居安思危：今すぐ甚大な水関連災害の対策を!

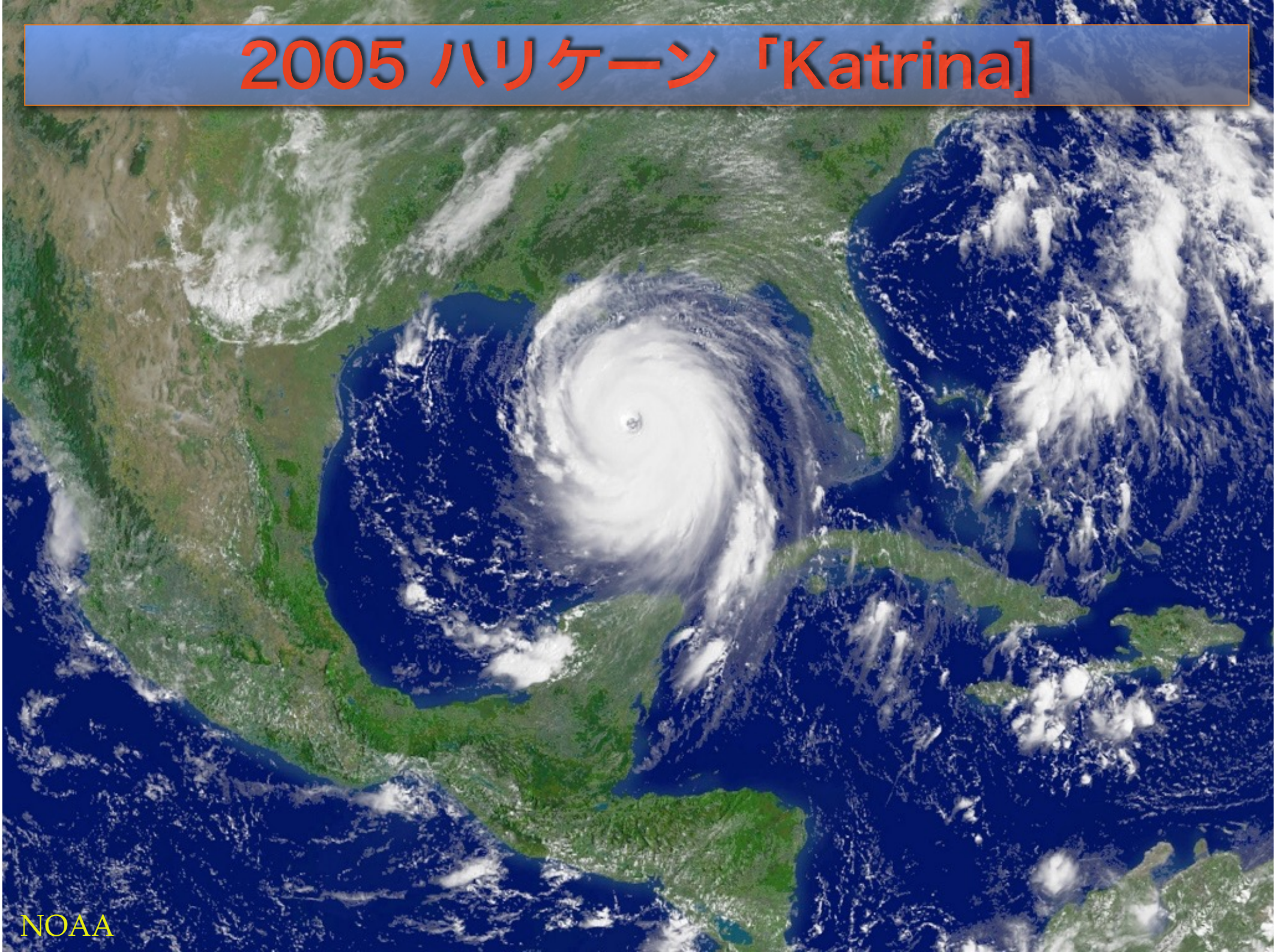
京都大学防災研究所水資源環境研究センター
田中　茂信

2016 Jun 2

本日のトピック

1. 近年の水災害
2. 気候変化はどの程度進んでいるか
3. 極端に大きな災害外力の発生状況
4. 近年の大災害で起きたことから次に何が起きるのかを想像しリスクマネジメント

2005 ハリケーン「Katrina]



NOAA

2005年 8月ハリケーン カトリーナ　N.O.

17th St. Canal

2005年 8月ハリケーン カトリーナ　N.O.

17th St. Canal

2005年 8月ハリケーン カトリーナ　N.O.

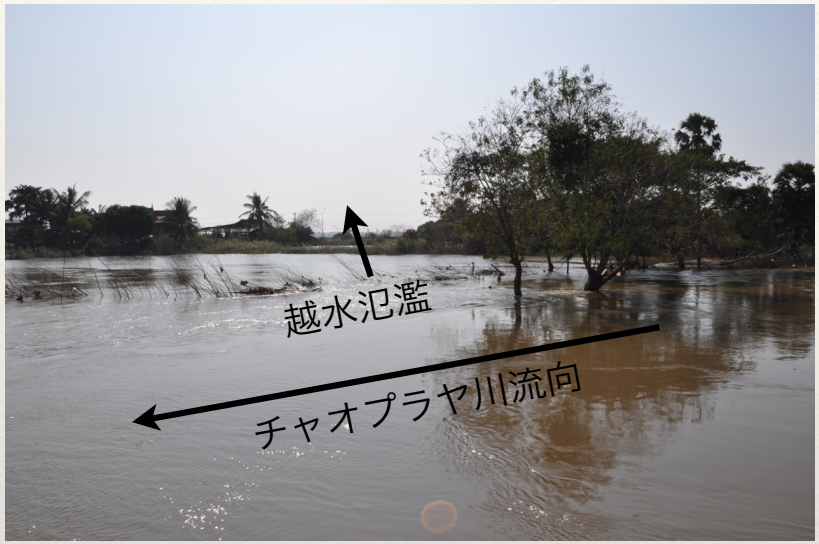
London Canal

2005年 8月ハリケーン カトリーナ　N.O.

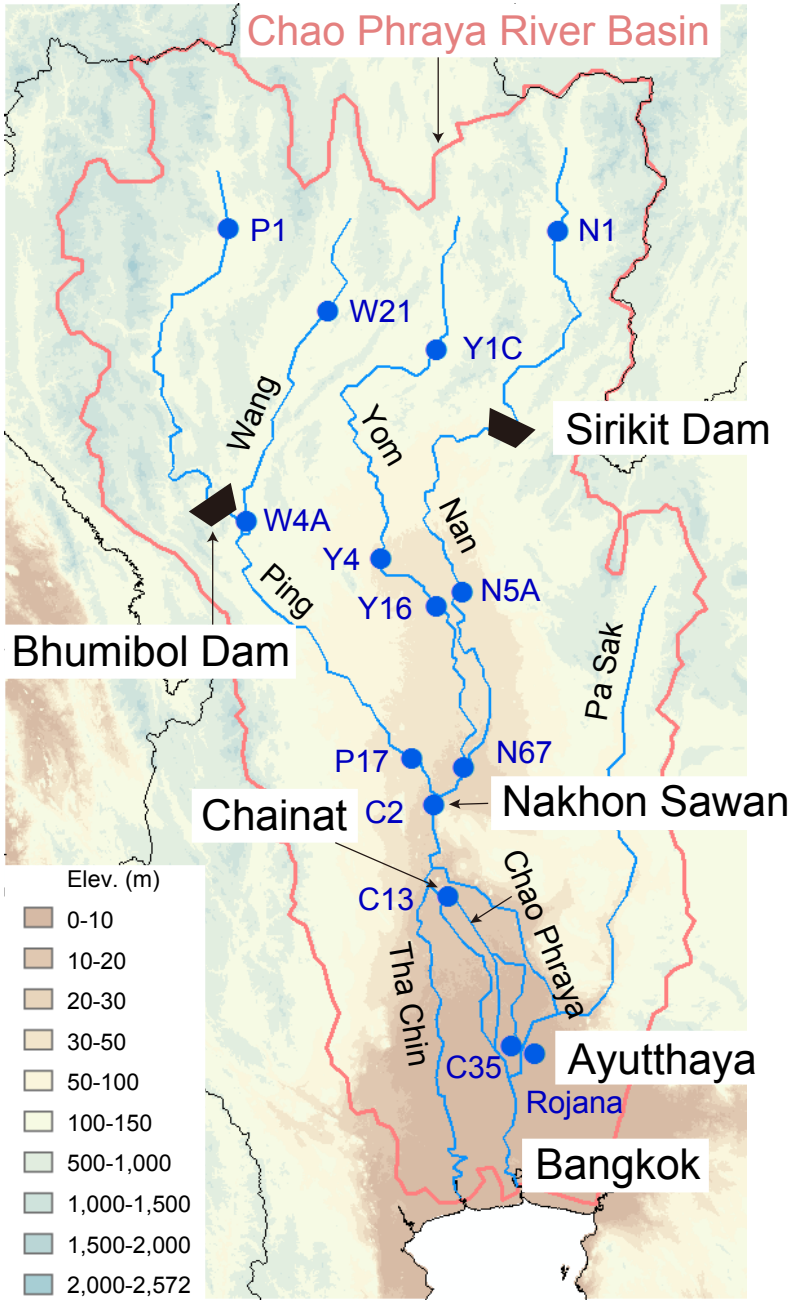
2005年 8月ハリケーン カトリーナ　N.O.

2011タイ　チャオプラヤ洪水

2011タイ洪水の状況



2011タイ・チャオプラヤ川洪水



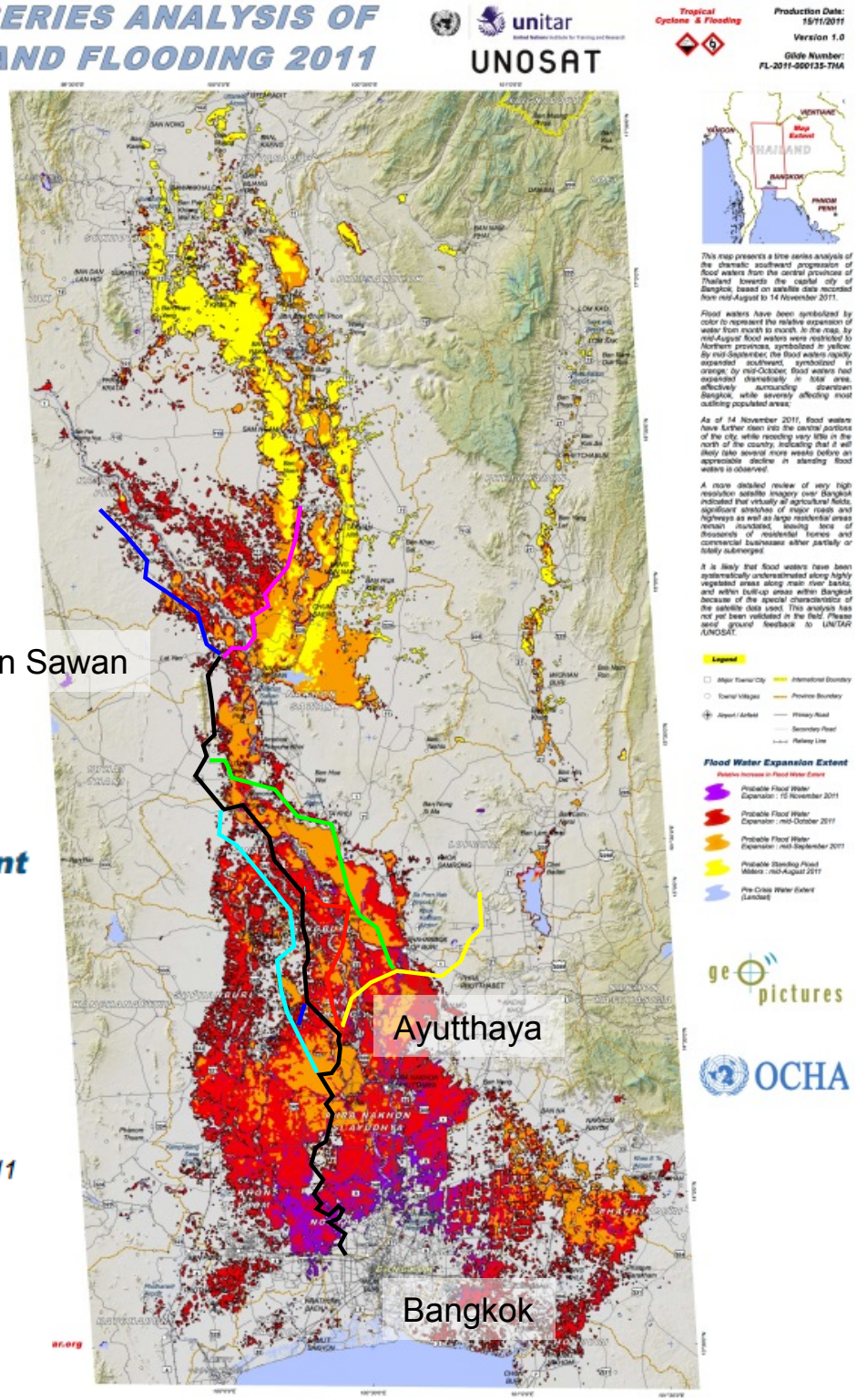
Chao Phraya River Basin

Area	160,000km^2
Length	800 km
Slope	1/50,000 ~ 60,000 (Ayutthaya – River Mouth)
Dam	Bhumibol : 13.5 Billion m^3 Sirikit : 9.5 Billion m^3

Outline of 2011 Thailand Flooding

Rainfall	May - Oct. : 1372 mm (140% of Ave.) Five typhoons and tropical low pressure systems
Peak Discharge	4,680 m^3/s on Oct. 14, 2011 (5,960 m^3/s in 2006)
Inundation Vol.	Approx. 10,000 km^2, 10.0 Bill. m^3
Damage	Deaths and missing : 678 Affected people : 1.35 Million Damage and loss : 45.7 Bill. USD

