000人を超える災害が発生した。2011年には、熱帯低気圧センドンがフィリピンのミンダナオ島に接近し、死者が1,200人を超える洪水、土砂崩れが発生した。2012年には、台風ポーファにより、ミンダナオ島を中心に死者が1,000人を超えた。また、2014年11月のスーパー台風ハイヤンによる死者6,000名以上の災害は記憶に新しいところである。南アジアでも毎年のように大規模な災害が発生している。2012年のモンスーンによる大雨では、パキスタンで504万人以上が被災し、2013年のモンスーン豪雨では、インドとネパールで死者が6,200人以上に達した。2011年のタイのチャオプラヤ川流域での洪水では、900万人以上が被災するとともに、日本企業の工場がある工業団地も被災し、日本の産業にも大きな影響を及ぼした。アフリカでも、2012年のニジェール川の氾濫で首都メ

アが浸水し、50万人以上が被災した。先進国でも、例えば、ハリケーンサンディにより米国東部を暴風、高潮、洪水が襲い死者132人と変電所、地下鉄などのインフラに大きな被害を及ぼした【図1】【図2】【図3】【図4】。

過去にも大規模な洪水は、世界中で何度も発生している【表1】。1954年の中国揚子江の洪水では死者は3万人に達した。欧米の先進国でも死者が1,000人を超える洪水が発生している (1889年米国2,220人、1953年オランダ1,835人)。

【表2】は、1975年～2008年の自然災害による経済被害を示している。2005年の米国のハリケーンカトリーナや1998年の中国揚子江などの水災害で甚大な被害が発生している。

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価



Copyright (c) 1956 Infrastructure Development Institute - Japan. All rights reserved.
本資料の著作権は(一社)国際建設技術協会に帰属します。本誌への掲載は当協会により許可されています。

図1 平成23年度(2011年度)世界の主な洪水¹⁾

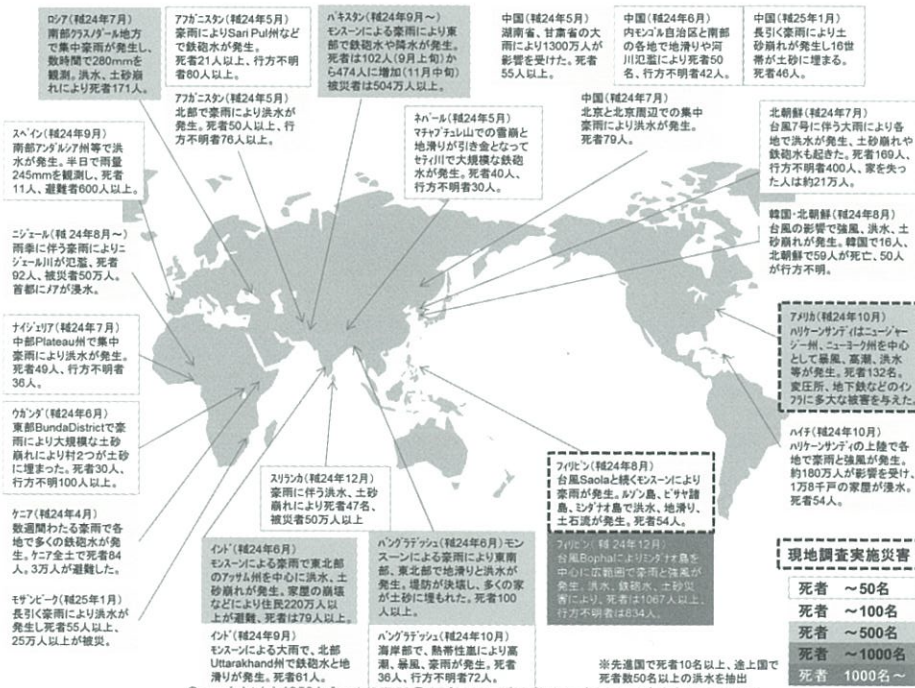
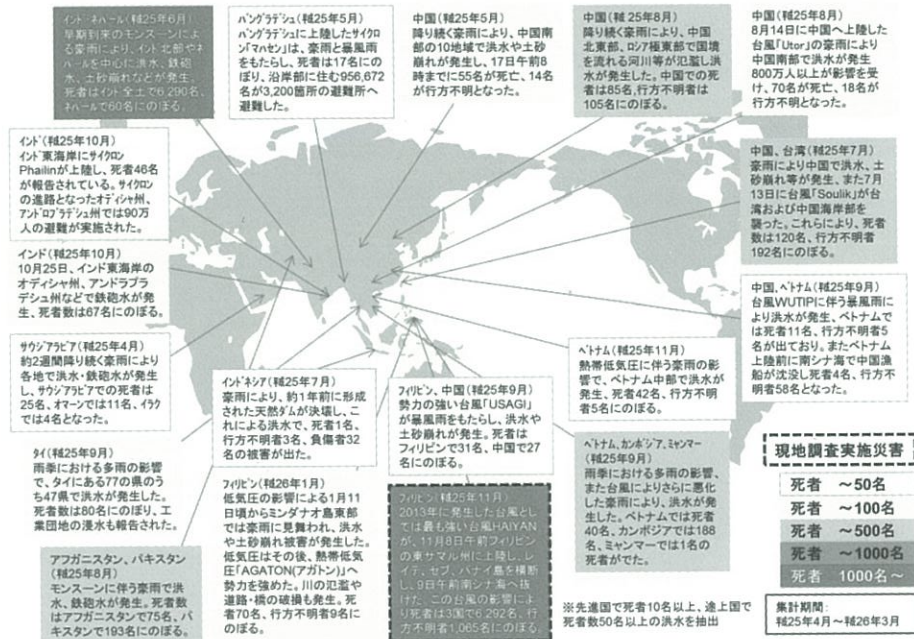


図2 平成24年度(2012年度)世界の主な洪水²⁾

1) 出典：一般社団法人 国際建設技術協会. 世界の水害情報. 海外河川分野の最新の動向. http://www.internationalfloodnetwork.org/kasen/others/pdf/H23_majorwaterrelateddisasters_jp.pdf (アクセス日: 2014年11月17日)

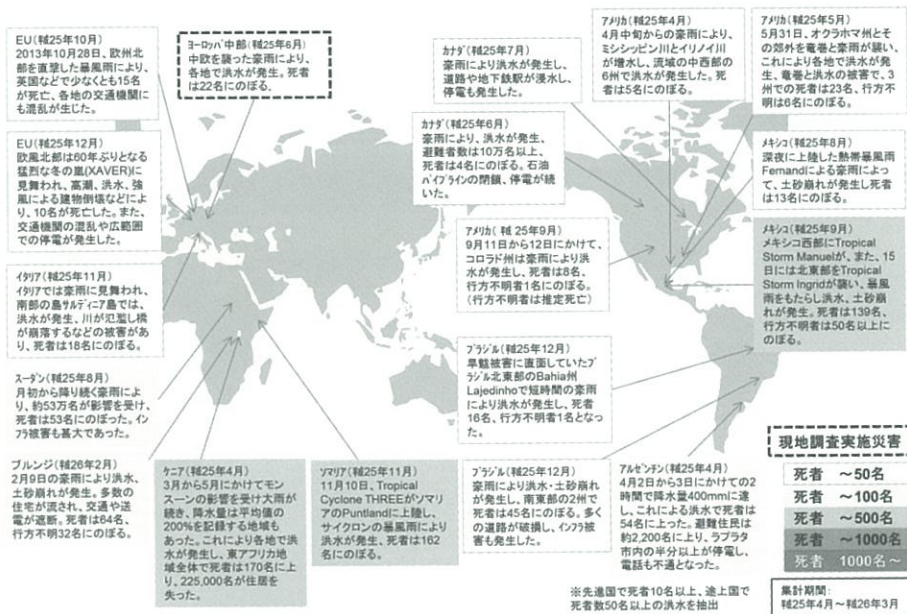
2) 出典：一般社団法人 国際建設技術協会. 世界の水害情報. 海外河川分野の最新の動向. http://www.internationalfloodnetwork.org/kasen/others/pdf/H24_majorwaterrelateddisasters_jp.pdf (アクセス日: 2014年11月17日)

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価



Copyright (c) 1956 Infrastructure Development Institute - Japan. All rights reserved.
本資料の著作権は(一社)国際建設技術協会に帰属します。本誌への掲載は当協会により許可されています。

図3 平成25年度(2013年度) 世界の主な水関連災害(アジア地域)³⁾



Copyright (c) 1956 Infrastructure Development Institute - Japan. All rights reserved.
本資料の著作権は(一社)国際建設技術協会に帰属します。本誌への掲載は当協会により許可されています。

図4 平成25年度(2013年度) 世界の主な水関連災害(アジア地域以外)⁴⁾

3) 出典：一般社団法人 国際建設技術協会、世界の水害情報、海外河川分野の最新の動向。http://www.internationalfloodnetwork.org/kasen/others/pdf/H25_majorwaterrelateddisasters_jp_revised.pdf (アクセス日：2014年11月17日)
4) 出典：一般社団法人 国際建設技術協会、世界の水害情報、海外河川分野の最新の動向。http://www.internationalfloodnetwork.org/kasen/others/world_flood.html (アクセス日：2014年11月17日)

表1 世界の主要な洪水被害 (1860年 - 2008年)⁵⁾

| Date | Location | Meteorological conditions | Peak discharge (cubic metres per second) | Impact material damage (US\$ millions) | Human losses |
|---------------------|--|---|--|--|---|
| January 2008 | Zambezi River, Mozambique | Heavy torrential precipitation in Mozambique and neighbouring countries | 3,800 | 2 | 20 dead, 113,000 displaced |
| May 2006 | Lower Yukon, United States | Snowmelt, ice-jam break-up | na | na | na |
| April-May 2003 | Santa Fe, Argentina | Saturated soil due to heavy precipitation in summer 2002 and April 2003 | 4,100 | na | 22 dead, 161,500 displaced |
| February 2000 | Limpopo River, Mozambique | Extreme precipitation in tropical depression, enforced with torrential rain of three cyclones | 10,000 | na | 700 dead, 1,500,000 displaced |
| July 1997 | Czech Republic | Saturated ground after extreme long-lasting precipitation and extreme precipitation | 3,000 | 1.8 | 114 dead, 40,000 displaced |
| June 1997 | Brahmaputra River, Bangladesh | Torrential monsoon rains during monsoon season | 10,200 | 400 | 40 dead, 100,000 displaced |
| March-April 1997 | Red River, United States | Heavy rains and snowmelt | 3,905 | 16,000 | 100,000 homes flooded, 50,000 displaced |
| November 1996 | Subglacial Lake Grímsvötn, Iceland | Jökulhlaup flood | 50,000 | 12 | na |
| February 1996 | West Oregon, United States | Extreme spring snowmelt and heavy spring precipitation | na | na | 9 dead, 25,000 displaced |
| July 1995 | Athens, Greece | Storm of a short duration and extreme intensity | 650 | na | 50,000 displaced |
| November 1994 | Po River, Italy | Cold front associated with cyclonic circulation and heavy rainfall | 11,300 | na | 60 dead, 16,000 displaced |
| February 1994 | Meuse River, Europe | Heavy rain due to low pressure system | 3,100 | na | na |
| September 1993 | Mississippi River, United States | Heavy precipitation in June and July; saturated soil due to extremely high precipitation | na | 15,000 | 50 dead, 75,000 displaced |
| November 1988 | Hat Yai City, Thailand | Brief torrential monsoon rain | na | 172 | 664 dead, 301,000 displaced |
| January 1983 | Northern Peru | El Niño situation with heavy rains | 3,500 | na | 380 dead, 700,000 displaced |
| August 1979 | Machu River, India | Exceptionally heavy rainfall, swollen river, resulting in collapse of the Matchu Dam | 16,307 | 100 | 1,500 dead, 400,000 displaced |
| June-September 1954 | Yangtze River, China | Intensive rainfall over several months | 66,800 | na | 30,000 dead, 18,000 displaced |
| January 1953 | North Sea, Netherlands | High spring tide and a severe European windstorm | na | 504 | 1,835 dead, 100,000 displaced |
| January 1910 | Seine River, France | Very wet period for six months followed by heavy rains in January | 460 | na | 200,000 displaced |
| May 1889 | Johnstown, Pennsylvania, United States | Extremely heavy rainfall due to storm followed by breach of dike | na | 17 | 2,200 dead |
| July 1860 | Eastern Norway | Frost and heavy snowfall followed by snowmelt and heavy precipitation | 3,200 | na | 12 dead |

na is not available or not applicable.

Source: Compiled by Siegfried Demuth, International Hydrological Programme, UNESCO.

5) 出典：United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) . The United Nations World Water Development Report 3 - Water in a Changing World. UNESCO Publishing, 2009. 318p. p.215

表2 甚大な経済被害（100億ドル以上）を引き起こした自然災害⁶⁾

| Year | Country | Hazard | Total loss (billion US \$) |
|------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 2005 | United States of America | Hurricane Katrina | 125 |
| 1995 | Japan | Kobe earthquake | 100 |
| 2008 | China | Sichuan earthquake | 30 |
| 1998 | China | Yangtze flood | 30 |
| 2004 | Japan | Chuetsu earthquake | 28 |
| 1992 | United States of America | Hurricane Andrew | 26.5 |
| 1980 | Italy | Irpinia earthquake | 20 |
| 2004 | United States of America | Hurricane Ivan | 18 |
| 1997 | Indonesia | Wild fires | 17 |
| 1994 | United States of America | Northridge earthquake | 16.5 |
| 2005 | United States of America | Hurricane Charley | 16 |
| 2004 | United States of America | Hurricane Rita | 16 |
| 1995 | Democratic People's Republic of Korea | Korea floods | 15 |
| 2005 | United States of America | Hurricane Wilma | 14.3 |
| 1999 | Taiwan (China) | Chichi earthquake | 14.1 |
| 1988 | Soviet Union | Spitak earthquake | 14 |
| 1994 | China | China drought | 13.8 |
| 1991 | China | Eastern China floods | 13.6 |
| 1996 | China | Yellow River flood | 12.6 |
| 2007 | Japan | Niigataken Chuetsu-oki earthquake | 12.5 |
| 1993 | United States of America | Great Midwest floods | 12 |
| 2002 | Germany | River Elbe floods | 11.7 |
| 2004 | United States of America | Hurricane Frances | 11 |
| 1991 | Japan | Typhoon Mireille | 10 |
| 1995 | United States of America | Major west coast wind storm | 10 |

1-2. 世界の水災害の傾向

1900年から2007年までの自然災害の発生件数は16,301件、被災者数は62億7,000万人、死者数は3,758万人に達している。自然災害の発生件数は増加傾向にあり、特に1960年代以降、急激に増加している【図5】。一方、自然災害による死者数は近年急減している【図6】。これは、世界的な人口増加にもかかわらず、中央および地方政府、国際機関などの継続的な防災活動によるものであると言われている。しかしながら、経済被害の増加、特に1980年、1990年代以降の急増は、経済開発効果の損失の広がりという意味している。経済被害が増加した要因の1つは災害リスクの高い地域への資産の集中が挙げられる⁷⁾。

自然災害のうち、洪水が(32%)、渇水(6%)、暴風(25%)といった気象・水関連災害が約3/4を占めている。そして、洪水発生件数の増加が顕著であり、1980年代に比べ、近年の発生件数は約3倍に増えている【図7】。

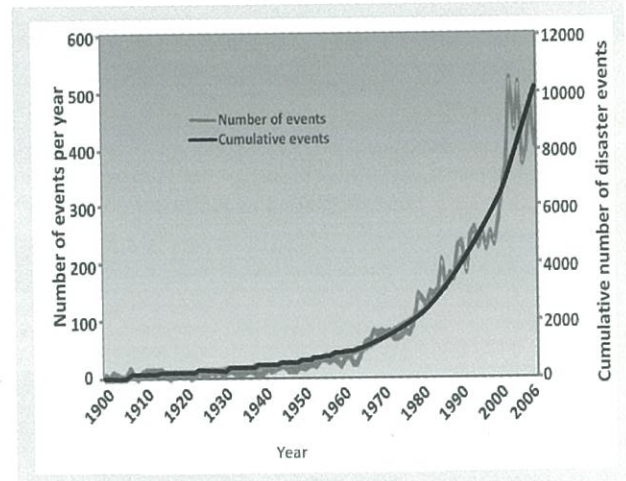


図5 世界の自然災害の発生件数の推移⁸⁾

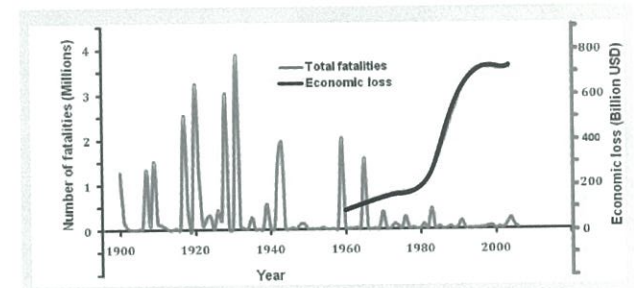


図6 自然災害による死者数と経済被害の推移⁹⁾

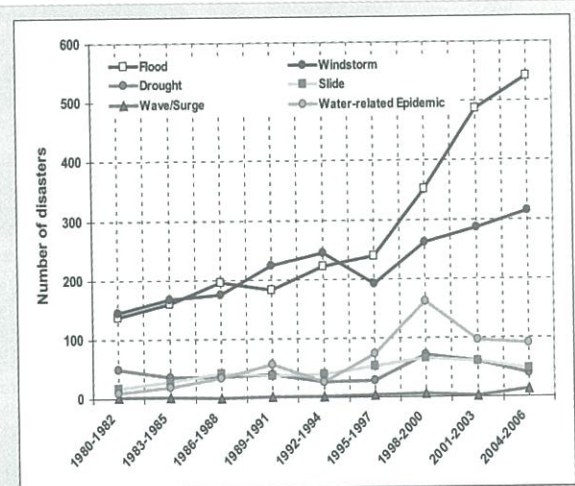


図7 世界の水災害発生件数の推移¹⁰⁾

6) 出典：United Nations. 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Risk and poverty in a changing climate - Invest today for a safer tomorrow. United Nations. 2009. 206p. p.5

7) 出典：Yoganath Adikari and Junichi Yoshitani. Global Trends in Water-Related Disasters: an insight for policymakers. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2009. 24p. p.6

8) 出典：Yoganath Adikari and Junichi Yoshitani. Global Trends in Water-Related Disasters: an insight for policymakers. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2009. 24p. p.6.