UNOSATによる洪水氾濫状況情報



浸水範囲

11月中旬

10月中旬

9月中旬

8月中旬

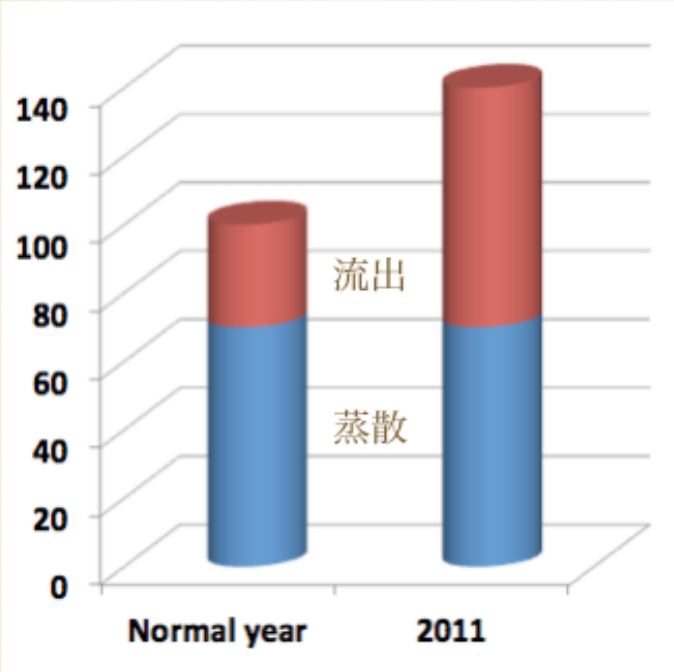
災害前の水域

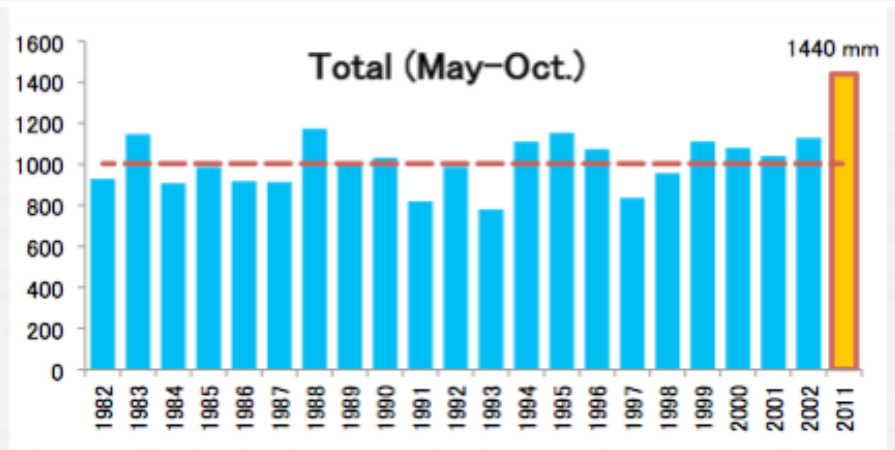
平年の1.43倍の雨が2.43倍の流出に

2011タイ・チャオプラヤ川洪水の背景

平年の1.43倍の雨が降った

平年の蒸散は降雨の70%





rainfall ET Runoff

100 – 70 = 30

↓

143 – 70 = 73

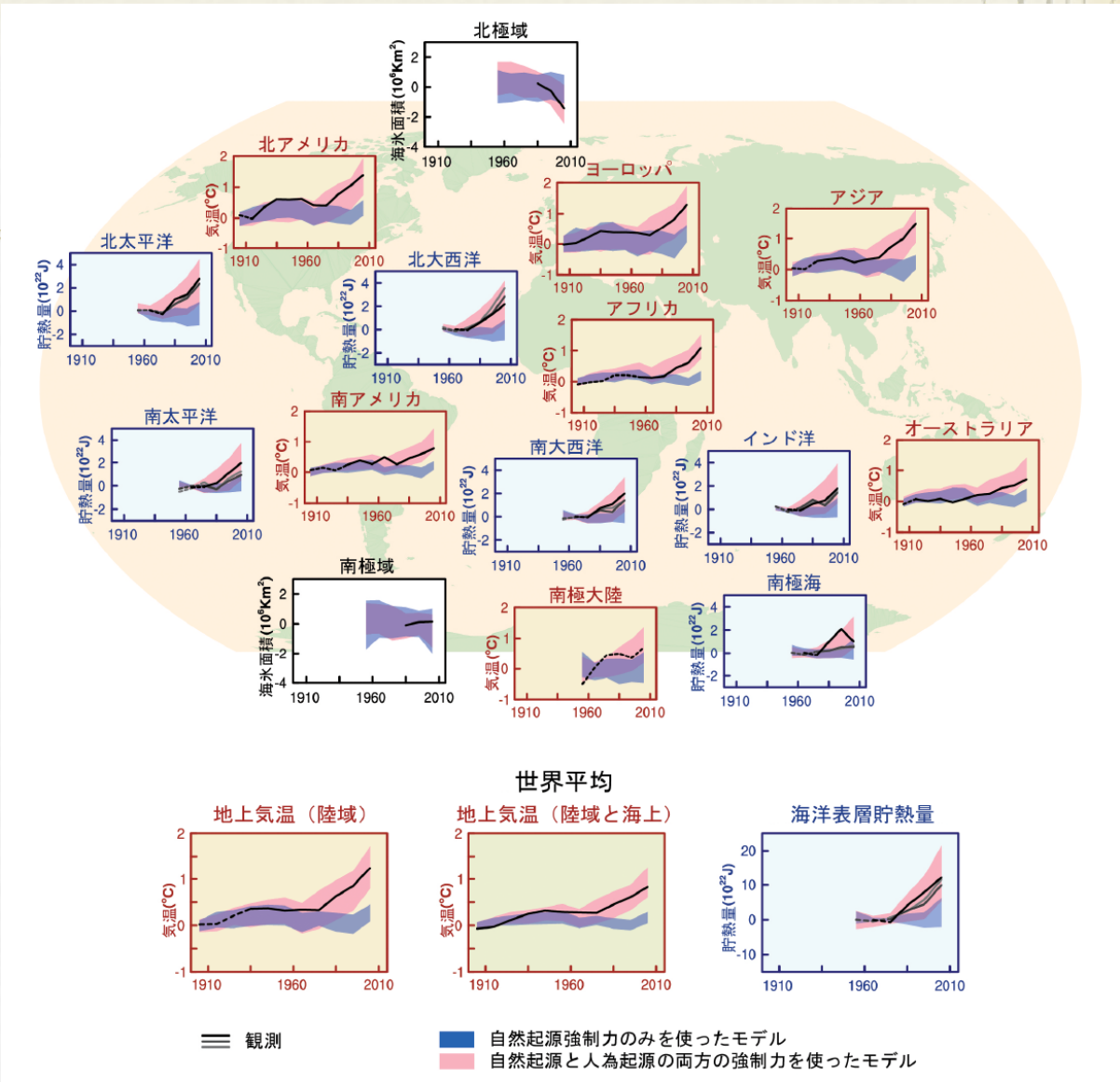
流出は平年の243%になる！

143 % of normal average of rainfall → 243(=73/30) % of normal average of river discharge

東大沖研究室

IPCC AR5

大陸上の地上気温の変化（黄背景の図）
北極域及び南極域の9 月の海氷面積（白背景の図）
主要な海域における海洋表層の貯熱量（青背景の図）

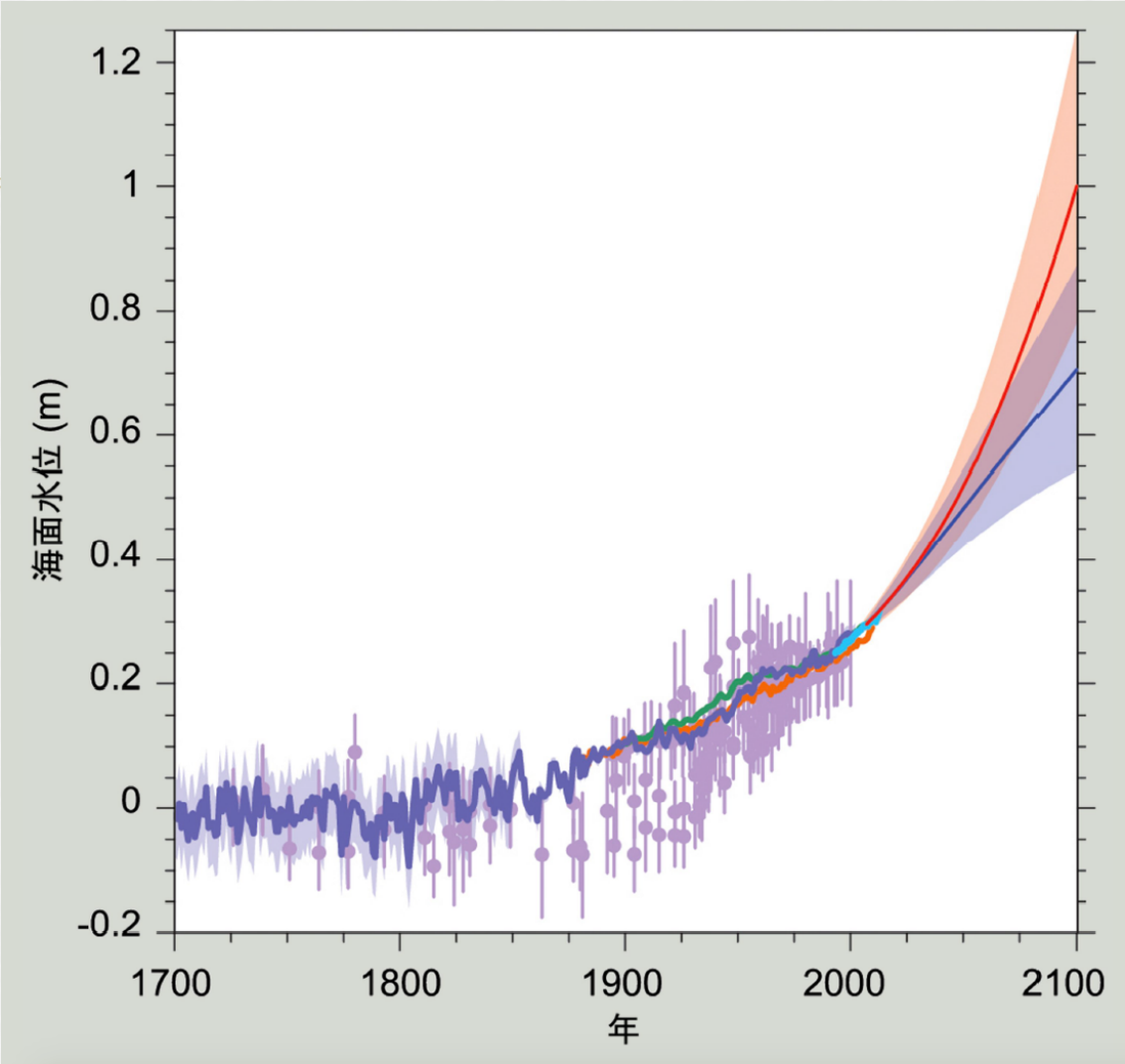


図SPM.6: 観測及びシミュレーションにより再現された気候変動の比較。大気、雪氷、海洋における三つの大規模な指標、すなわち大陸上の地上気温の変化（黄背景の図）、北極域及び南極域の9 月の海氷面積（白背景の図）、主要な海域における海洋表層の貯熱量（青背景の図）に基づくもの。世界平均の変化も示す。地上気温については1880～1919年平均、海洋貯熱量については1960～1980年平均、海氷については1979～1999年平均を基準とした偏差を示している。時系列は全て10年平均で、10年間の中心年の位置に表示している。気温の図では、調査がなされた領域の空間被覆率が50%以下である場合には、観測値は破線で示される。海洋貯熱量と海氷の図では、データ被覆率が良好で品質がより高い年代は実線で、データ被覆率がかろうじて妥当な水準でそのため不確実性が大きい年代は破線で示される。モデル結果として第5期結合モデル相互比較計画（CMIP5）の複数のモデルによるアンサンブル平均の範囲を示しており、陰影部分は5～95%の信頼区間を示している。　出典：気象庁ホームページ　（http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf）

IPCC AR5

海面水位

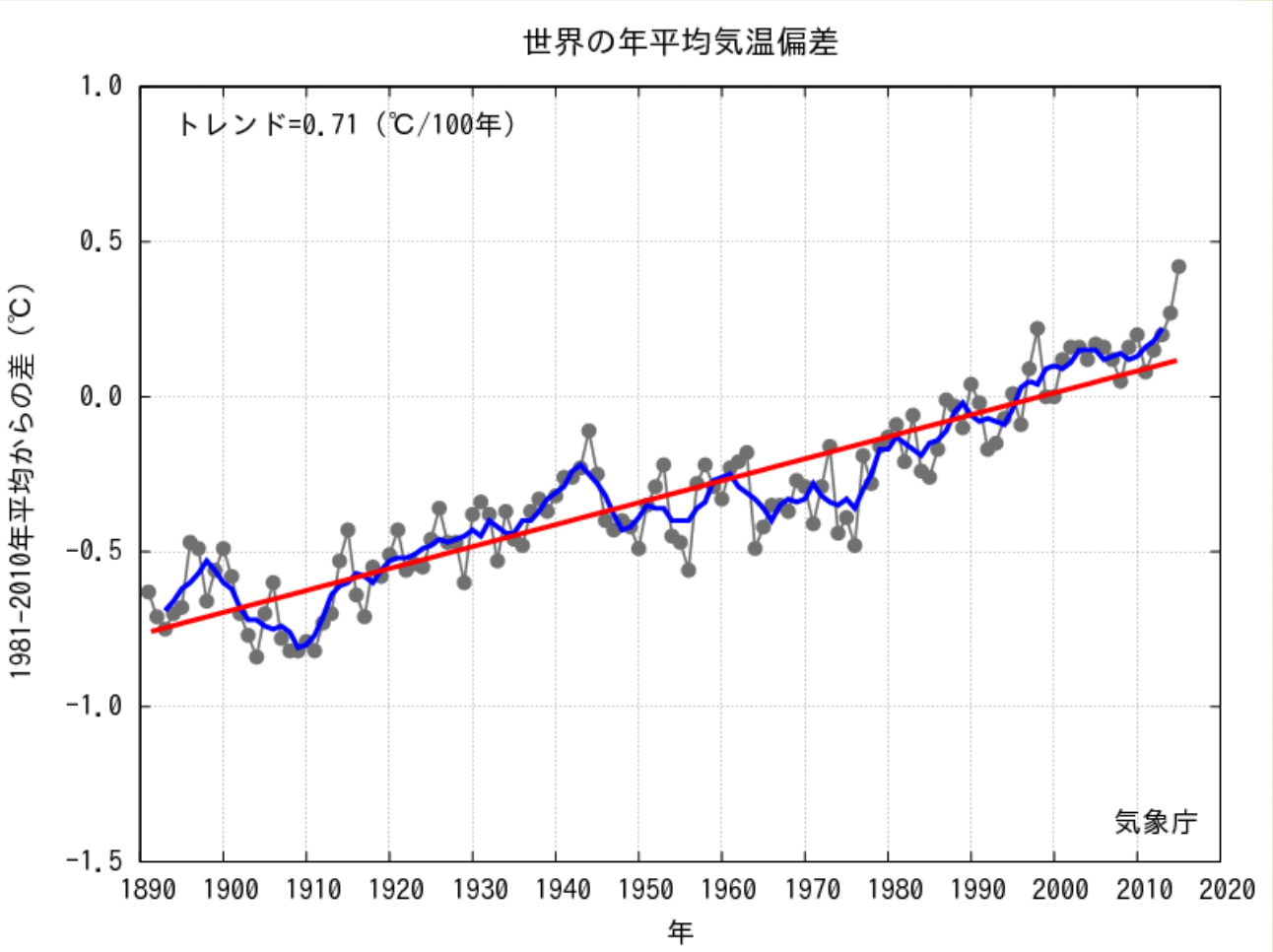
海面水位の古記録（紫）
潮位計データ（青、赤、緑）
高度計データ（水色）
将来予測RCP2.6（青）とRCP8.5（赤）



TFE.2 図2 | 海面水位の古記録（紫）、潮位計データ（青、赤、緑）、高度計データ（水色）及び将来予測に関してRCP2.6（青）とRCP8.5（赤）の各シナリオによるCMIP5 の結果と諸過程に基づくモデル【訳注a】の組み合わせから得られた世界平均海面水位上昇の中央推定値と可能性の高い予測範囲。全ての数値は工業化以前に相対的なもの。　出典：気象庁ホームページ　（http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_ts_jpn.pdf）