9) 出典：Yoganath Adikari and Junichi Yoshitani. Global Trends in Water-Related Disasters: an insight for policymakers. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2009. 24p. p.6.

10) 出典：Yoganath Adikari and Junichi Yoshitani. Global Trends in Water-Related Disasters: an insight for policymakers. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2009. 24p. p.8.

国際科学会議 (International Council for Science) は、その報告書「災害リスク統合研究計画—自然ならびに人間由来の環境ハザードへの挑戦」の中で、このような世界の災害の傾向を、次のように分析している。

「1995年神戸、2005年ムザファラバードの地震、2004年インド洋津波、2005年米国ハリケーンカトリーナによる破壊的影響は、自然災害が地球規模の問題となっていることとして記憶に新しい。また、このような災害は、先進国、発展途上国を問わず、人々の命や暮らし、経済的資産に多大な被害を及ぼし得ることを示している。幸運なことに、大規模災害は極めてまれであるが、記録される災害の頻度は急速に増加している。1900年から1940年の40年間は10年に約100件の割合であったが、1960年代には650件、1980年代には2000件、1990年代には2800件にものぼっている。年を追うごとに、災害のために何千何百という人命が失われ、何百万という人が負傷その他なんらかの形で被災し、移住しなければならなくなっている。そして、物的被害は、過去40年にわたって、7年ごとに倍増している。災害統計で報告されている災害数増加の原因として、自然、人間由来、もしくは社会自然的現象関連として記録される小・中規模災害の増加と災害報告メカニズム向上が挙げられている。

地震や津波は甚大な影響を及ぼすことがあるが、災害数、死者数、被災者数あるいは物的破壊の視点からみれば、ほとんどの災害被害は、ハリケーン、サイクロン、その他主要な暴風雨、洪水、地滑り、自然火災や干ばつなどの気象関連の自然由来ハザードに起因している。1990年代には、自然災害の約3/4は、気象関連事象が引き金となっている。1997年以来、気象関連経済被害は数倍に増加している。

災害による世界的経済被害は、2007年には7500万米ドル、2006年には5000万米ドル、2005年には2億2000万米ドル、2004年には15億米ドル、1995年には1億7200万ドルと見積もられている。2007年には極端な災害はなかったが、被害額としては大きかった。2007年に記録された自然災害数950件(2006年は850件)も、民間再保険会社ミュニックリー (Munich Re) が体系的に記録をとり始めた1974年以来最高であった。特筆すべきは、こういった被害の大部分は、保険対象外であったということである。

自然災害は、それまでの開発利益を相殺しかねない。国連加盟国は、被害の増加傾向が国連ミレニアム開発目標 (the Millennium Development Goals) 達成の主な制約要因のひとつとし、ミレニアム宣言 (the Millennium Declaration, 2000) の中で、災害が開発推進を阻害するリスクであることは明確だという見解を共有するに至っている。¹¹⁾

このように、災害は経済開発や保険制度に大きな影響を及ぼすものである。

1-3. 世界の自然災害と経済被害

国連などの国際的な防災に関する枠組みは、国連事務局のひとりである「国際防災戦略事務局」¹²⁾ (以下「ISDR」) が中心となっ

11) 出典: International Council for Science (ICSU) . 災害リスク統合研究計画 - 自然ならびに人間由来の環境ハザードへの挑戦. 2008. ICSU (日本語訳: ICHARM) . 76p. p.7

12) 国際防災戦略のための事務局として1999年12月に設立された。「国際防災の10年(1990~1999年)」の事務局を継承し、国際防災戦略を確実に実施することを目的としている(国連総会決議54/219)。任務は、国連システムにおける防災分野の調整に関して中心的な役割を果たし、国連システムや地域機関による防災活動や社会経済・人道分野の活動において相乗効果を確実に高めるよう、2001年に拡大した(国連総会決議56/195)。これは、開発や他分野の国連業務における防災の主流化に対するニーズに応えたものである。

ているが、経済的な側面については、世界銀行、特に、国連機関である防災グローバル・ファシリティ (GFDRR)¹³⁾ が重要な役割を果たしている。

世界銀行によると、1980年から2011年までの災害による死者数は230万人、経済的損失は3兆5,000億ドルであった。特に、2011年には過去最大の3,800億ドルを記録した【図8】。同期間中の2万2,200件の自然災害中、洪水などの気象関連災害は1万7,400件と79%であった。そして、経済的損失も自然災害全体の3兆5,000億ドルのうち、気象関連災害が2兆6,000億ドルと74%を占めている【図9】。

自然災害 影響は全ての人に

ただし、一番被害を受けるのは
貧困層と脆弱層

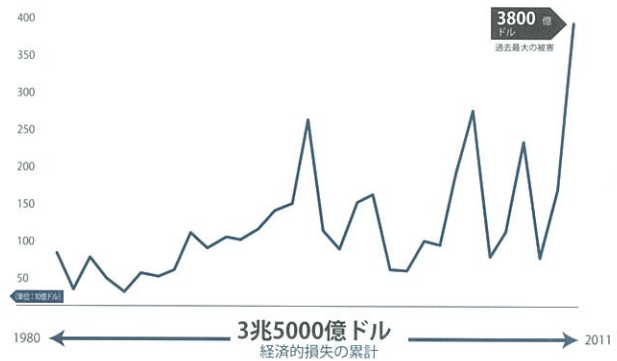


図8 増加する自然災害による経済被害¹⁴⁾



図9 自然災害に占める気象災害の割合(発件数と経済被害)¹⁵⁾

13) 防災グローバル・ファシリティ (GFDRR) は、ドナーの拠出に基づき世界銀行が管理する信託基金の一つであり、兵庫行動枠組の推進のため、災害の危険性の高い低・中所得国において、各国の開発戦略等に防災を中心に位置づける取組みを支援することを目的としている。

14) 出典: 日本政府, 防災グローバル・ファシリティ (GFDRR), 世界銀行. 災害に強い社会の構築のための防災. 日本政府, 防災グローバル・ファシリティ (GFDRR), 世界銀行. 2012. 6p. p.1.

15) 出典: 日本政府, 防災グローバル・ファシリティ (GFDRR), 世界銀行. 災害に強い社会の構築のための防災. 日本政府, 防災グローバル・ファシリティ (GFDRR), 世界銀行. 2012. 6p. p.3.

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価

2012年10月に東京で開催された国際通貨基金（IMF）／世界銀行グループ2012年年次総会に併せて、「防災と開発に関する仙台会合」（以下「仙台会合」）が開かれた。仙台会合での議論の基礎となった「仙台レポート - 災害に強い社会の構築のための防災」（以下「仙台レポート」）の作成には、著者も世界銀行在籍時に水・防災の専門家として携わった。仙台レポートは、自然災害と経済被害の関係について、いくつかの重要な視点を指摘している。

まず、「災害は重大な経済的被害をもたらす」とし、「近年の災害に関して、タイで起きた洪水はタイのGDPの5%相当の経済的影響をもたらし、東日本の地震及び津波による経済的損失は日本のGDPの4%に相当すると推定されている。低所得国や島嶼国ではそうした影響がGDPの100%を超えることすらあり、2010年のハイチ大地震では影響がGDPの120%に上り、2004年のグレナダにおけるハリケーンではGDPの200%を超えた」と述べている¹⁶⁾。

さらに自然現象と災害の関係に関して、「地震のような自然現象が必ずしも災害になるわけではない」とし、「災害によってもたらされる死者数や損害は人間が下してきた判断の累積的な影響に他ならない。災害の予防は可能であり、災害が発生してからの救助や対応にかかる費用がより経済的なことが多い¹⁷⁾」と指摘している。

仙台会合で発表された「～持続的な開発のための防災の主流化～城島財務大臣、キム世界銀行総裁による共同ステートメント（仙台ステートメント）」（以下「仙台ステートメント」）では、開発と経済被害について、「災害は甚大な人的・経済的損害をもたらす、その被害額は都市化や気候変動の進行等によって増加する傾向にある。大規模自然災害は一度発生すれば、長期にわたる開発努力の成果を一瞬で損う」とし、「我々は、災害に強い社会を構築するため、社会的、物理的、経済的インフラへの投資がもたらす便益を強調している。そのような投資は、人命を救い、緊急人道支援に対する需要を抑制し、復興費用を最小化する」と述べている¹⁸⁾。

しかしながら、開発援助を見ると、1980年～2009年の開発援助総額のうち、災害関連には2%の912億ドルが充てられている

が、7割が緊急対応であり、災害の予防である防災はわずか3.6%でしかない【図10】。

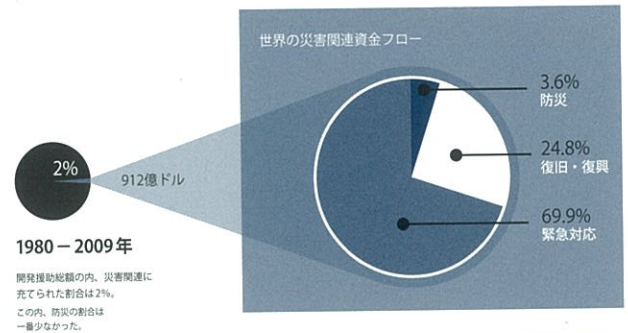


図10 世界の災害関連開発援助の内訳¹⁹⁾

仙台ステートメントは、今後の方向性について、「我々は、中央政府や開発援助団体に対し、仙台レポートの提言を受け入れ、開発のあらゆる側面において、防災の観点を取り込むための努力を加速することを求める」としている。また、「国際開発援助において、深刻化している災害について対策を推進する国々の努力を支援することを重視するよう求める」とともに、「我々は、貧困削減および持続可能な成長のためには、開発のあらゆる側面で防災の観点を取り込むことが喫緊の課題であり、合理的であるという仙台会合のメッセージを東京で開催される開発委員会等に伝達し、国際社会のあらゆるステークホルダー、政府機関、そして人々の理解を深めて参りたい」としている²⁰⁾。

さらに、日本の防災技術を高く評価し、「我々は、災害に弱い途上国が災害に強い社会を構築できるようにするため、例えば日本に蓄積されたノウハウや専門性を活用して、技術支援や財政的な支援を強化すること、また、例えば知識や経験を共有し交換するインターネット上のデータベースや能力強化プログラムを通じて、防災の取組を支援するための知見とパートナーシップを広めることの重要性を強調」するとしている²¹⁾。

16) 出典：日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．仙台レポート - 災害に強い社会の構築のための防災．日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．2012. 62p. p.4,

17) 出典：日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．仙台レポート - 災害に強い社会の構築のための防災．日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．2012. 62p. p.5.

18) 出典：財務省，世界銀行．～持続的な開発のための防災の主流化～城島財務大臣、キム世界銀行総裁による共同ステートメント（仙台ステートメント）．財務省，世界銀行．2012. 1p. p.1

19) 出典：日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．災害に強い社会の構築のための防災．日本政府，防災グローバル・ファシリティ（GFDRR），世界銀行．2012. 6p. p.5-6.

20) 出典：財務省，世界銀行．～持続的な開発のための防災の主流化～城島財務大臣、キム世界銀行総裁による共同ステートメント（仙台ステートメント）．財務省，世界銀行．2012. 1p. p.1

21) 出典：財務省，世界銀行．～持続的な開発のための防災の主流化～城島財務大臣、キム世界銀行総裁による共同ステートメント（仙台ステートメント）．財務省，世界銀行．2012. 1p. p.1

2. 大規模な水災害発生の事例

近年、大規模な水災害が発生しているバングラデシュとフィリピンの状況について概観する。

2-1. バングラデシュ

バングラデシュの洪水には、北部や東部の国境地帯に特徴的な「フラッシュ・フラッド」²²⁾、「雨季における主要河川の氾濫による洪水」、「大雨による内水洪水」及び「高潮による沿岸部の洪水」の4種類がある。

同国でのフラッシュ・フラッドは、国境近くのインド領内の急峻な山地からの出水で、急激な河川水位の上昇による洪水である。破堤、堤内地の水没により収穫前の稲に大きな被害をもたらす。バングラデシュにはガンジス河、ブラマプトラ河、メグナ河の3巨大河川が流れており、これらの河川の氾濫によりたびたび大洪水が発生している。近年では、1987年、1988年、1998年、2004年、2007年に大洪水が発生した。2007年の洪水では、国土の42%が浸水し、300万世帯の計1,600万人に被害を与えた【図11】。大雨による内水洪水および高潮による沿岸部の洪水は、国土が低平地という地形特性および膨大な浮遊砂量による河川への堆砂の進行という河川特性に加え、設計や施工の不具合に起因する脆弱な堤防という人的要因により発生している。雨季だけでなく乾季に入っても長期間浸水している場所があり、大きな社会問題となっている²³⁾。

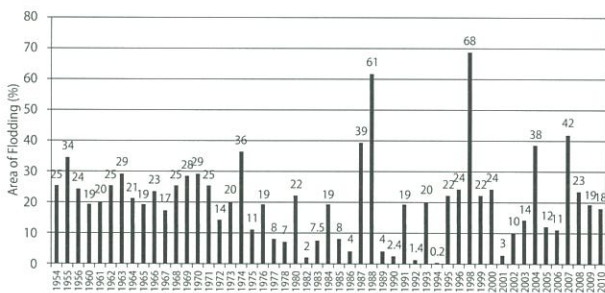


図11 洪水による国土の浸水割合²⁴⁾

22) 突発的に発生する出水のことで、発生からピークに至る時間や、現象の継続時間が短く、しばしば土砂や流木などを伴うことが特徴であり、土石流もこの範疇に含まれる。わが国では、概ね鉄砲水と表現される現象に相当する。突発的に発生するため発生予測は極めて困難であり、しばしば甚大な被害を生じる。(土木研究センター ウェブサイトより www.pwrc.or.jp/web_test/yougo_g/.../y0805-P047-047.pdf, アクセス日: 2015年3月11日)

23) 出典: 太田道男. バングラデシュ国における水資源管理と日本の支援. 河川. 2013. 12月号. p.46-51. p.48-49

24) 出典: 太田道男. バングラデシュ国における水資源管理と日本の支援. 河川. 2013. 12月号. p.46-51. p.49

2-2. フィリピン

フィリピンでは、台風や季節性の豪雨によりたびたび水災害が発生している。記憶に新しいのは2013年11月にフィリピン中部を襲ったスーパー台風ハイヤン(フィリピン名ヨランダ)による暴風と高潮による被害であろう。台風ハイヤンはフィリピン中部のレイテ島の上陸し、セブ島、パナイ島を横断した。死者6,201人、行方不明者1,785人、全・半壊家屋約114万棟という甚大な被害が発生した(2014年1月14日時点)。近年では台風の進路や被害を予測することができ、通信手段も発達してきているので、これほど多くの死者が出した台風は珍しい。

国土交通省の安部友則氏の文献によると、次の5つの要因がこのような甚大な被害を引き起こしたと言われている。

- ① 異常な勢力の台風による猛烈な高潮: 台風による海面の吸い上げ(海面上昇)、暴風による海水の吹き寄せに高波が重なり、7m~8mに高まった高潮が、津波のように段波状になって押し寄せた。
- ② 高潮に対する高い災害リスクの地形: 内陸部まで平坦地が広がり、近くに避難できる高台がほとんどない地域に人口・資産が集積していた。
- ③ 海との利便性を最優先した町の形態: 主要な産業が漁業であり、町や集落は海岸部に海岸に平行に形成されていた。
- ④ 高潮対策の欠如: 普段は穏やかな海であり、防潮堤のような高潮対策の施設などが皆無だった。
- ⑤ 住民の高潮に対する理解の不足: 過去の高潮がせいぜい海面から2m程度であり、今回のような高潮の経験が無く、政府から警報が出されても、多くの住民は避難せずそのまま家に留まっていた²⁵⁾。

他にも、2012年1月には、熱帯暴風雨センドンにより、死者1,268人、行方不明者181人の被害がフィリピン南部のミンダナオで発生し、同年12月に同じくミンダナオを襲った台風パプロでは死者1,067人、行方不明者834人が発生している。

3. 水災害リスク

世界の水災害リスクは様々な手法により評価されてきている。国連防災白書2009年版(2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction)(以下「本白書」)では、洪水による死者

25) 出典: 安部友則. フィリピン国台風ヨランダの現地調査と復旧・復興への技術協力~国際緊急援助隊・専門家チームへの参団~. 河川. 2014. 3月号. p.78-83. p.82

第1章 急増する世界の水災害とリスク評価

数により各国のリスク評価を行っている。【図12】の横軸の絶対リスクは年平均死者数を示しており、縦軸の相対リスクは人口当たりの年平均死者数を示している。洪水の死亡リスクはその地域がどの程度の危険に曝されているかを反映しており、アジア諸国、特に、インド、バングラデシュ、中国でリスクが高くなっている。これら3か国で世界の年平均死亡数の75%を占めている。リスクの高い国々とそのリスク指標はそれぞれインド (7.5)、バングラデシュ (6.5)、中国 (6)、ベトナム (6)、カンボジア (6)、ミャンマー (5.5)、スーダン (5.5)、北朝鮮 (5.5)、アフガニスタン (5)、