世界の年平均気温の偏差の経年変化（1891～2015年）

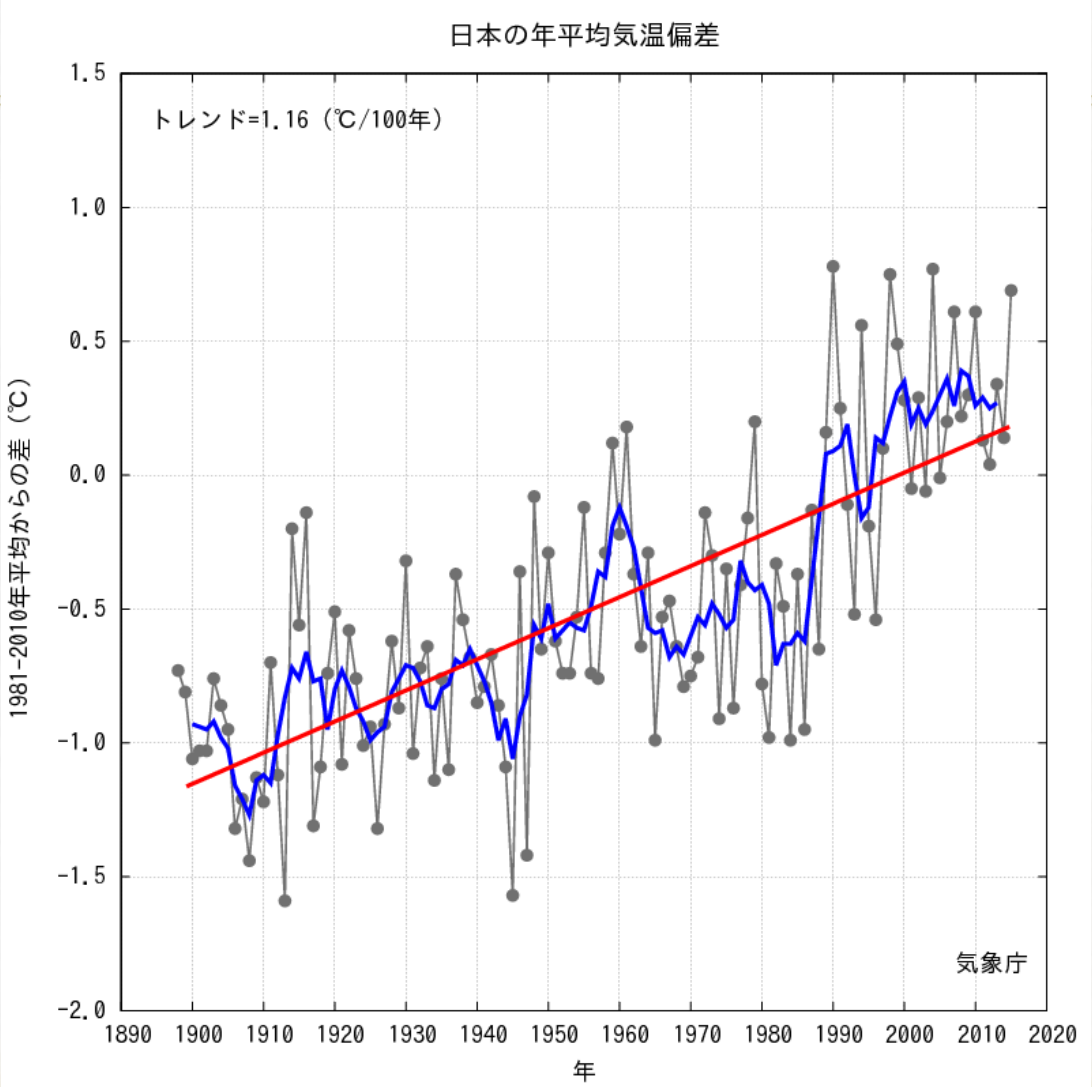
2015年の世界の年平均気温（陸域における地表付近の気温と海面水温の平均）の1981～2010年平均基準における偏差は+0.42℃（20世紀平均基準における偏差は+0.78℃）で、1891年の統計開始以降、最も高い値となりました。世界の年平均気温は、長期的には100年あたり約0.71℃の割合で上昇しており、特に1990年代半ば以降、高温となる年が多くなっています。



出典：気象庁ホームページ　(http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html)

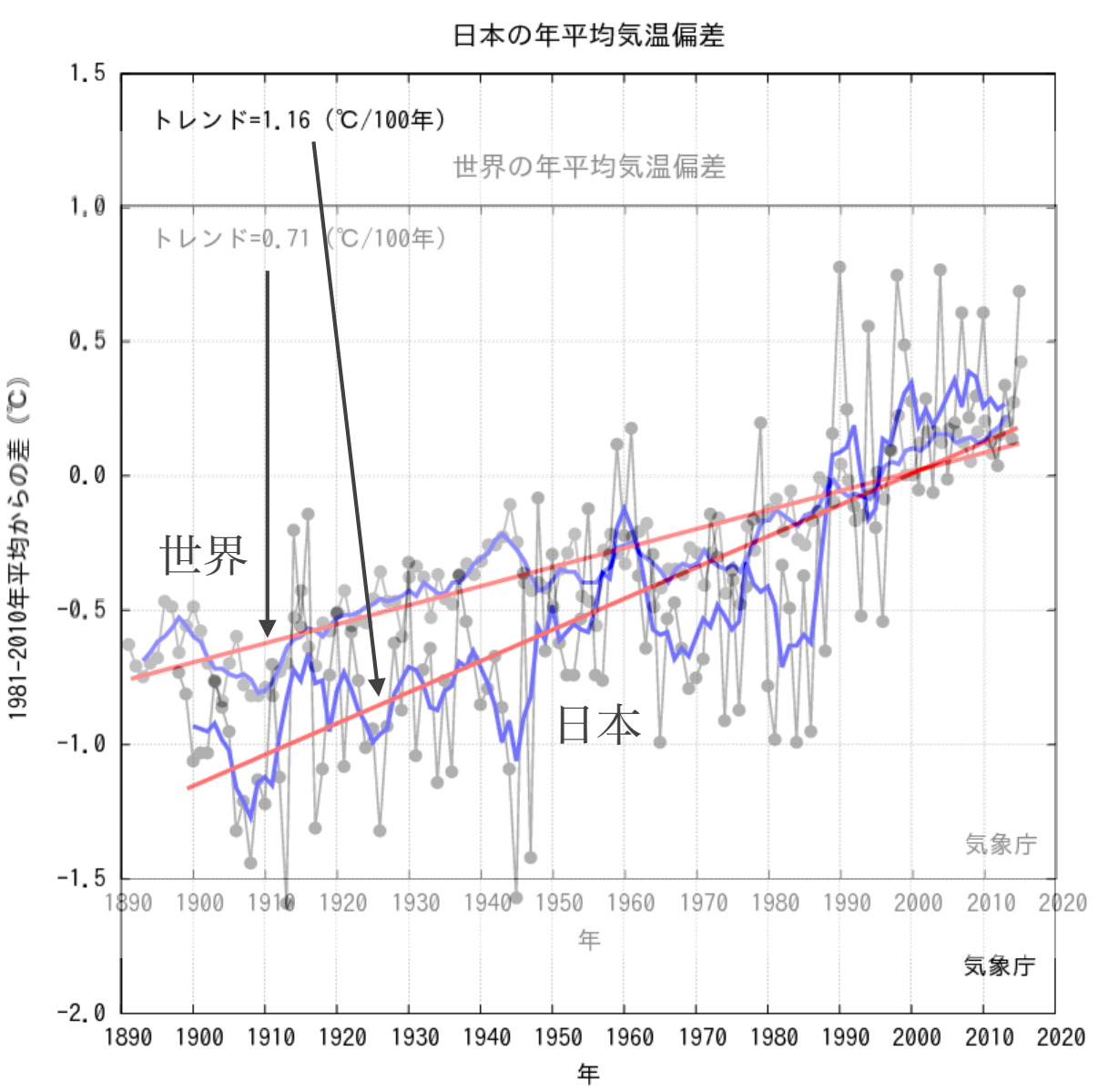
日本の年平均気温の偏差の経年変化（1898～2015年）

2015年の日本の年平均気温の1981～2010年平均基準における偏差は+0.69℃（20世紀平均基準における偏差は+1.30℃）で、1898年の統計開始以降、4番目に高い値となりました。日本の年平均気温は、長期的には100年あたり約1.16℃の割合で上昇しており、特に1990年代以降、高温となる年が頻出しています。



出典：気象庁ホームページ　(http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html)

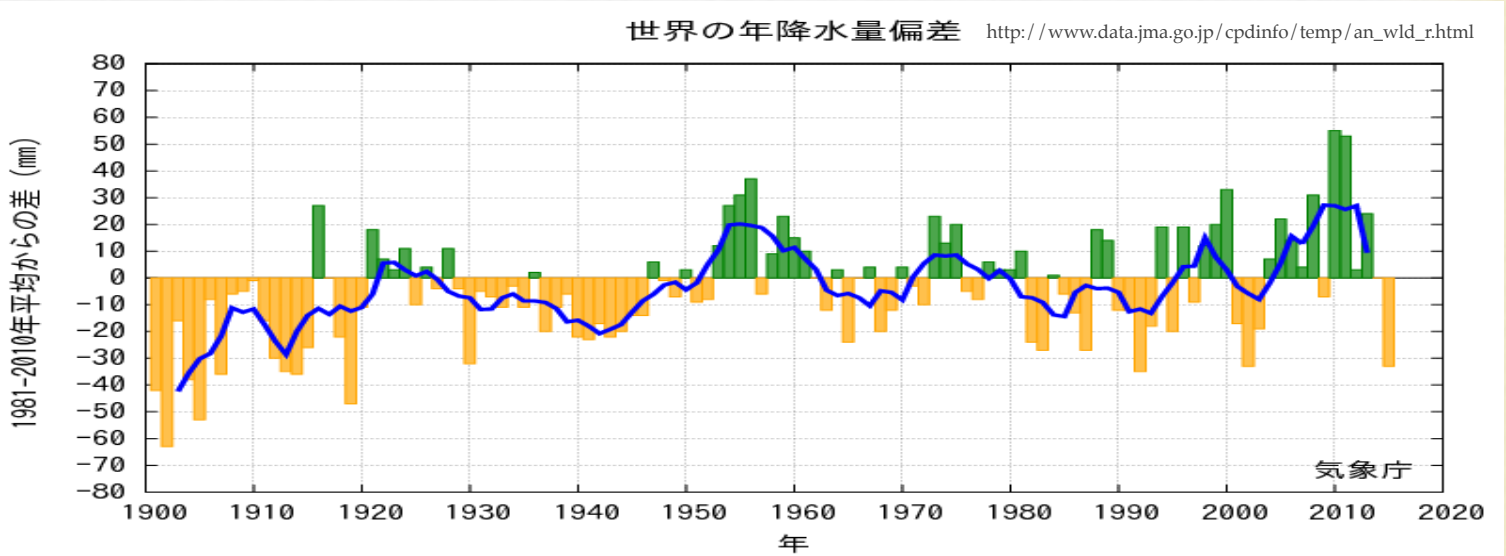
世界と日本の年平均気温の偏差の経年変化の比較

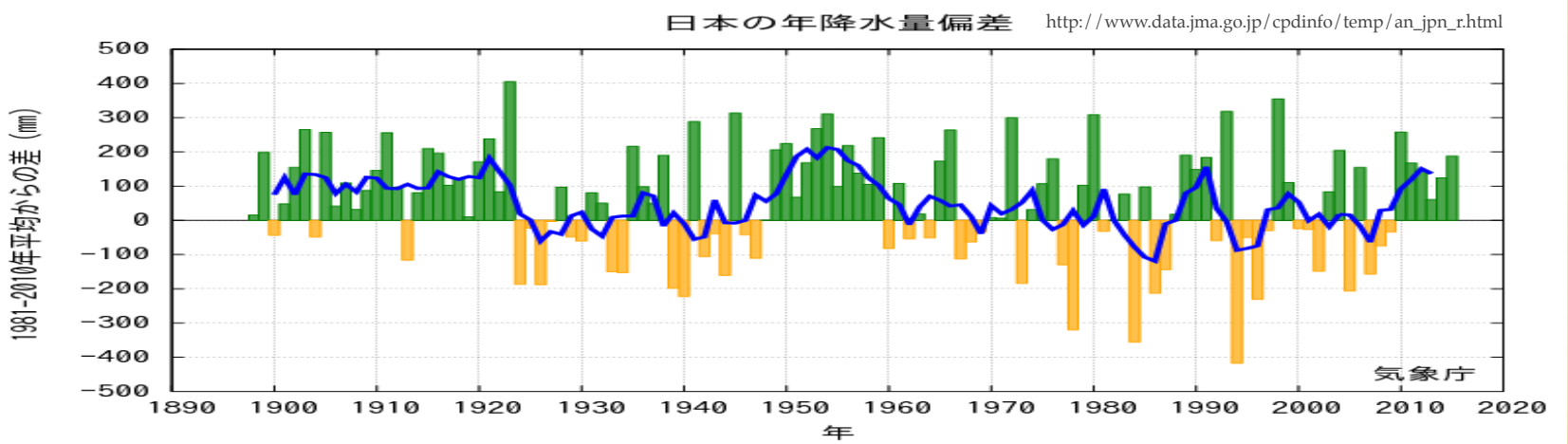


出典：気象庁ホームページ（前出）を加工して作成

世界と日本の年降水量偏差の経年変化
（世界1901～2015，日本1898～2015）

出典：気象庁ホームページ
（図に掲示）を加工して作成



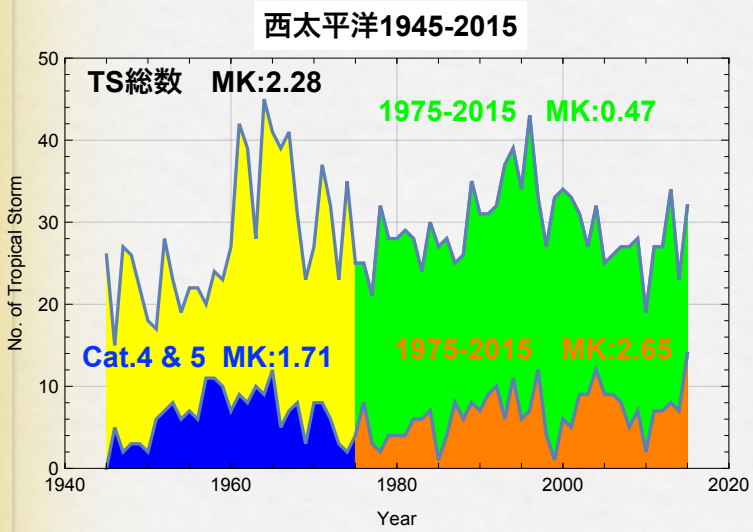


極端に大きな災害外力の発生状況

- Tropical stormの発生状況
- わが国の風水害の発生状況と災害外力の発生状況

各大洋におけるTROPICAL STORMの記録

Source:http://weather.unisys.com/hurricane/index.php



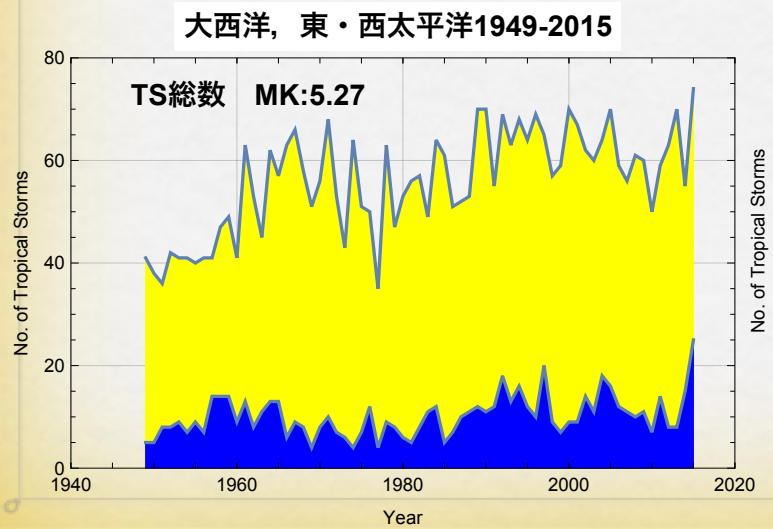
図中，MKはMann-Kendallの統計量で，絶対値が1.96を超えると有意水準5%で統計的に増(+)減(-)傾向があると判断される。

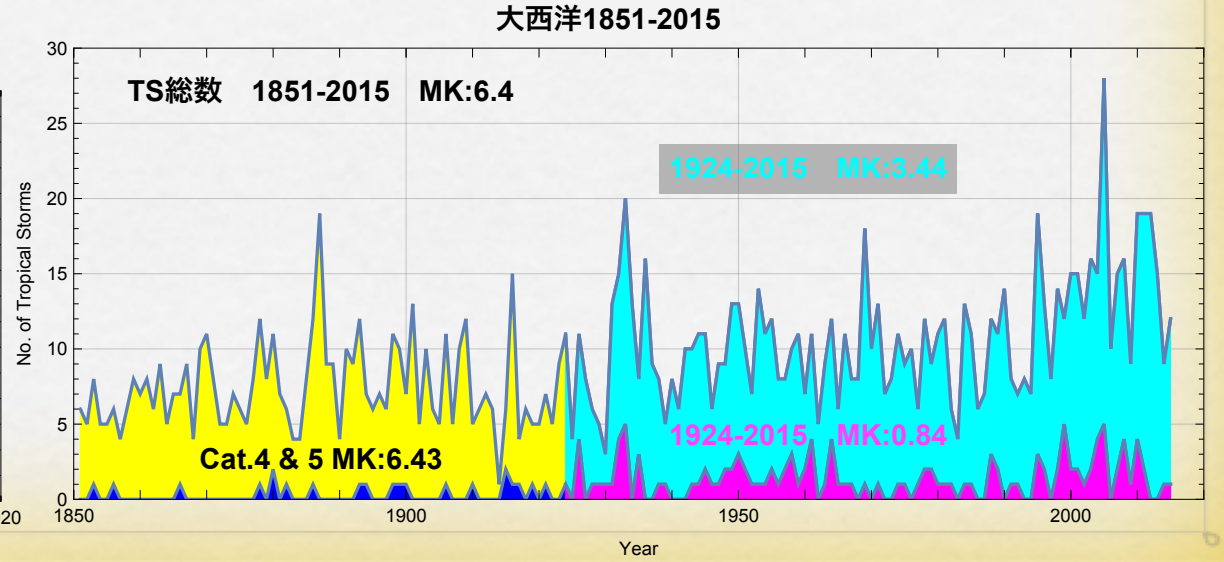
大西洋は1851から記録がある。Cat5のハリケーンが記録され始めるのが1924年である。