パキスタン (5) となっている。本白書は、洪水による死亡リスクの評価を 10kmメッシュ (10km × 10km 四方) でも行っている【図13】。南アジア、特に、バングラデシュおよびガンジス・ブラマプトラ流域で極めてリスクが高くなっている。インドシナ半島、特に、メコン川デルタ地域もハイリスクとなっている。中国の沿岸部でもリスクの高いエリアが見られる。ヨーロッパは全般的に中程度のリスクの地域となっている。その他のアフリカ、南北アメリカでは、一部を除き、リスクの高いエリアは見られない。

Modelled fatalities per million per year (relative)



図12 洪水による相対及び絶対死亡リスク²⁶⁾

26) 出典：United Nations. 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Risk and poverty in a changing climate - Invest today for a safer tomorrow. United Nations. 2009. 206p. p.34

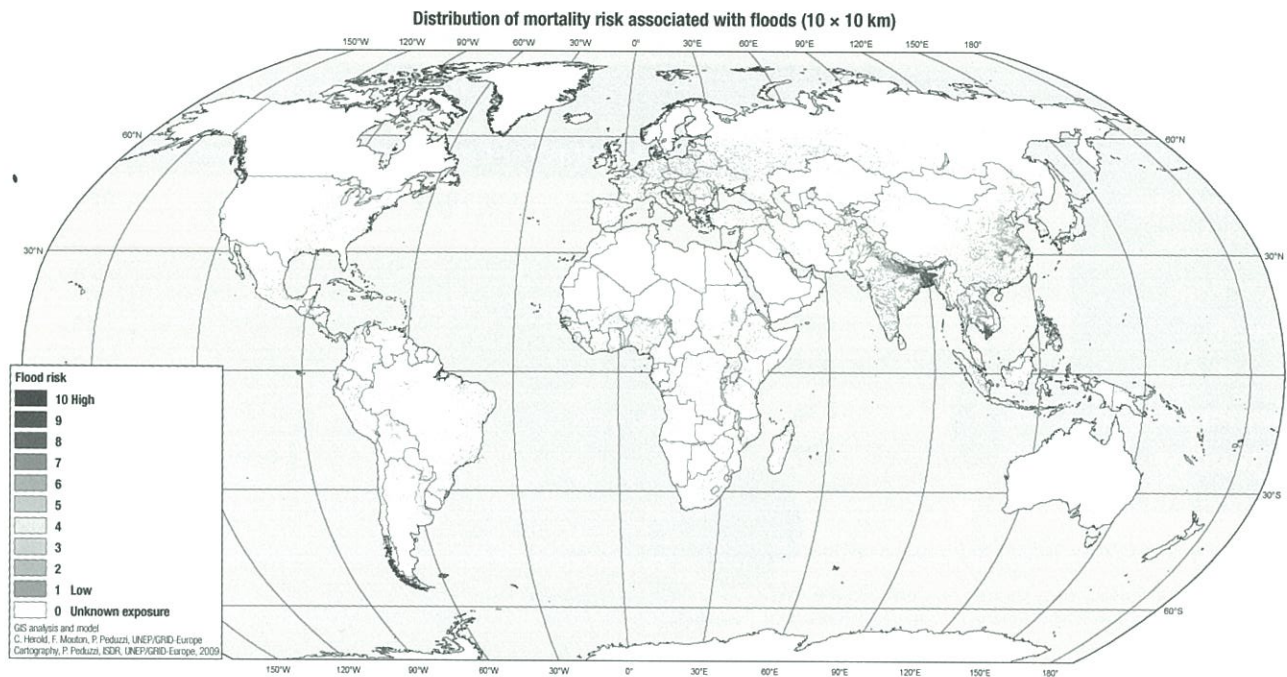


図13 洪水による死亡リスク (10km × 10km) ²⁷⁾

アジア地域の洪水、濁水、海岸災害を総合した水災害リスクについて、著者らが分析を行い、アジア開発銀行の発行しているアジア水開発アウトック (Asian Water Development Outlook 2013) ²⁸⁾ の第2章の第5節「水災害に対するレジリエンス(回復力) (Key Dimension5: Resilience to Water-Related Disasters)」にまとめられている。水災害のリスクやレジリエンスを次の5つの要素を用いて評価している。

- ① ハザード (危険性): 洪水、濁水、海岸災害の危険性
- ② エクスポージャー (暴露度): 水災害の危険性にさらされている程度 (人口密度、経済成長率等を用いて算定)
- ③ バルナラビリティ (脆弱性): 水災害に対する脆弱性 (貧困率、土地利用等を用いて算定)
- ④ ハード対応力: 水災害に対するハード面での対応力
- ⑤ ソフト対応力: 水災害に対するソフト面での対応力

【表3】は、アジアの地域別の上記の5要素とそれらから算定したリスクを示している。先進国のリスク (19.0) が最も低く、中央・西アジア (32.8) がそれに次いでいる。中央・西アジアのリスク

が低いのは、ハザードとエクスポージャーが低いことと、ソフト対応力が比較的高いためである。東南アジア、東アジアがそれらに続き、南アジアと太平洋地域が高リスクとなっている。南アジアの高リスクは、エクスポージャーとバルナラビリティが高く、ソフト対応力が低いためである。これは危険地域での人口が多く、貧困により対応力が不十分であることが原因である。太平洋地域の高リスクの要因は、ハザードがそれほど高くないにもかかわらず、貧困が原因となり、バルナラビリティが高く、ハード、ソフトともに対応力が低くなっているためである。このように、災害リスクは、自然条件によるハザードだけでなく、土地利用、経済開発、貧困といった社会経済条件や災害への対応能力により、規定されるものである。

27) 出典: United Nations. 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Risk and poverty in a changing climate - Invest today for a safer tomorrow. United Nations. 2009. 206p. p.33

28) 出典: Asian Development Bank (ADB). Asian Water Development Outlook 2013 – Measuring Water Security in Asia and the Pacific. ADB. 2013. 109p. p.63-75.

表3 地域別水災害リスクとその要素²⁹⁾

| Region | Hazard | Exposure | Vulnerability | Hard Coping Capacity | Soft Coping Capacity | Risk Indicator |
|-----------------------|--------|----------|---------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Central and West Asia | 5.24 | 4.48 | 6.21 | 8.36 | 10.30 | 32.8 |
| East Asia | 7.68 | 6.82 | 5.27 | 10.56 | 11.20 | 48.0 |
| Pacific | 5.96 | 6.69 | 9.87 | 5.86 | 5.23 | 74.4 |
| South Asia | 6.98 | 8.31 | 8.62 | 10.97 | 6.58 | 72.0 |
| Southeast Asia | 5.12 | 8.16 | 5.96 | 10.04 | 9.37 | 40.5 |
| Advanced Economies | 7.03 | 5.27 | 1.17 | 13.91 | 12.22 | 19.0 |

Note: The National Water Security Index uses a resilience rather than a risk indicator.

Source: Base on various data sources reported in the AWDO 2013 background paper "Water Security Key Dimension 5: Building Resilient Communities through Water-Related Disaster Risk Reduction," available on the AWDO 2013 supplementary DVD.

【図14】は、アジア各国・地域別（ここでの地域は、台湾および香港を指す）の水災害に対するレジリエンスを示している。オーストラリア、シンガポール、ニュージーランド、日本といった先進国が上位4か国となっている。このうち、ニュージーランド、日本は、洪水と海岸災害に対するレジリエンスは高いが、渇水に対しては低くなっている。36か国・地域中、中国とインドはそれぞれ13位、21位と中位となっている。バングラデシュのような最貧国やヴァヌアツのような島嶼国が下位となっている。