西太平洋は1945年から記録がある。

東太平洋は1949年から記録がある。

南太平洋は2000年から記録がある。





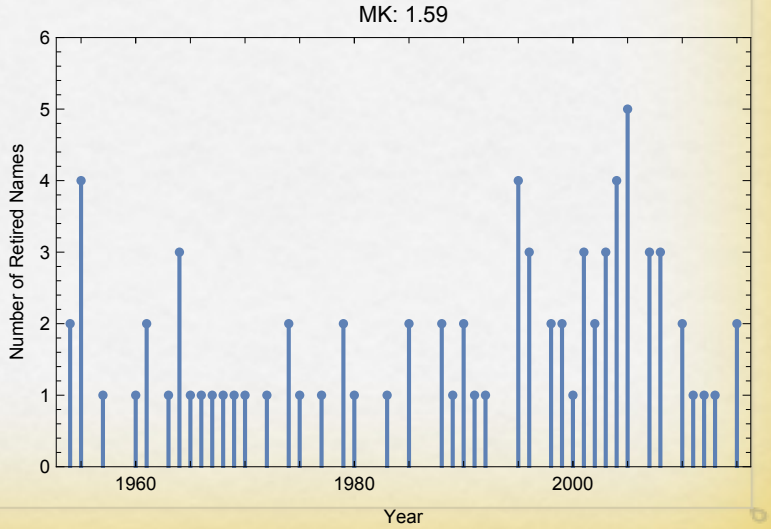
年毎の永久欠番ハリケーンの名前とその数

Retired Atlantic Names by Year

				1954 Carol Hazel	**1955** Connie Diane Ione Janet	**1956**	**1957** Audrey	**1958**	**1959**
1960 Donna	**1961** Carla Hattie	**1962**	**1963** Flora	**1964** Cleo Dora Hilda	**1965** Betsy	**1966** Inez	**1967** Beulah	**1968** Edna	**1969** Camille
1970 Celia	**1971**	**1972** Agnes	**1973**	**1974** Carmen Fifi	**1975** Eloise	**1976**	**1977** Anita	**1978**	**1979** David Frederic
1980 Allen	**1981**	**1982**	**1983** Alicia	**1984**	**1985** Elena Gloria	**1986**	**1987**	**1988** Gilbert Joan	**1989** Hugo
1990 Diana Klaus	**1991** Bob	**1992** Andrew	**1993**	**1994**	**1995** Luis Marilyn Opal Roxanne	**1996** Cesar Fran Hortense	**1997**	**1998** Georges Mitch	**1999** Floyd Lenny
2000 Keith	**2001** Allison Iris Michelle	**2002** Isidore Lili	**2003** Fabian Isabel Juan	**2004** Charley Frances Ivan Jeanne	**2005** Dennis Katrina Rita Stan Wilma	**2006**	**2007** Dean Felix Noel	**2008** Gustav Ike Paloma	**2009**
2010 Igor Tomas	**2011** Irene	**2012** Sandy	**2013** Ingrid	**2014**	**2015** Erika Joaquin				

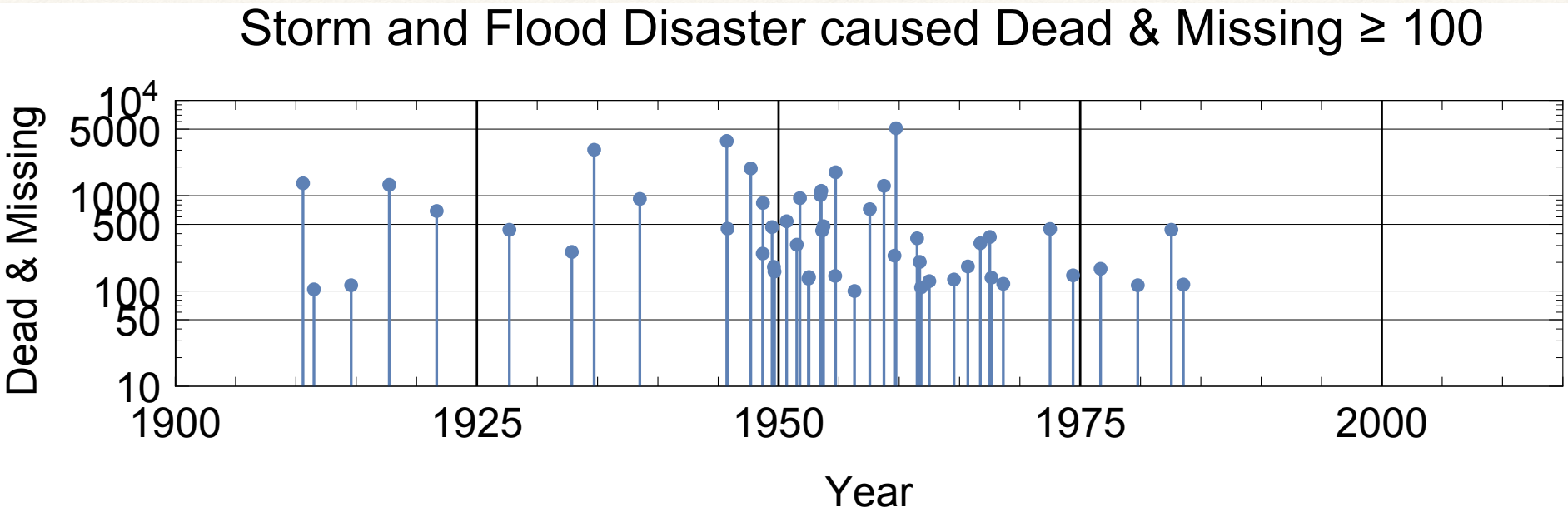
ハリケーンの名前は一般に6年毎に繰り返し使っているが，死者や被害額が大きいハリケーンの名前を2度と使わないことにしている。

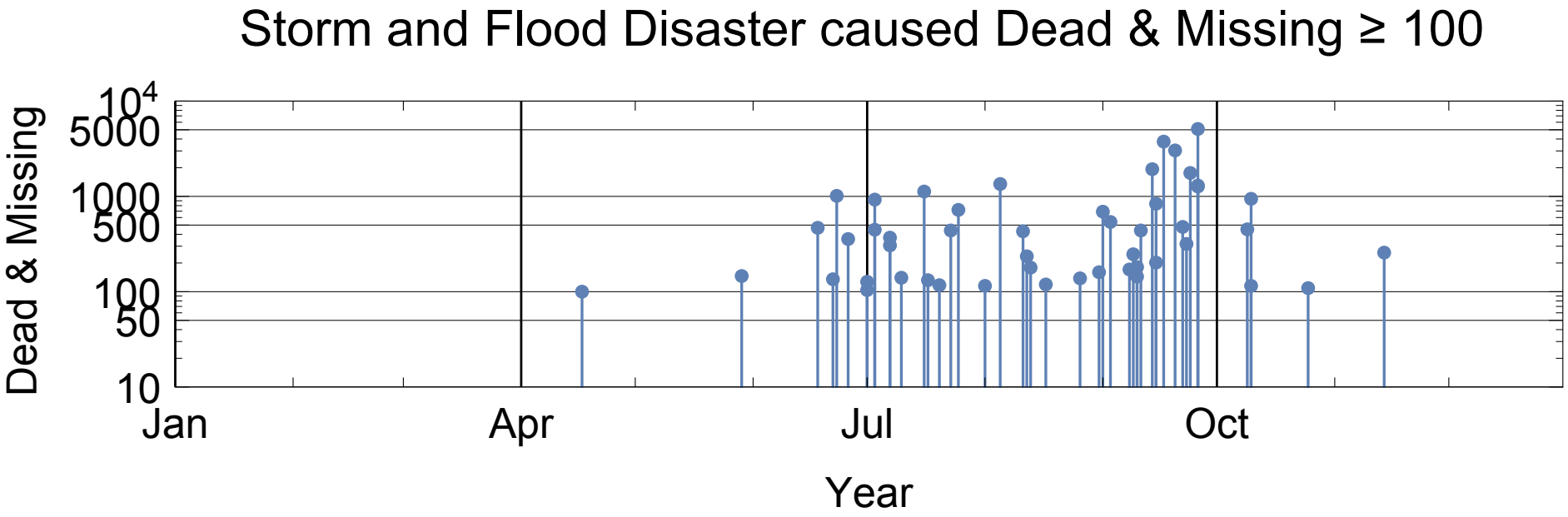
2000年前後に多いが、経年的に増えているとは言えない



Sources http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames_history.shtml

死者行方不明者100人以上の暴風・洪水土砂災害





我が国では大規模風水害は克服できた

*1959*年伊勢湾台風を最後に死者行方不明者*1000*人以上の風水害は発生してない。

さらに，*1984*年以降死者行方不明者*100*人以上の風水害も発生していない。

↓

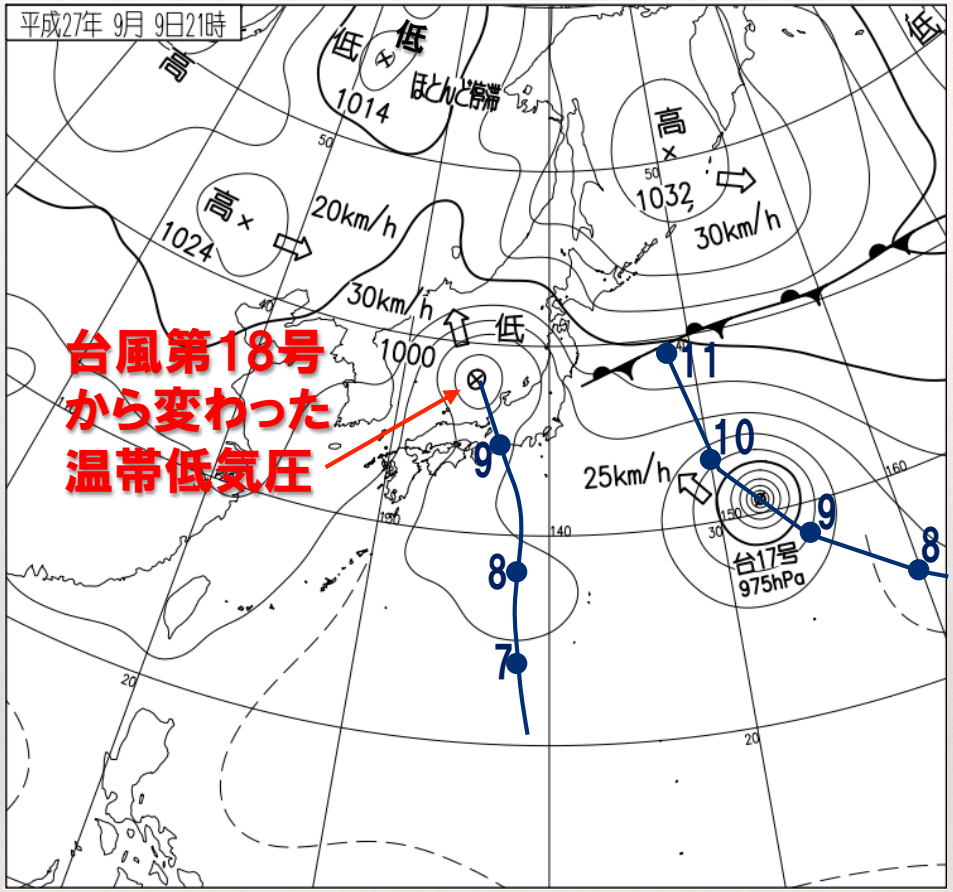
もう大丈夫！

それでも気になる

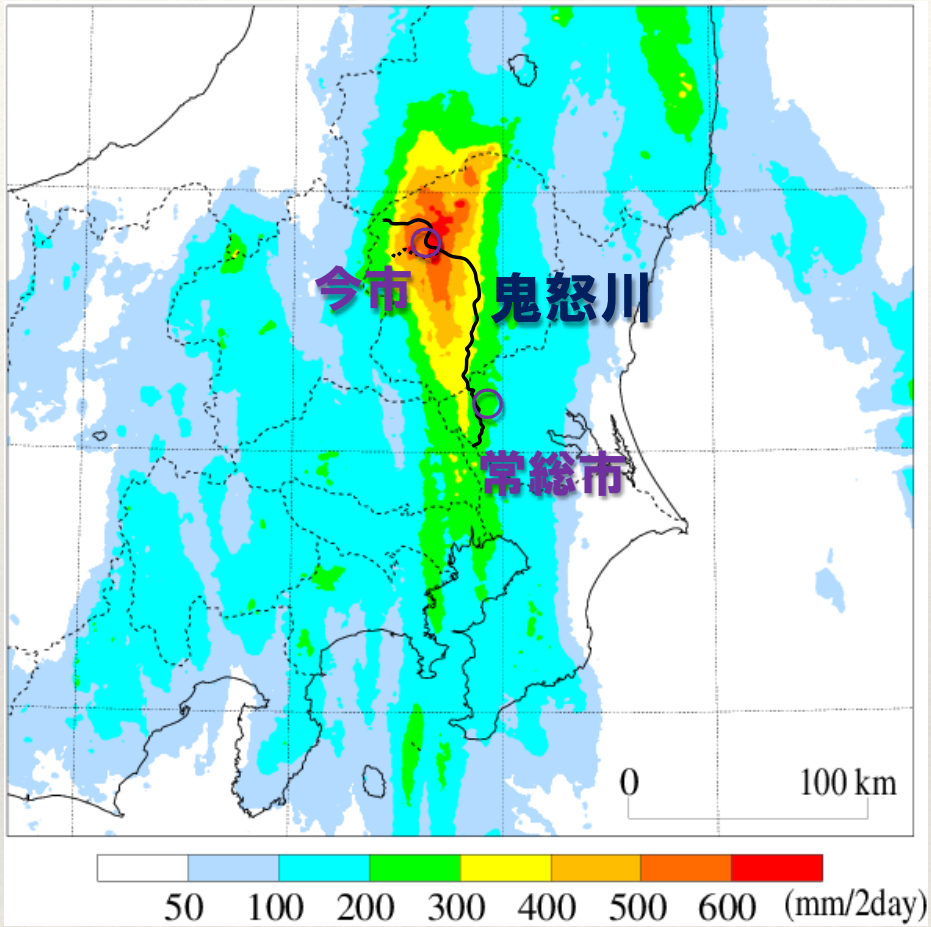
- 近年の豪雨，H27年9月関東・東北豪雨，H25T18号
- 海外の大規模台風・ハリケーン
- 地震と大雨の同時影響
- 深層崩壊などによる天然ダム形成と崩壊
- 低頻度記録的豪雨の発生

48時間積算降水量（解析雨量）

速報地上天気図：9月9日21時



9月8日21時～10日21時

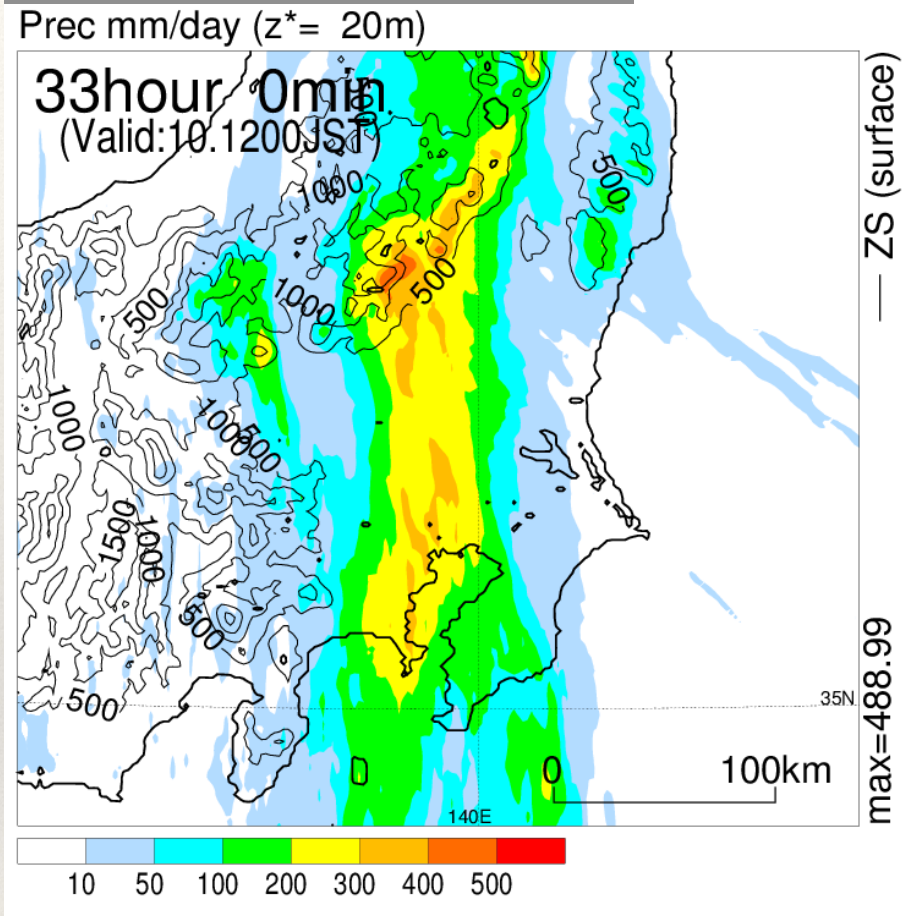


栃木県西部に降水が集中し、上流部では500mm以上、下流部でも300mm以上の降水量になっている

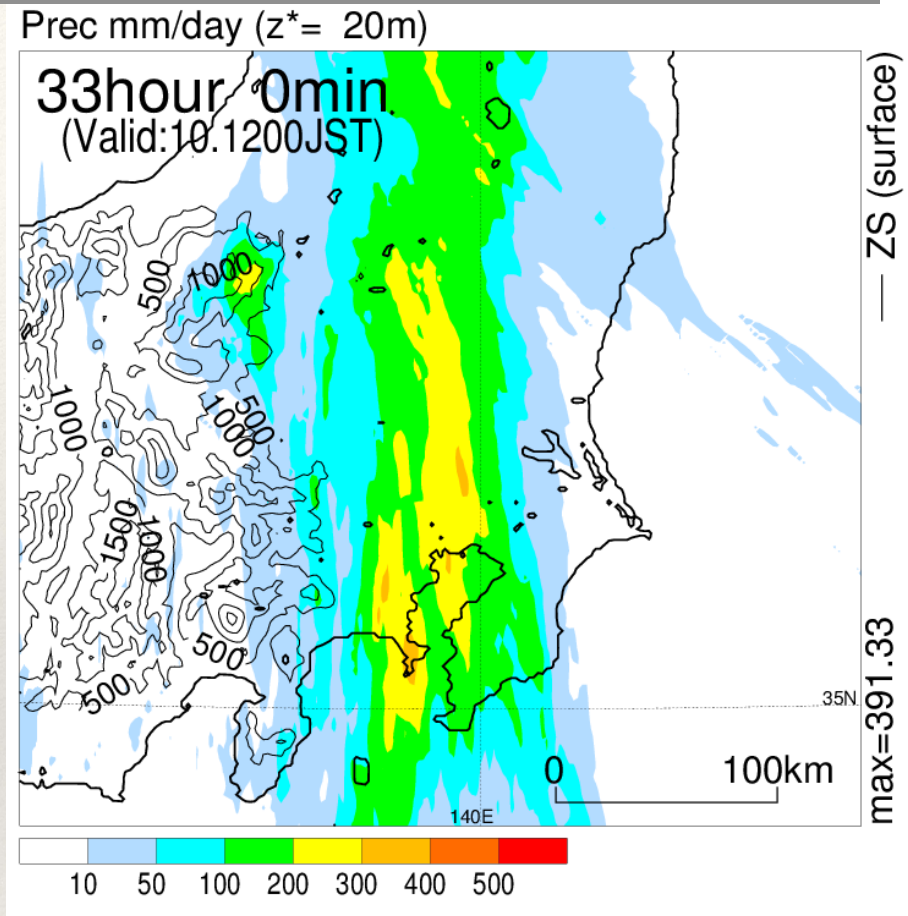
資料：気象研究所　加藤輝之室長

栃木北部の標高を“4分の1”にしたシミュレーション結果

現実的なシミュレーション



“栃木北部4分の1”のシミュレーション



- “帯状の降水域”の全体的な位置・広がりは，変わらない．
- 栃木北部の降水量には，差がみられる．

資料：気象研究所　加藤輝之室長

熊本地震における震度5以上の点検実施管理ダム位置図（H28年4月14日21時26分～19日20時47分までの地震を対象とした速報）

河川にある228の管理ダム（※）で点検完了。
小規模な被災を5ダムで確認しているが、管理上支障となるものではない。

※点検対象ダムは震度4以上または25gal以上
228ダムの内訳（図に示す震度5以上を観測したダムは70ダム）

	震度 ※震度は最大						計
	7	6強	6弱	5強	5弱	4	
国交省	0	1	1	2	3	3	10
水機構	0	0	0	2	0	1	3
県	0	0	3	2	13	67	85
利水専用	1	0	7	12	23	87	130
計	1	1	11	18	39	158	228

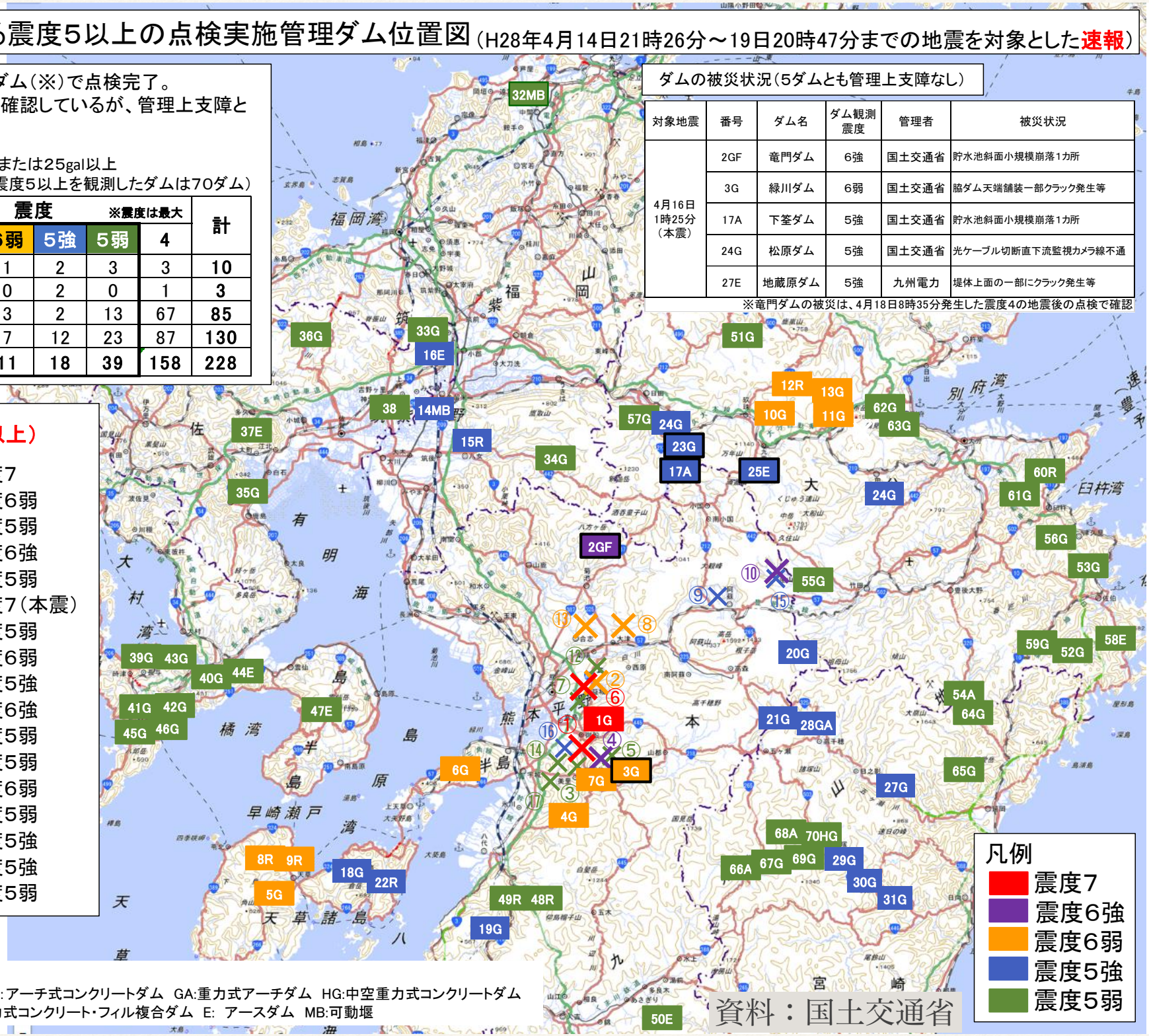
ダムの被災状況（5ダムとも管理上支障なし）

対象地震	番号	ダム名	ダム観測震度	管理者	被災状況
4月16日 1時25分（本震）	2GF	竜門ダム	6強	国土交通省	貯水池斜面小規模崩落1カ所
	3G	緑川ダム	6弱	国土交通省	脇ダム天端舗装一部クラック発生等
	17A	下筌ダム	5強	国土交通省	貯水池斜面小規模崩落1カ所
	24G	松原ダム	5強	国土交通省	光ケーブル切断直下流監視カメラ線不通
	27E	地蔵原ダム	5強	九州電力	堤体上面の一部にクラック発生等

※竜門ダムの被災は、4月18日8時35分発生した震度4の地震後の点検で確認

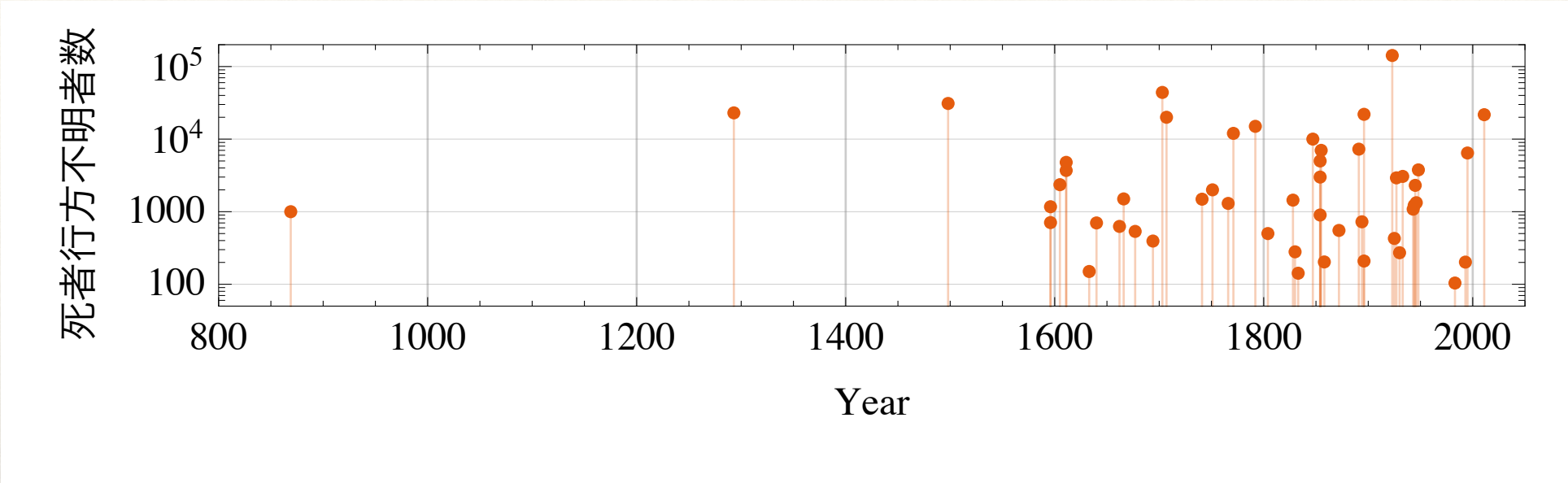
✕ 震源（震度5弱以上）

- ✕① 4/14 21:26 震度7
- ✕② 4/14 22:07 震度6弱
- ✕③ 4/14 22:38 震度5弱
- ✕④ 4/15 00:03 震度6強
- ✕⑤ 4/15 01:53 震度5弱
- ✕⑥ 4/16 01:25 震度7（本震）
- ✕⑦ 4/16 01:44 震度5弱
- ✕⑧ 4/16 01:46 震度6弱
- ✕⑨ 4/16 03:03 震度5強
- ✕⑩ 4/16 03:55 震度6強
- ✕⑪ 4/16 07:11 震度5弱
- ✕⑫ 4/16 07:23 震度5弱
- ✕⑬ 4/16 09:48 震度6弱
- ✕⑭ 4/16 16:02 震度5弱
- ✕⑮ 4/18 20:42 震度5強
- ✕⑯ 4/19 17:52 震度5強
- ✕⑰ 4/19 20:47 震度5弱

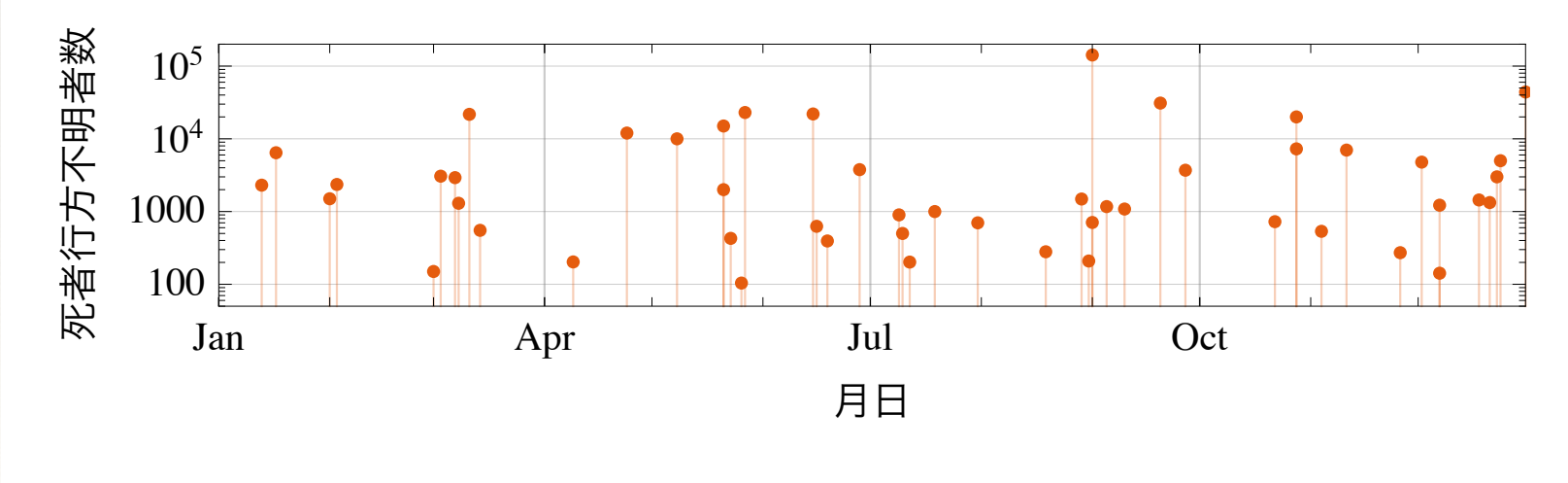


［型式］
G：重力式コンクリートダム　A：アーチ式コンクリートダム　GA:重力式アーチダム　HG:中空重力式コンクリートダム
R：：ロックフィルダム　GF：重力式コンクリート・フィル複合ダム　E：アースダム　MB:可動堰