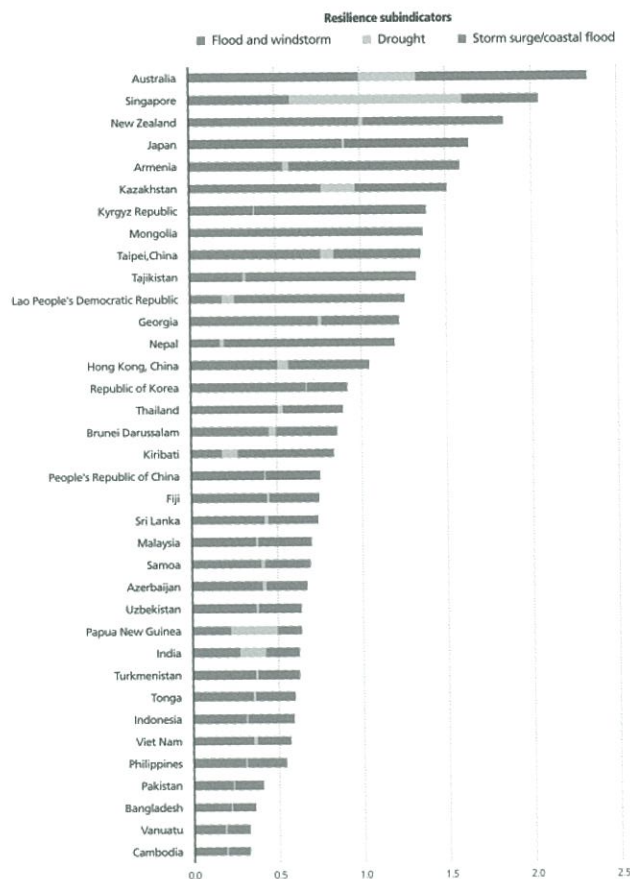


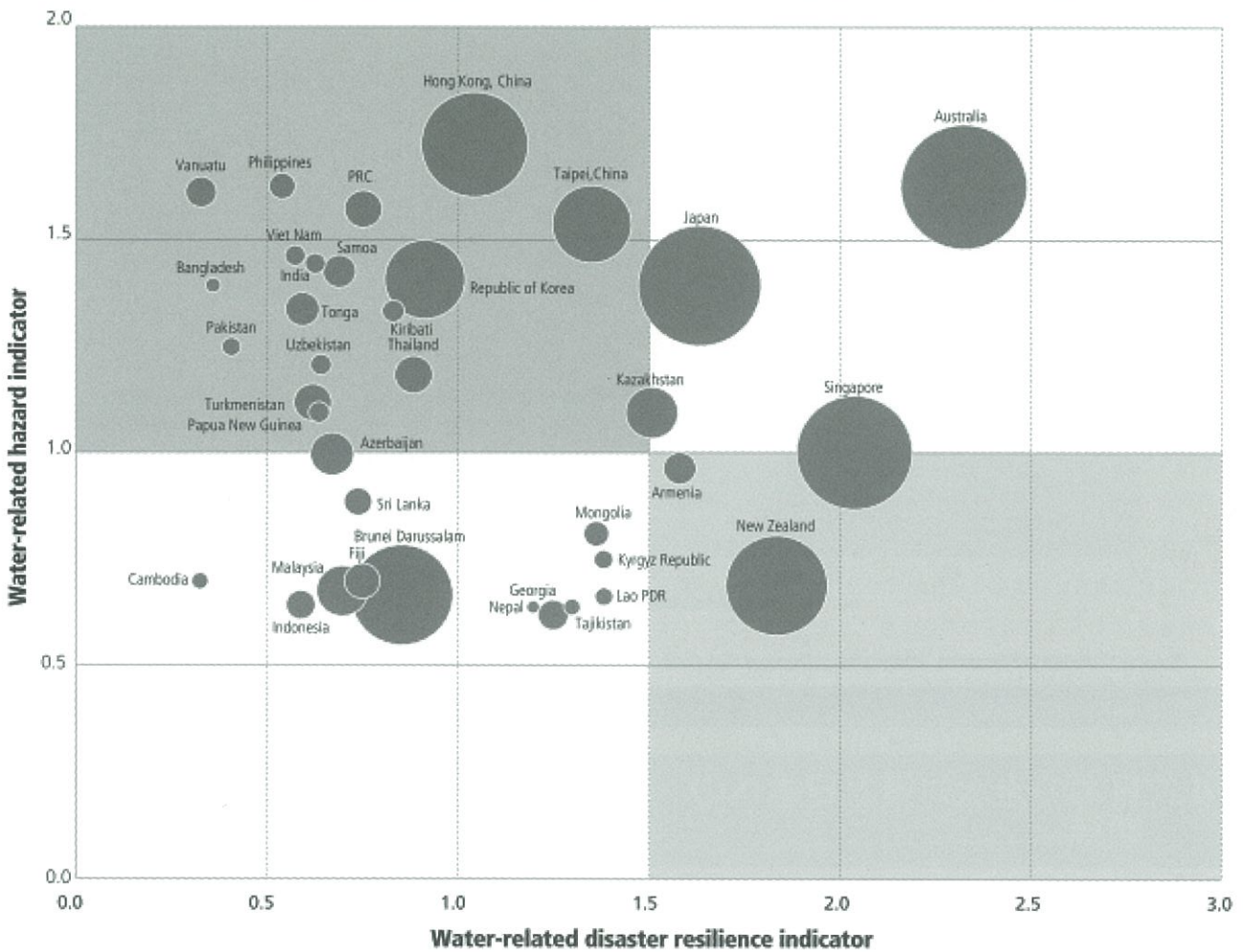
図14 水災害レジリエンス（回復力）³⁰⁾

29) 出典：Asian Development Bank (ADB) . Asian Water Development Outlook 2013 – Measuring Water Security in Asia and the Pacific. ADB. 2013. 109p, p.64.

30) 出典：Asian Development Bank (ADB) . Asian Water Development Outlook 2013 – Measuring Water Security in Asia and the Pacific. ADB. 2013. 109p, p.69.

【図15】は、水災害ハザードとレジリエンスの関係を示している。ニュージーランドは、ハザードは低くレジリエンスが高いため、水災害については最も安全な国と言える。オーストラリア、シンガポール、日本は、ハザードが高いという自然条件にありながら、レジリエンスを高め、安全を保ち、発展を遂げている。香

港や韓国は、前述の国を追い、発展を遂げつつある国々である。タイ、マレーシア、インドネシアなどの国々は、レジリエンスは高くないが、ハザードもそれほど高くない国々である。同図の左上にあるタジキスタン、バングラデシュなどは、レジリエンスも低く、ハザードも高い危険性の高い国々である。



Lao PDR = Lao People's Democratic Republic, PRC = People's Republic of China

Note: Bubble size is proportional to per capita gross domestic product (2009 \$)

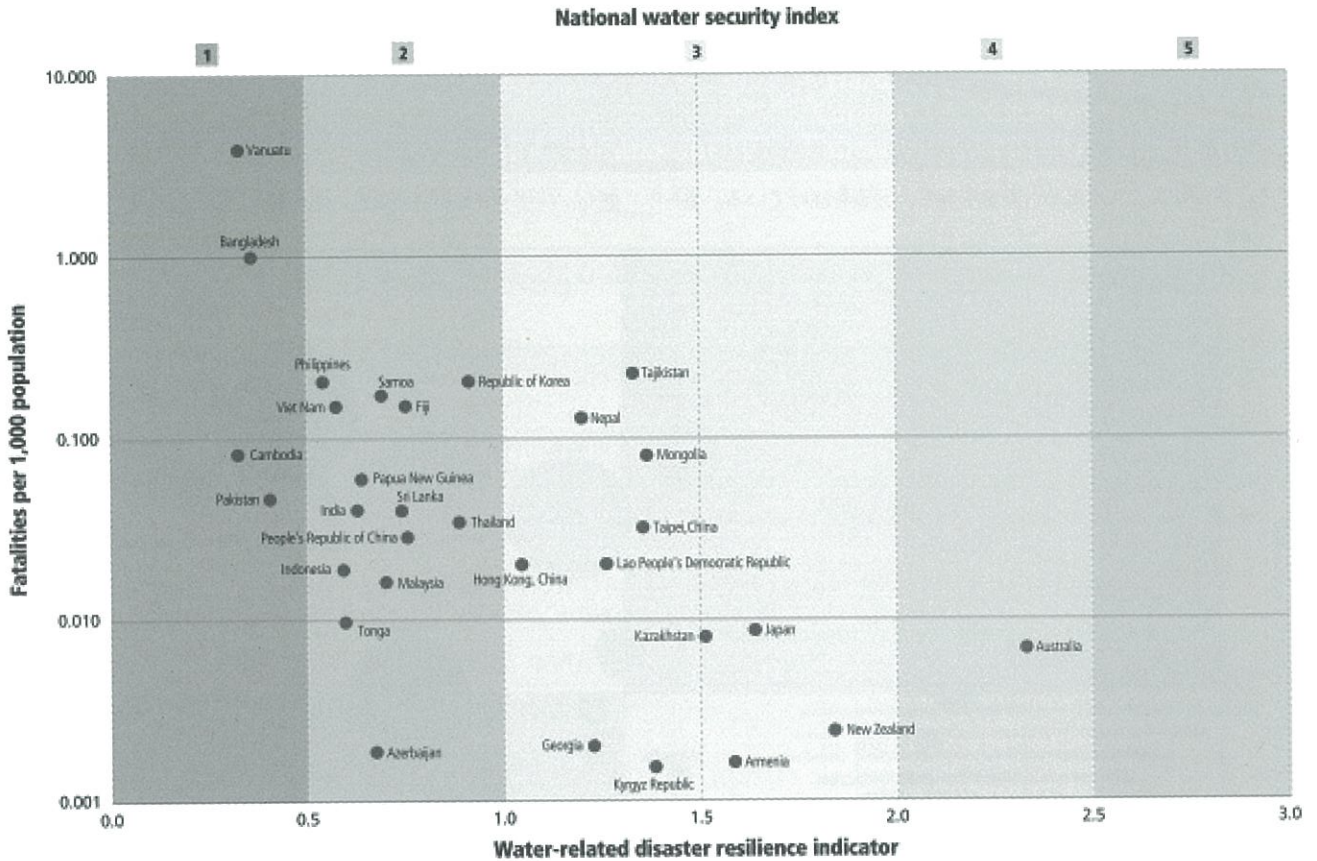
Source: For gross domestic product data, World Bank. World Development Indicators. <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>