死者行方不明者100人以上の震災・津波災害

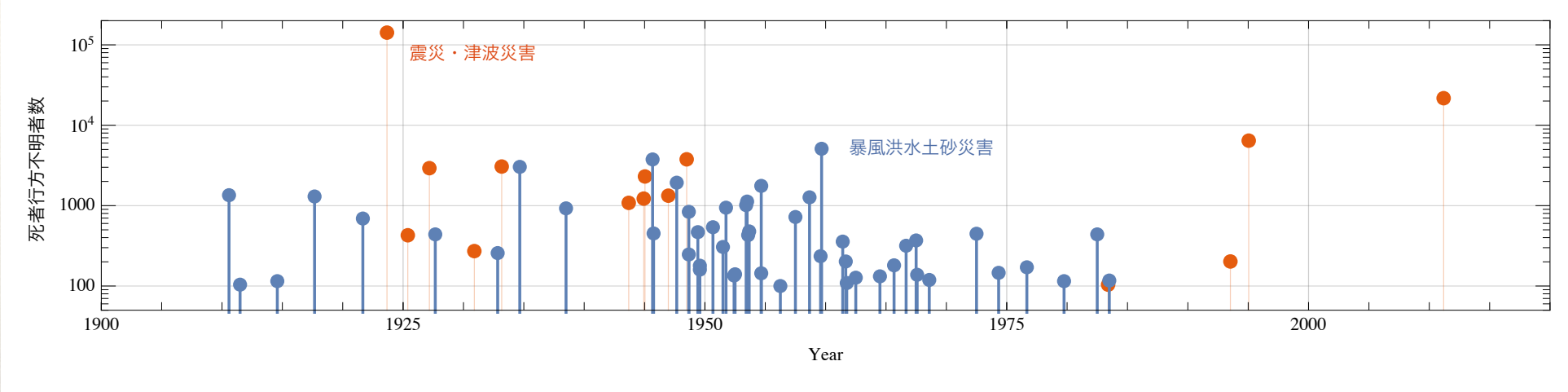


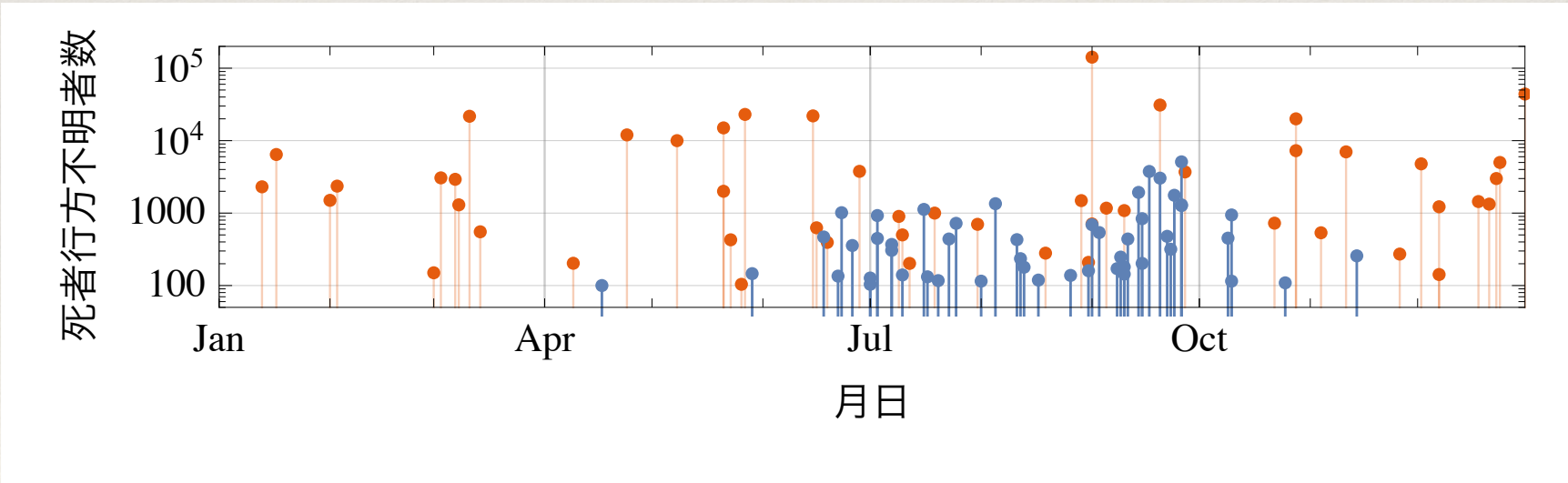
発生月日



内閣府災害教訓の継承に関する専門調査会第一回会議資料より作成

1900年以降の死者行方不明者100人以上の震災・津波災害と暴風洪水土砂災害の発生状況





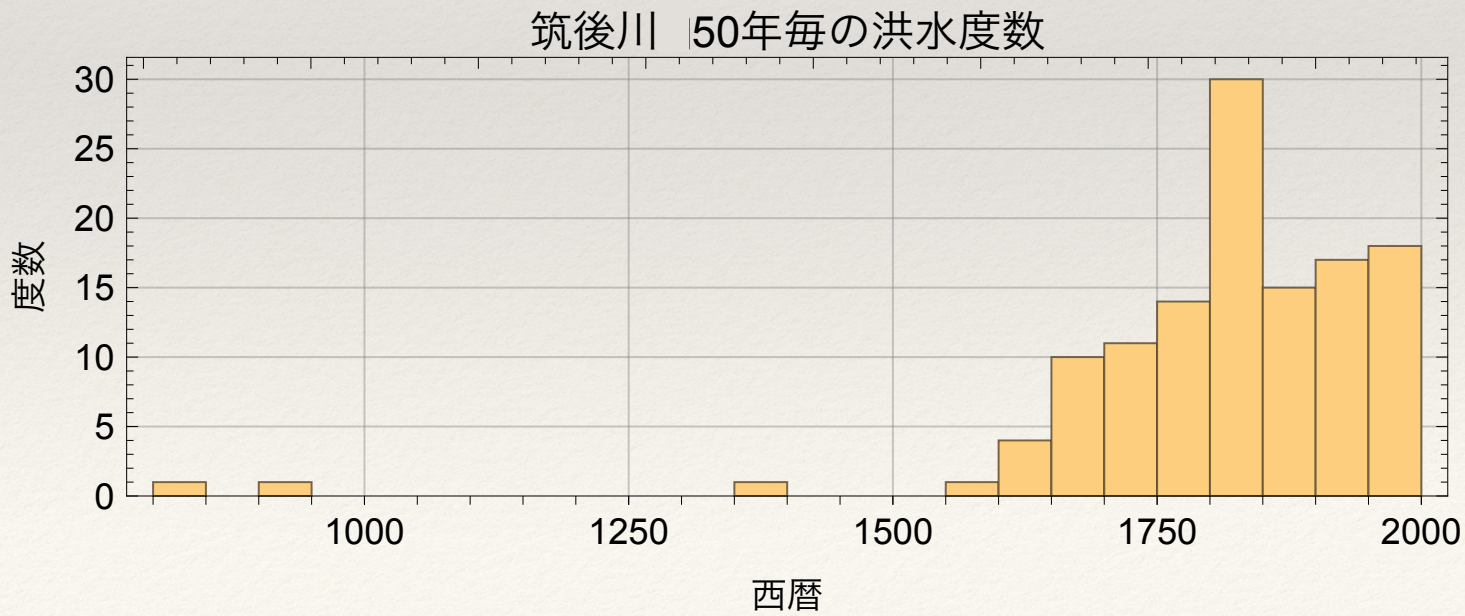
内閣府災害教訓の継承に関する専門調査会第一回会議資料より作成

天然ダム・地すべりダム・河道閉塞

- ”Landslide dam”はConstructed damとGlacial damと対比分類されている．
- 発生誘因：地震，豪雨，噴火
- 近年の事例：2011年紀伊半島豪雨，2008年岩手・宮城内陸地震，2005年宮崎県耳川，2004年中越地震，1995年兵庫県南部地震など

低頻度記録的豪雨の発生

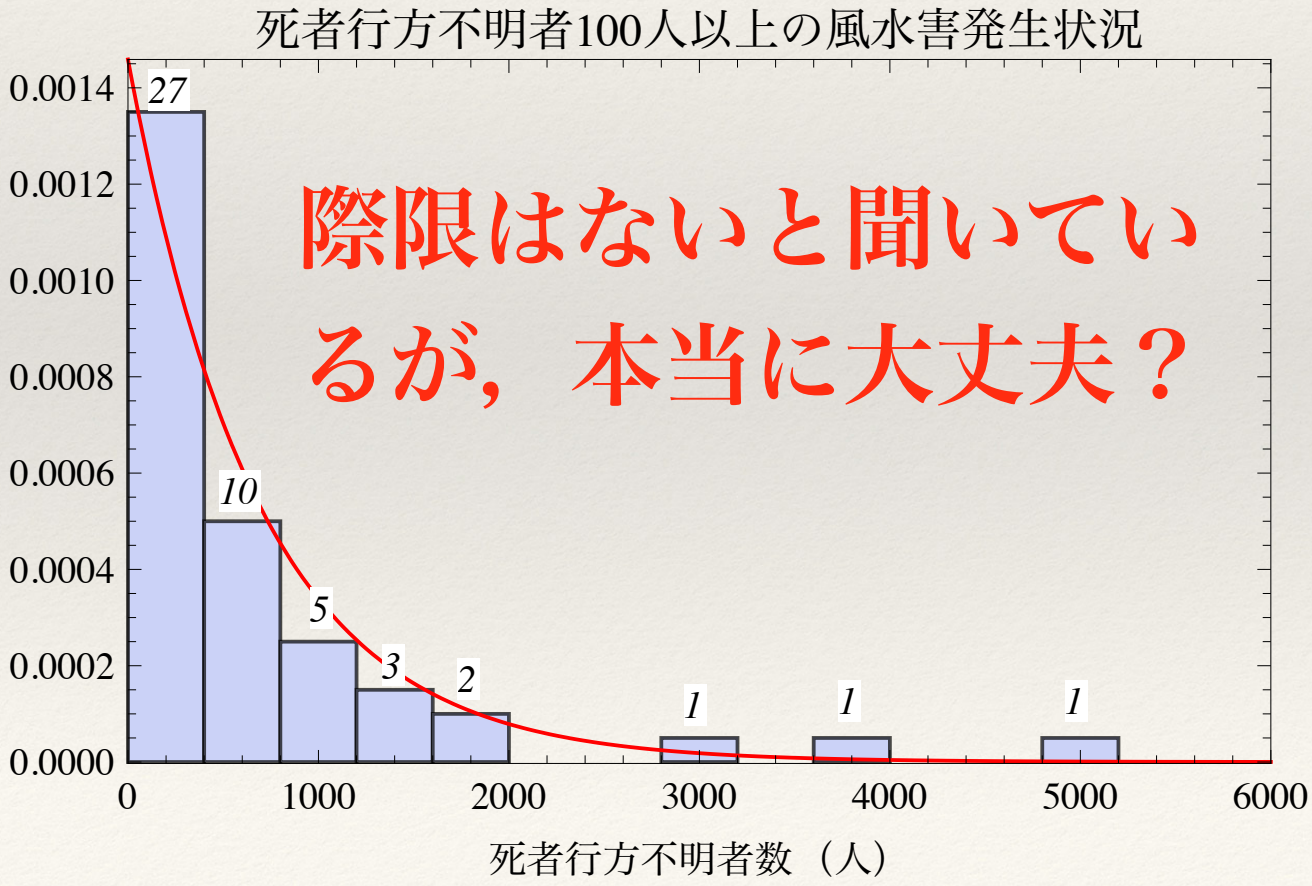
- 北上川 1662, 1670, 1724, 1801,,,1910, 1947, 1948, 1998, 2002
- 利根川 1742, 1786, 1846, 1910, 1935, 1947, 1948, 1949,,,
- 信濃川 1680, 1742, 1757, 1789, 1836, 1847, 1868, 1896, 1910, 1914, 1917, 1926,1945, 1952, 1959,,,
- 淀川　1802, 1868, 1871, 1876, 1885, 1889, 1934, 1953
- 琵琶湖 1868,1896(18世紀初頭からの300年間で3m以上水位が上昇したのはこれだけ)
- 新宮川 1889, 2011
- 吉野川 1849，1866，1912



我が国では大規模風水害は克服できたか？

*1959*年伊勢湾台風を最後に死者行方不明者*1000*人以上の風水害は発生してない。

さらに，*1984*年以降死者行方不明者*100*人以上の風水害も発生していない。

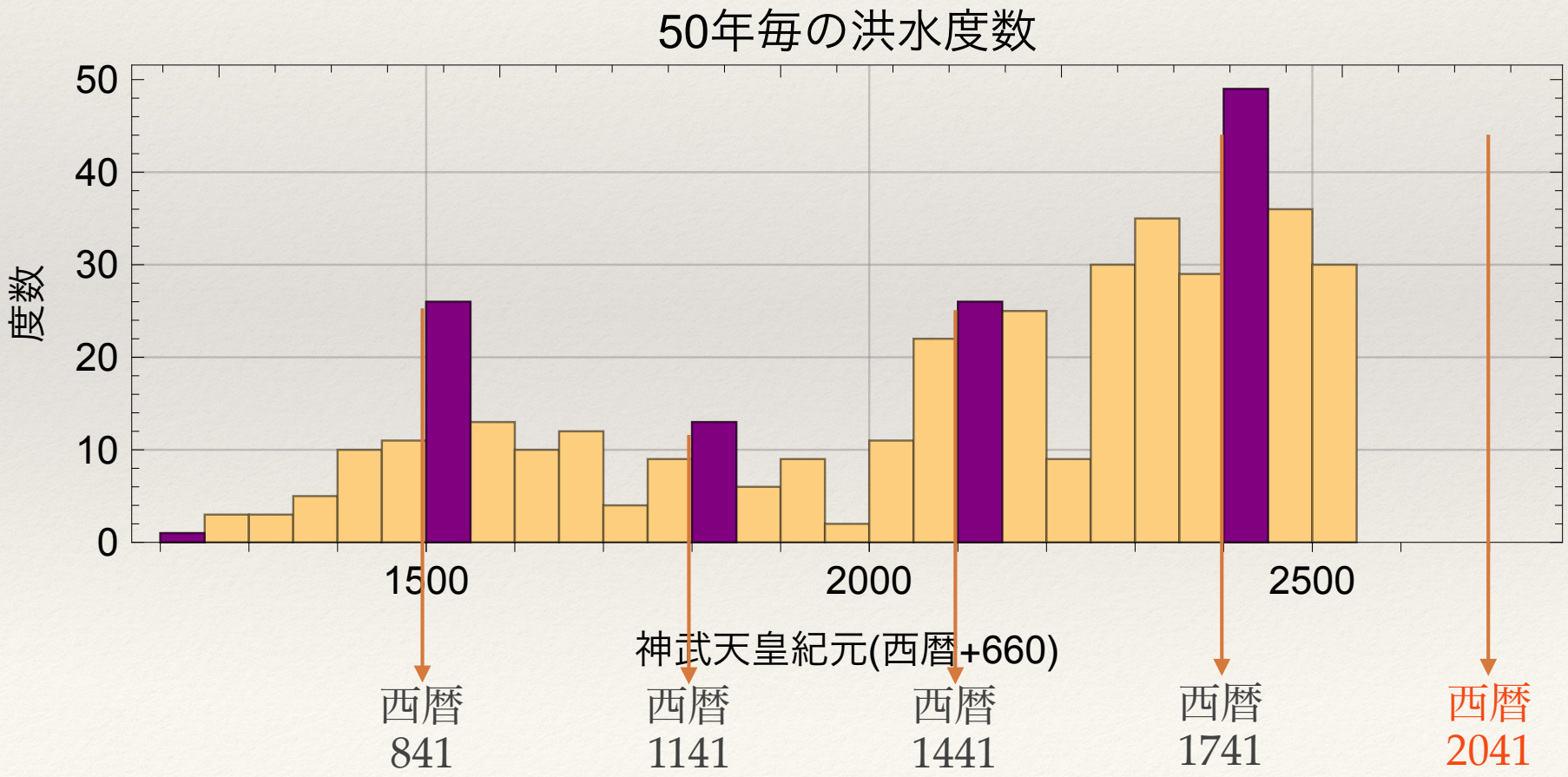


際限はないと聞いているが，本当に大丈夫？

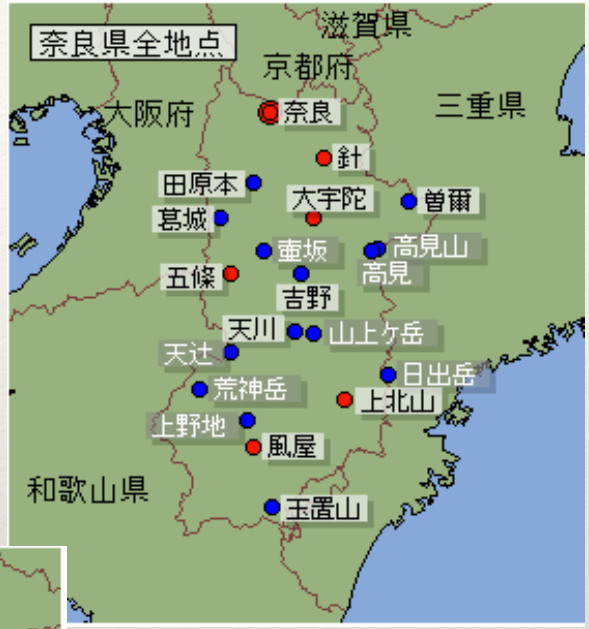
西暦2041～2090に洪水発生頻度高まる

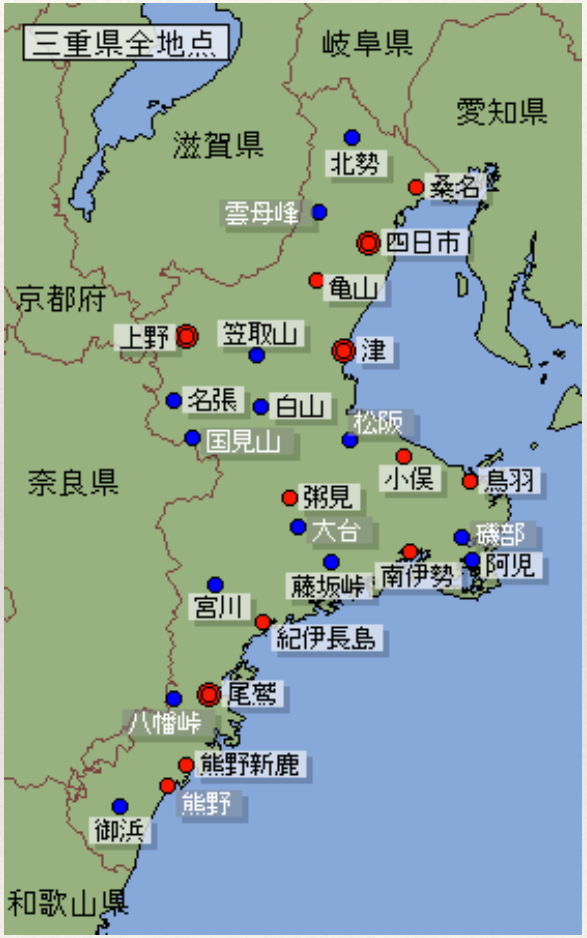
- 洪水発生頻度には300年毎にピークが現れる。このままいけば西暦2041～2090の50年間が洪水発生のピークとなる。

出典：木下武雄：自然災害研究のための利用可能データ，統計数理，Vol.52, No.1



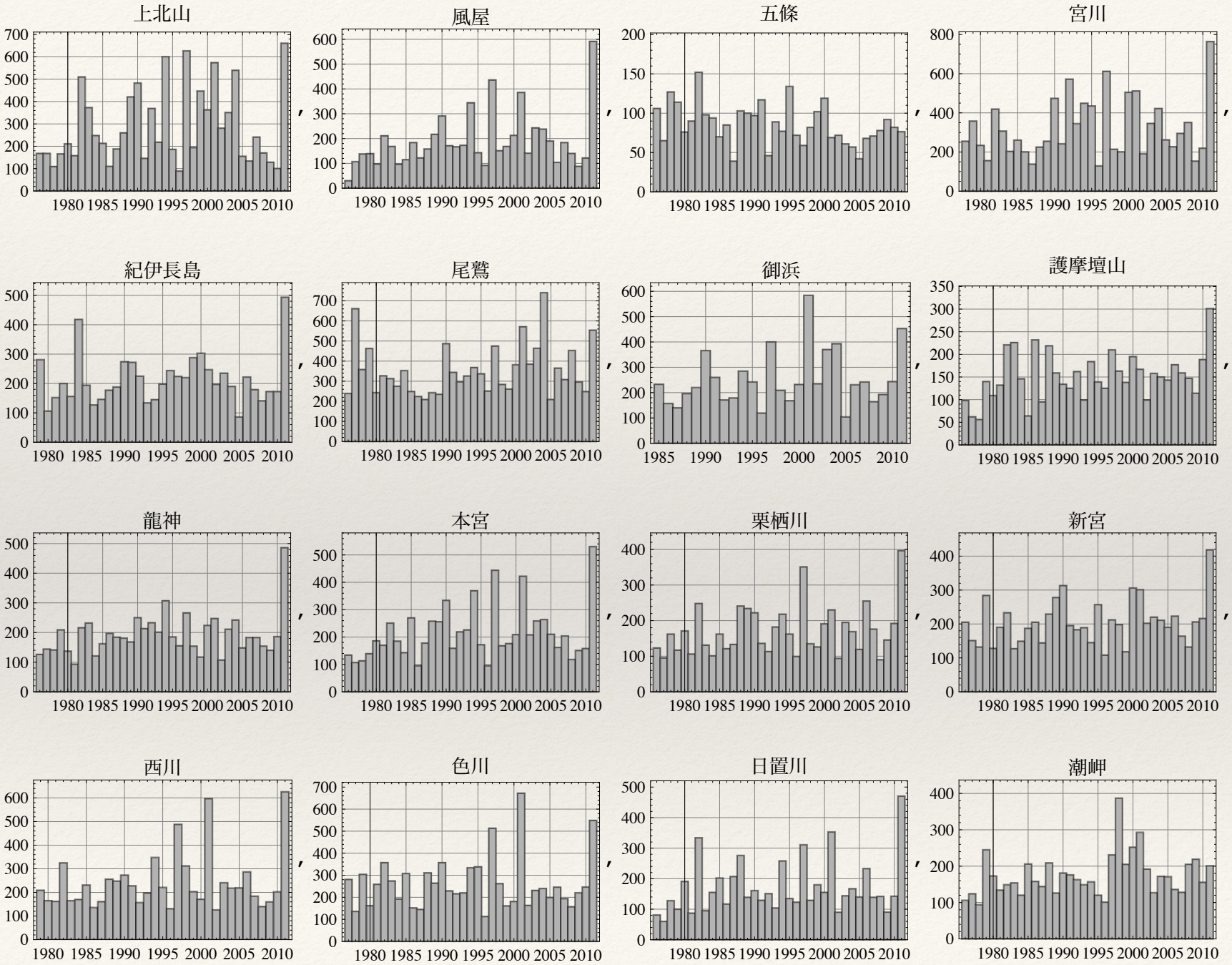
2011年紀伊半島豪雨





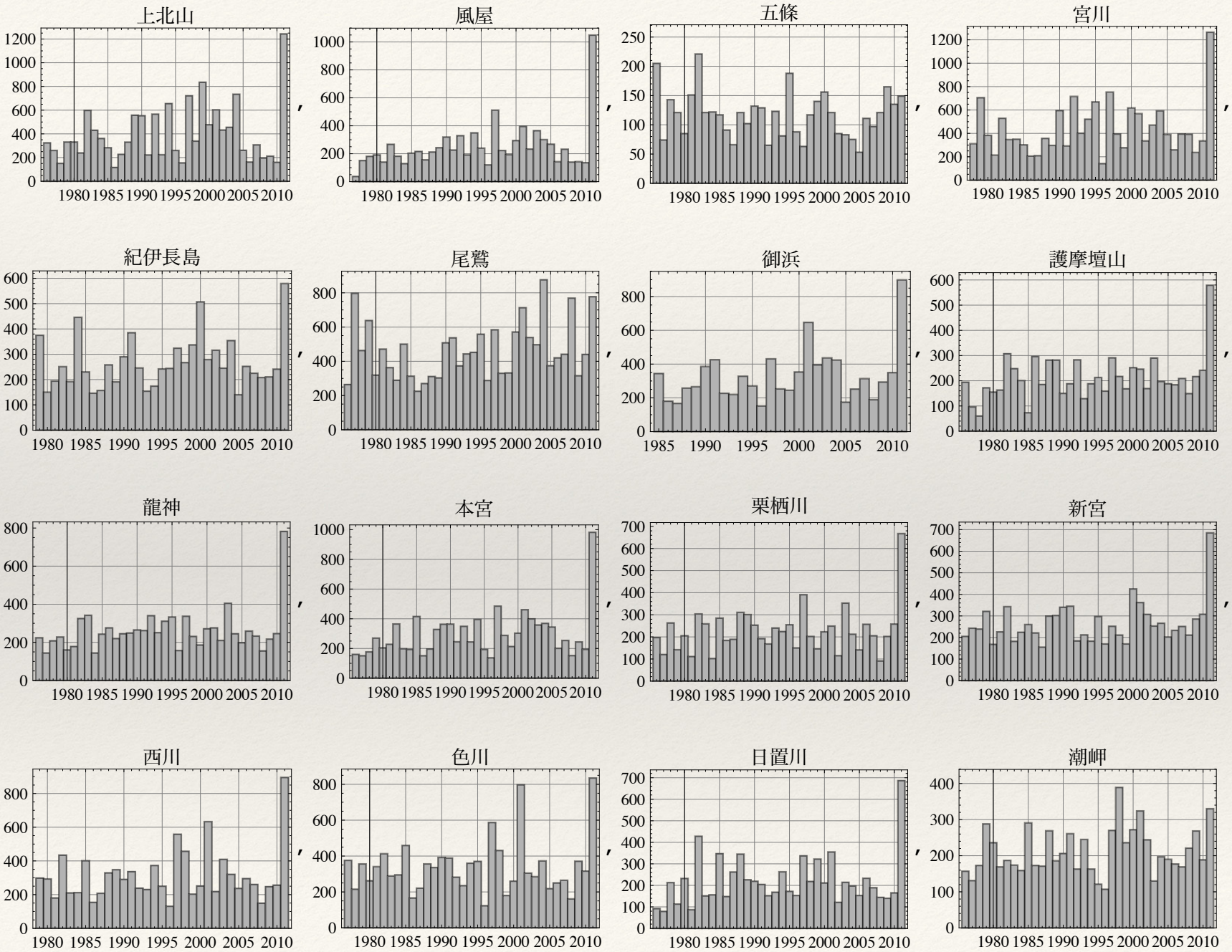
出典：気象庁ホームページ　(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture.php?prec_no=65&block_no=&year=&month=&day=&view=)