図15 水災害ハザードとレジリエンスの関係³¹⁾

【図16】は、レジリエンスと人口千人当たりの水災害による死者数の関係を示している。オーストラリア、シンガポール、ニュージーランド、日本といった先進国は、いずれのレジリエンスも高く、死亡率も低くなっている。韓国、台湾、香港はレジリエンス、死亡率

ともに中位となっている。バヌアツ、バングラデシュなどは、レジリエンスが低く、死亡率も高くなっている。死者数は、水災害の発生の有無や規模によるため、レジリエンスと死亡率の間に明確な相関関係は示されていないが、レジリエンスを高めた国々の死亡率はいずれも低くなっている。貧困を削減し、ハード・ソフトの適応力など高め、レジリエンスを向上させることにより、リスクを減少させ、安全な国土を築くことが発展の基礎となっていると言えるであろう。

31) 出典：Asian Development Bank (ADB) . Asian Water Development Outlook 2013 – Measuring Water Security in Asia and the Pacific. ADB. 2013. 109p, p.71.



Source: For data on fatalities, International Disaster Database. www.emdat.be/database

図16 水災害死亡率とレジリエンスの関係³²⁾

4. 日本の治水対策と日本への期待

我が国では水害・土砂災害が多発し、1994年から2003年の10年間を見ても日本の市区町村の97%以上が水害・土砂災害に襲われている。日本の国土の大半が山地であるため、人口が限られた平地に集中することに加え、古代から水田農業が基幹産業であり、水田耕作に適した沖積平野の開発が進められてきた歴史から、日本全土の10%を占める洪水氾濫区域に人口の約50%が居住している【表4】。これは国土全体が低平で水害に悩まされてきたオランダをも大きく上回る割合であり、このような厳しい自然・社会特性が、我が国において水害が頻発する基本的な要因である³³⁾。

32) 出典：Asian Development Bank (ADB) . Asian Water Development Outlook 2013 – Measuring Water Security in Asia and the Pacific. ADB. 2013. 109p, p.72

表4 想定氾濫区域面積・人口の比較³⁴⁾

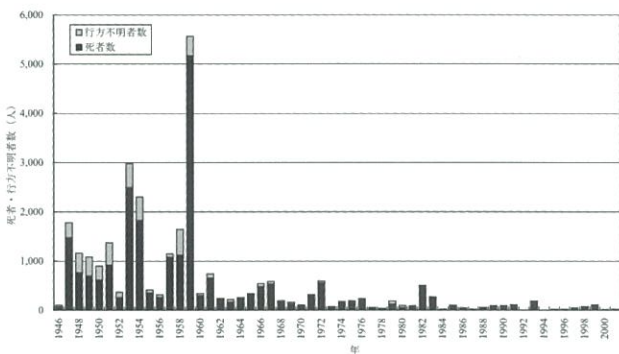
| | 日本 | アメリカ | イギリス | オランダ |
|-----------------------------|--------|---------|--------|-------|
| 想定氾濫区域内人口 (万人) | 6,257 | 2,686 | 450 | 550 |
| 想定氾濫区域面積 (km ²) | 37,783 | 641,334 | 12,500 | 8,300 |
| 想定氾濫区域内人口/全人口 (%) | 49 | 9 | 7 | 33 |
| 想定氾濫区域面積/可住地面積 (%) | 87 | 7 | 22 | 91 |

注) 下記のデータより著者が作成。
 【想定氾濫区域内人口、想定氾濫区域面積】
 ・ 日本：Rivers in Japan
 ・ アメリカ：国土交通省資料 (http://www.mlit.go.jp/river/gaiyou/pan/dam2004/pdf1.pdf)
 ・ イギリス：Defra, Learning to live with river
 ・ オランダ：IKSR, Rhine Atlas 2001
 【全人口、可住地面積】
 ・ 4ヶ国とも：CIA, The World Fact Book

33) 出典：今村能之、世界の水問題解決に向けた国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割と日本の国際的地位向上に関する研究, The role of the World Water Assessment Programme (WWAP) in coping with global water crisis and an improvement of Japan's status in an international society. 国土技術政策総合研究所, 国土技術政策総合研究所資料 512号 .2009.214p, p.33, p.35, p.80

34) 出典：今村能之、世界の水問題解決に向けた国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割と日本の国際的地位向上に関する研究, The role of the World Water Assessment Programme (WWAP) in coping with global water crisis and an improvement of Japan's status in an international society. 国土技術政策総合研究所 . 国土技術政策総合研究所資料 512号 .2009.214p, p.80

苛酷な条件であるにもかかわらず、これまでの積極的な治水施策の展開により、日本における水害による死者・行方不明者は、【図17】のように劇的に減少してきた。【図18】にあるように、継続的な治水投資により、1960年代、1970年代には200,000ha近くあった浸水面積を、1980年代以降は大幅に減少させてきた。これにより、浸水面積当たりの被害額である洪水被害密度が洪水氾濫区域への資産集中の進行により急増しているにもかかわらず、被害額の増加が大幅に抑制されてきた。そして努力の積み重ねにより、我が国は実践的な治水対策の技術、経験を蓄積してきた。



注)水害統計データ (http://www.stat.go.jp) より筆者が作成。

図17 我が国における水災害による死者・行方不明者の推移³⁵⁾

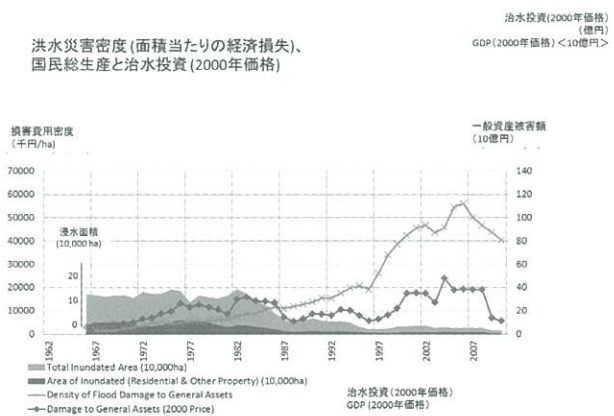


図18 日本の防災投資の成果³⁶⁾

このような我が国の近代治水の歴史を高橋裕東京大学名誉教授は、20世紀の日本の社会経済の変化、それにとまなう河川、水環

境の変貌を世界の河川史において、いずれの民族も経験しなかった劇的な変貌だとし、それはモンスーン・アジアの途上国への先例のみならず、水問題に直面する他の国にも他山の石となるだろうと述べている。1896年に公布された旧河川法に始まる大規模治水事業は、高い頻度で大洪水が襲来する沖積平野の近代化の開発のためであったが、河川の両岸に連続した堤防を築くという治水手段は、モンスーン・アジアでは最初の壮挙だったとしている³⁷⁾。

このように発展を遂げてきた我が国の治水技術・政策は国際的にも注目を集めているので、そのいくつかの事例を紹介する。

国連水会議 (1977年、アルゼンチン、マル・デル・プラタ) や水と環境に関する国際会議 (1992年、アイルランド、ダブリン) などで警鐘されてきた世界の水問題の現状について、継続的に評価し、改善に向けた行動の検証を行うことを目的とする唯一の水に関する国連システム全体の取り組みとして、世界水アセスメント計画 (World Water Assessment Programme:WWAP、以下「WWAP」) が設立された。そして、1992年の国連環境開発会議 (UNCED) で合意された行動原則「アジェンダ21」の淡水に関する目標の進展の把握と、2000年の第2回世界水フォーラム (2WWF) で採択された世界水ビジョンの提言の実施状況のモニタリングを行うために、日本政府の支援により2000年8月にパリの UNESCO 本部内に事務局が設置され WWAP の活動が始まった。その後、国連水関係機関【表5】の合意や支援国の増加などにより発展を続け、2003年3月に日本で開催された第3回世界水フォーラム (以下「3WWF」) で世界水発展報告書 (WWDR: World Water Development Report、以下「WWDR」) の創刊号を発表し、世界の政策決定者やメディアの注目を浴びた。WWDRは世界の深刻な水問題について地球規模のデータを用いて11課題分野ごとに分析するとともに、問題の改善には政治的意志が不可欠であると指摘し、WWAP 自体が世界の淡水の状況をモニタリングする地球規模のメカニズムとなった³⁸⁾。WWDRの第11章「リスクの緩和と不確定性への対処 (Mitigating Risk and Coping with Uncertainty)」には日本の多くの知見が活用されるとも

35) 出典：今村能之・世界の水問題解決に向けた国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割と日本の国際的地位向上に関する研究, The role of the World Water Assessment Programme (WWAP) in coping with global water crisis and an improvement of Japan's status in an international society. 国土技術政策総合研究所・国土技術政策総合研究所資料 512号 .2009.214p., p.33, p.35, p.80-81

36) 出典：水害統計調査等より筆者作成

37) 出典：高橋裕・地球の水が危ない. 岩波書店. 2003. 215p., p.117-119

38) 出典：今村能之・世界の水問題解決に向けた国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割と日本の国際的地位向上に関する研究, The role of the World Water Assessment Programme (WWAP) in coping with global water crisis and an improvement of Japan's status in an international society. 国土技術政策総合研究所・国土技術政策総合研究所資料 512号 .2009.214p., p.33

に、日本が執筆を担当した第22章ケース・スタディ「東京大都市圏」においては、我が国が如何に水災害などに対処し発展してきたかが描かれている³⁹⁾。著者はWWAPの創設メンバーとして、WWDRの作成等に携わり、我が国に対する国際的な活動への参画の大きな期待を実感するとともに、それに対応した日本の国際貢献に従事する機会を得た。

表5 世界水アセスメント計画の共同実施国連機関⁴⁰⁾

| |
|---|
| <p>国際連合・計画と基金</p> <ul style="list-style-type: none"> - 国連人間居住計画 (UN-HABITAT) - 国連児童基金 (UNICEF) - 国連経済社会局 (UNDESA) - 国連開発計画 (UNDP) - 国連環境計画 (UNEP) - 国連難民高等弁務官事務所 (UNHCR) - 国連大学 (UNU) <p>国際連合・専門機関</p> <ul style="list-style-type: none"> - 国連食糧農業機関 (FAO) - 国際原子力機関 (IAEA) - 国際復興開発銀行 (IBRD : 世界銀行) - 世界保健機関 (WHO) - 世界気象機関 (WMO) - 国連教育科学文化機関 (UNESCO : ユネスコ) - 国連工業開発機関 (UNIDO) <p>国際連合・地域委員会</p> <ul style="list-style-type: none"> - 欧州経済委員会 (ECE) - アジア太平洋経済社会委員会 (ESCAP) - アフリカ経済委員会 (ECA) - ラテンアメリカ・カリブ経済委員会 (ECLAC) - 西アジア経済社会委員会 (ESCWA) <p>国際連合・条約10年事務局</p> <ul style="list-style-type: none"> - 砂漠化対処条約事務局 (CCD) - 生物多様性条約事務局 (CBD) - 気候変動枠組み条約事務局 (CCC) - 国際防災戦略事務局 (ISDR) |
|---|

WWAPへの貢献や日本で開催された3WWFの成功により、水分野における日本のリーダーシップは決定的となり、様々な場面で大きな役割を果たすこととなった。例えば、フランスで開催された主要先進国首脳会合での水に関するG8行動計画の合意には、フランス政府とともに我が国が中心的役割を担った。また、3WWFに至る日本の水分野での活動の継続、発展させる組織として2004年に日本水フォーラムが設立され、2008年には日本を議長国とするG8サミットが北海道の洞爺湖で開催され、地球温暖化問題に加え水問題が議論された⁴¹⁾。

また、WWAPの成果および3WWFに向けた活動は、国連、特にUNESCOにおいて、日本の水分野での先進性の認識を高めることとなった。このような日本の期待の高まりを受け、著者（当時、UNESCO水科学部）とソロシナジ水科学部長は、日本におけるUNESCOの水分野の国際センター設立構想を提案した。この設立構想はUNESCO、日本政府等の関係部局の賛意を得て、3WWF（2003年3月）の閣僚会議の基調講演において、UNESCOの松浦事務局長（当時）から発表された。その後、制度面、資金面等の調整、さらにはUNESCO加盟国への支持の取り付けなどを進め、2005年のUNESCO総会において、設立提案が満場一致で承認された。日本で初めてUNESCO総会で正式な承認を得たUNESCOのセンターとして水災害リスクマネジメント国際センター（International Centre for Water Hazard and Risk Management（以下「ICHARM」）under the auspices of UNESCO）が発足した。ICHARMは、UNESCO、世界気象機関（WMO）、ISDR、国連大学（UNU）の国連4機関が共同で設立した国際洪水イニシャティブ（International Flood Initiative）の事務局機能を担うなど、水災害リスクの国際的な拠点として発展を続けている。

39) 出典：United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) . The United Nations World Water Development Report – Water for People, Water for Life. UNESCO Publishing, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Berghahn Books. 2003. 576p., p.269-290, p.481-498

40) 出典：今村能之. 世界の水問題解決に向けた国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割と日本の国際的地位向上に関する研究, The role of the World Water Assessment Programme (WWAP) in coping with global water crisis and an improvement of Japan's status in an international society. 国土技術政策総合研究所. 国土技術政策総合研究所資料 512号 .2009.214p., p.33, p.35, p.80-81

41) 出典：今村能之. 世界の水分野に関する主要な動向. 土木技術資料. 2009. Vol.51, no.1, p.10-13. P.13

おわりに

フィリピン、タイ、インドネシア、インド、パキスタン、バングラデシュ、ニジェールなど世界各地で大規模な自然災害が発生し、甚大な被害を引き起こしている。被害は途上国に限らず先進国も大きな被害を受けている。自然災害の3/4は、洪水、土砂災害、高潮、濁水などの水文気象関連の災害である。自然災害の発生件数は急激に増加しているが、死者数は急減している。この減少は各国政府や国際機関などの継続的な防災活動によるものであるとされている。一方、1980年～1990年代以降、経済被害は急増し、2011年には3,800億ドルに達している。このような経済被害により、長年にわたる努力の結果である経済開発の効果は一瞬で失われる。経済規模の小さい低所得国や島嶼国では、被害額が年間のGDP総額を上回る場合もある。経済被害が増加する要因の1つとして、災害リスクの高い地域の経済資産の集中が挙げられている。このように世界各地で被害が発生しているが、災害に強い社会を構築するための社会的、物理的、経済的インフラへの投資は、災害の発生を予防したり、被害を軽減するものであり、その結果、人命を救い、緊急人道支援に対する需要を抑制し、復興費用を最小化するものである。

近年、水災害リスクを評価する様々な手法が開発されており、水災害リスクの高い地域などが明らかになってきている。また、その分析結果は、水災害リスクが自然条件によるハザードだけでなく、土地利用、経済開発、貧困といった社会経済条件や災害への対応能力といった要因の影響を大きく受けることを示している。

我が国は環太平洋火山帯に位置し、活発な造山活動により国土が脆弱である上に、アジアモンスーン地域に属し、台風や梅雨前線などによる豪雨が頻発する水災害大国である。このような厳しい自然条件にある国土において、我が国は、長年の努力と継続的な防災投資を行い、経済発展の基礎を築いてきた。このような努力により、蓄積されてきた日本の技術、知見が海外においても大きく評価されており、国際的に貢献することが期待されている。

参考文献

- (1) 栗城稔, 今村能之, 小林裕明. 水害の精神的影響の経済的評価, 自然災害科学. 1996. vol.15 No.3. pp.231-240
- (2) 栗城稔, 今村能之, 小林裕明. 水害被害の実態調査に基づく一般資産の被害率の推定. 土木研究所資料第3330号. 1995. p.282
- (3) Yoshiyuki Imamura. Economic Evaluation of Coastal Management in Japan. Coastal Management: Integrating science, engineering and management. 2000. p.39-47. p.252
- (4) United Nations Development Programme (UNDP). A Global Report: Reducing Disaster Risk. UNDP. 2004. 146p.
- (5) 今村能之. 国連の水問題に関する取り組みの成功要因についての考察—国連世界水アセスメント計画 (WWAP) とグローバル国際水域評価 (GIWA) との比較—. 水文・水資源学会誌. 2007. Vol.20. No.5. p.400-408
- (6) 今村能之. 世界の水問題解決に向けての国連世界水アセスメント計画 (WWAP) の役割—国連の取り組みを通じた日本の国際的地位向上を目指して—. 水文・水資源学会誌. 2008. Vol.21, No.2, p.140-157
- (7) 今村能之. 世界の水危機と国連の取り組み. 国際問題. 2003. No.521号.
- (8) 今村能之. 世界の水分野に関する主要な動向. 土木技術資料. 2009. Vol. 51. No. 1. p.10-13
- (9) United Nations, The World Bank. Natural Hazards, Unnatural Disaster. The World Bank. 2010. 254p.
- (10) Abhas K Jha, Robin Bloch, Jessica Lamond. The World Bank. 2012. 631p.
- (11) The World Bank. World Development Report – Risk and Opportunity: Managing Risk for Development. 2013. 343p.