日降水量



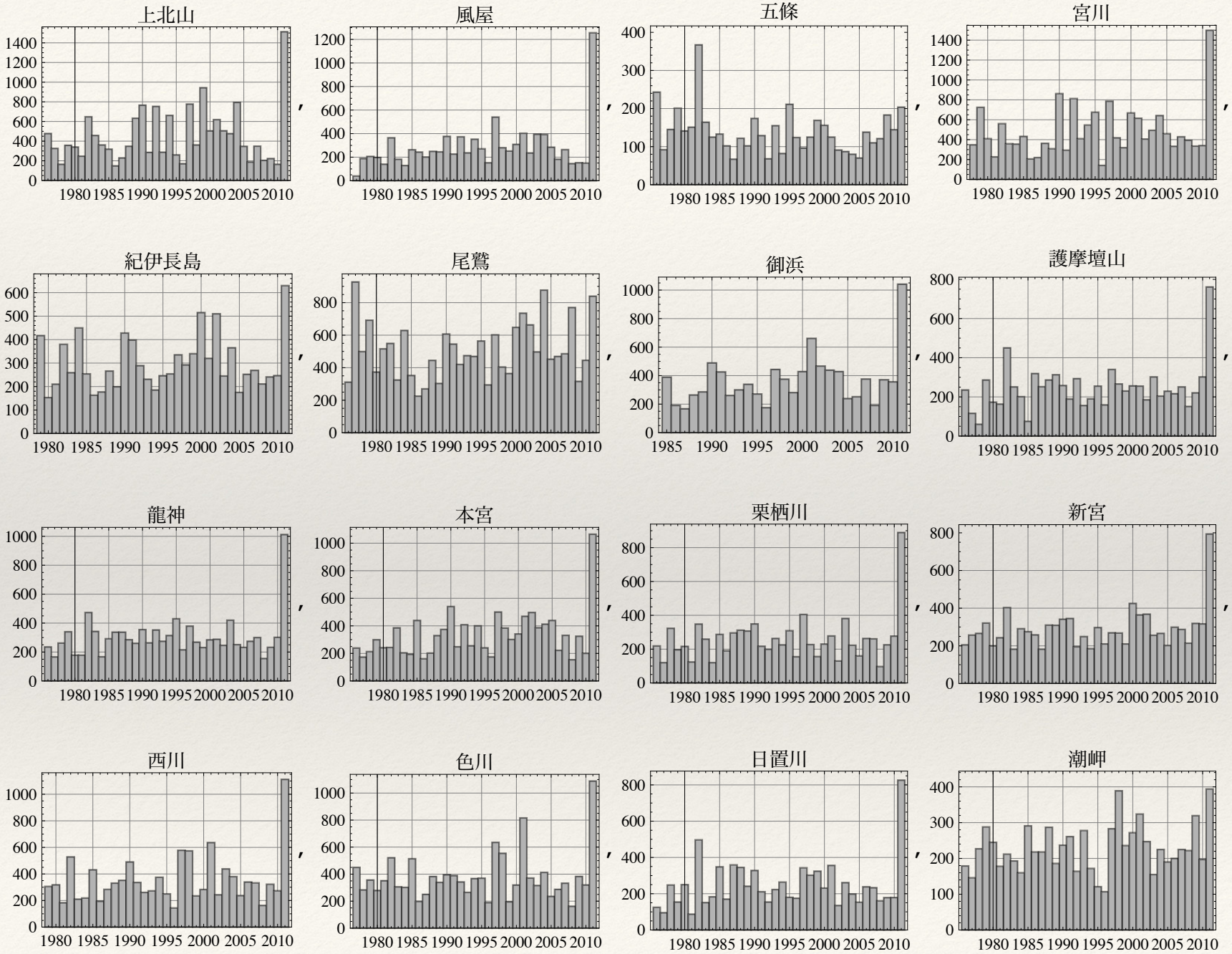
2日降水量

Source : JMA

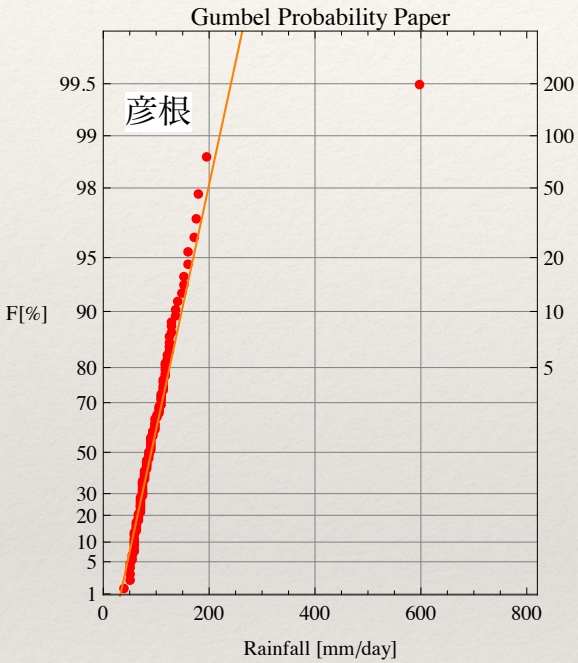


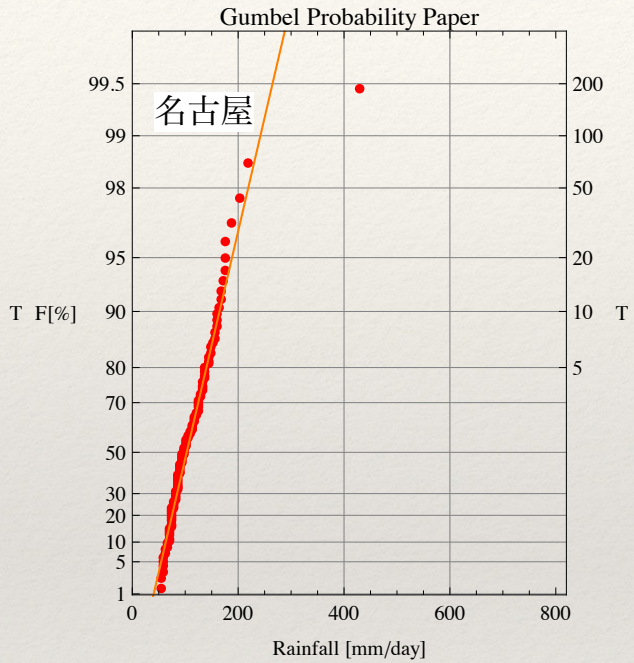
3日降水量

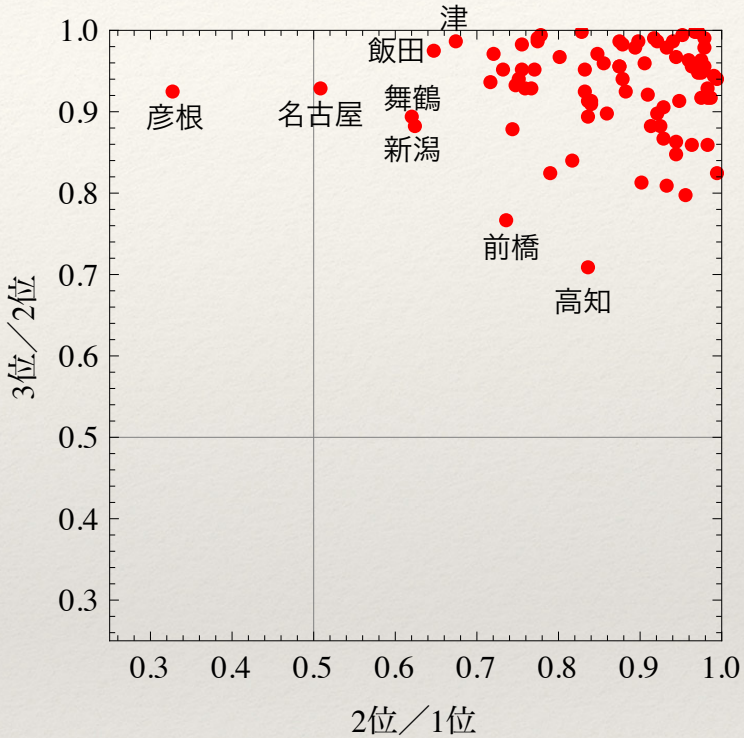
Source : JMA

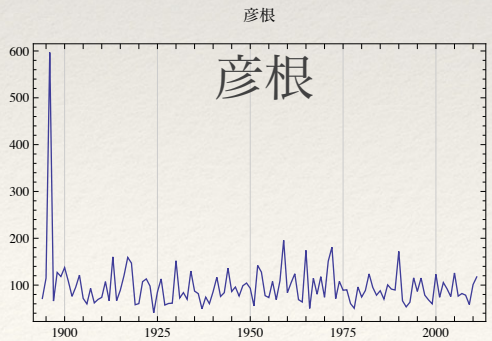


稀な現象はどれくらい？

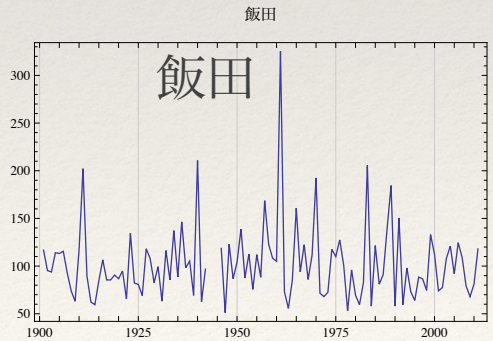

Gumbel Probability Paper
彦根
F[%]
T
Rainfall [mm/day]

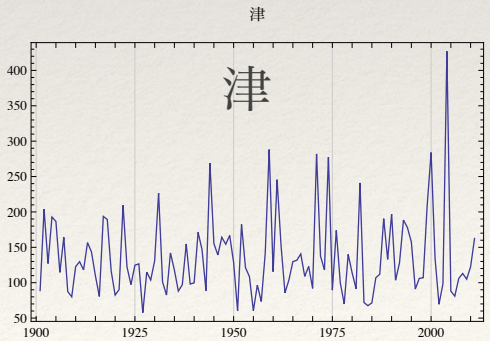

Gumbel Probability Paper
名古屋
F[%]
T
Rainfall [mm/day]


津
飯田
彦根
名古屋
舞鶴
新潟
前橋
高知
3位／2位
2位／1位


彦根
彦根

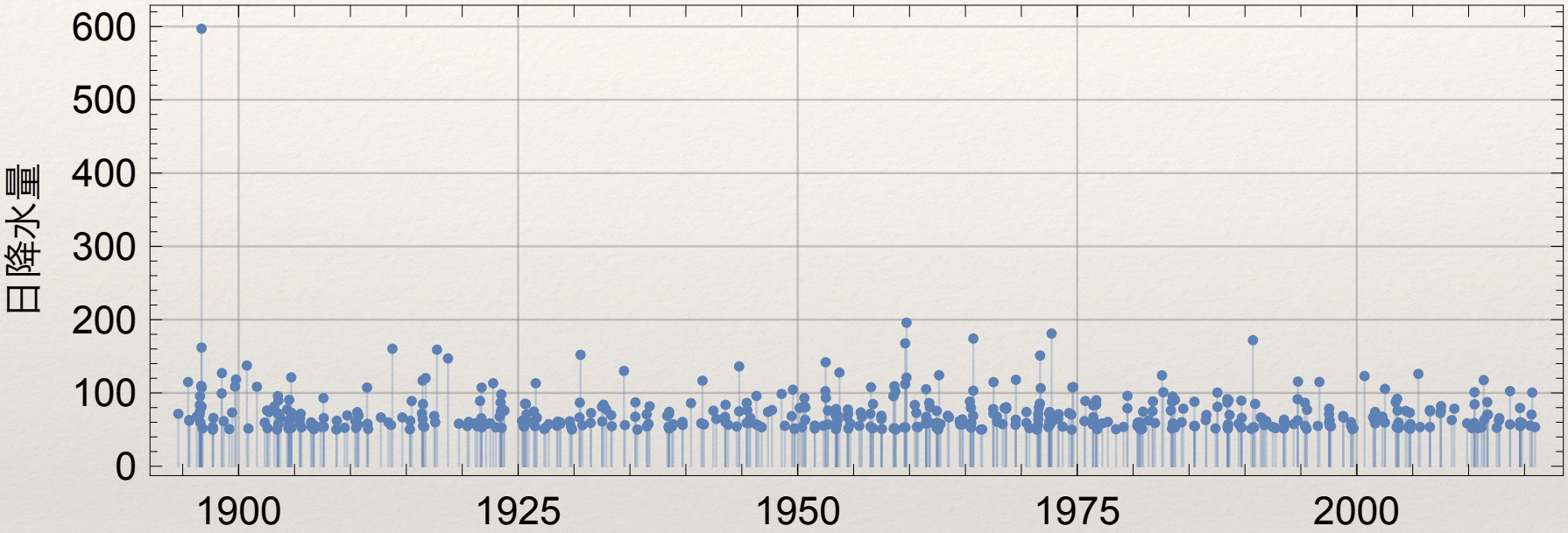
名古屋
名古屋

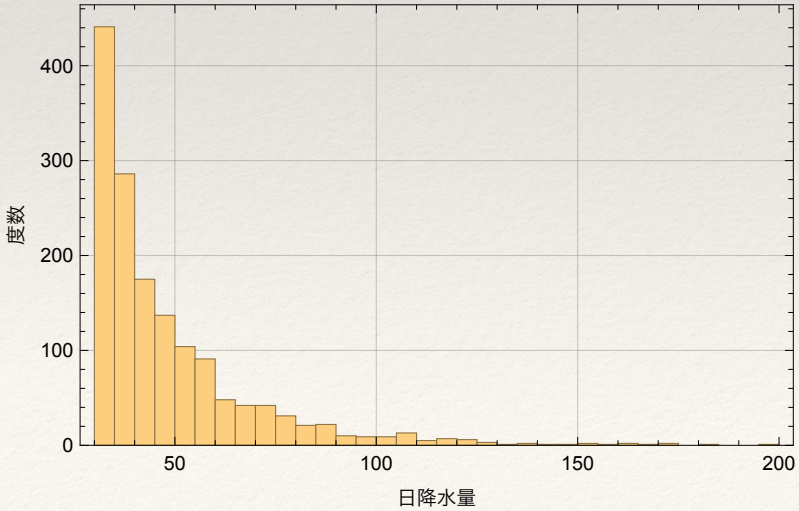

飯田
飯田

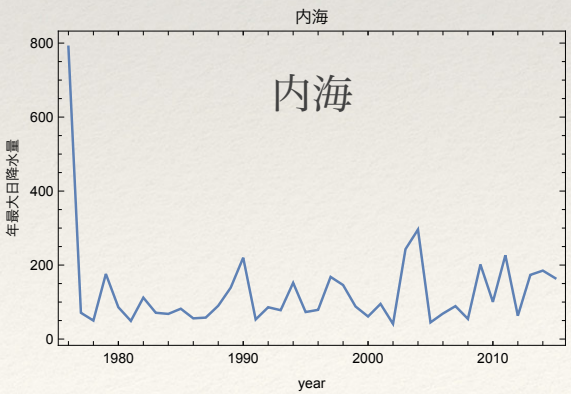

津
津

経験が役に立たないほどの大雨も，普段大雨の降らないところでも時には降る

彦根の日降水量50mm以上の出現状況

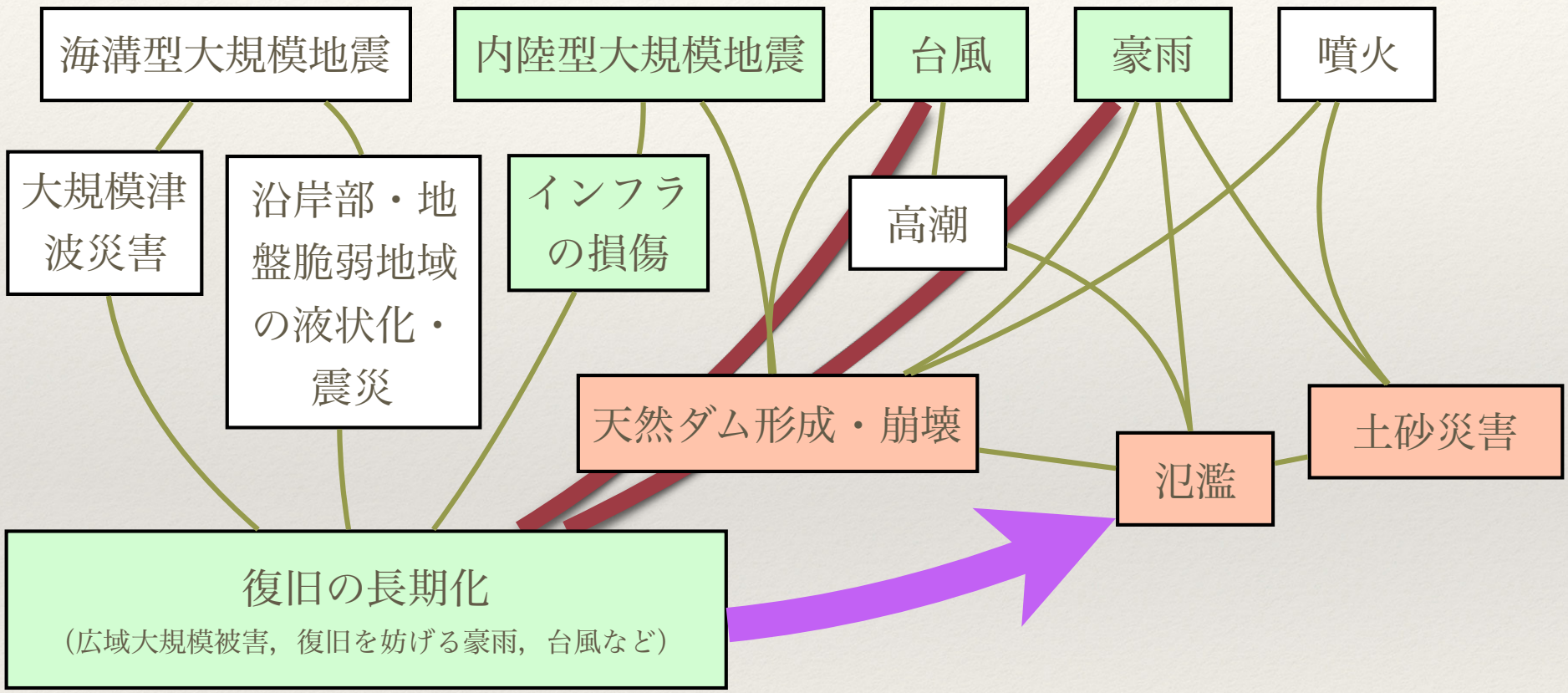






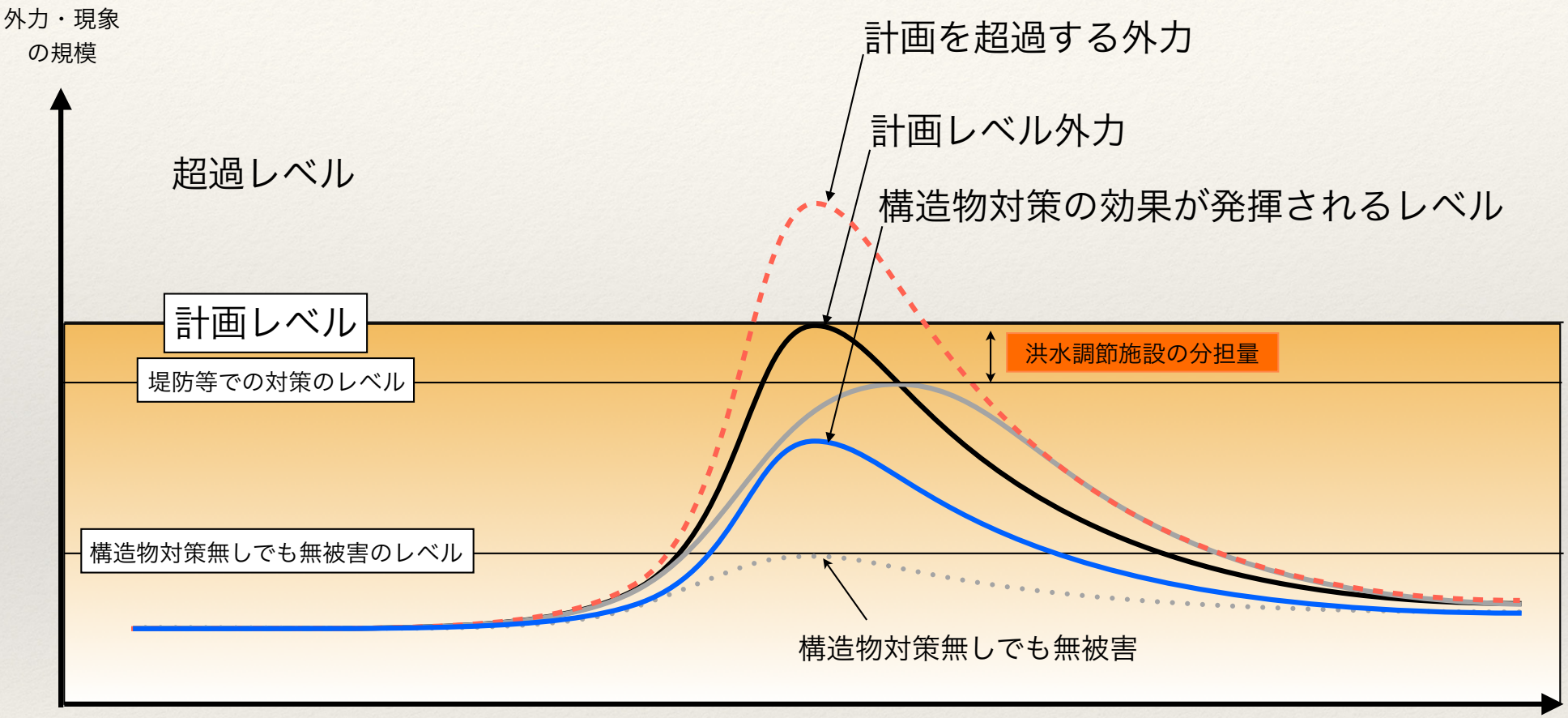
Source : JMA

巨大(複合)災害発生の可能性



大規模地震が夏季に発生すると，十分復旧しないまま台風や豪雨の影響を受けることになり，低レベル外力でも発災可能性増大

計画を大きく超える大雨で何が起こるか



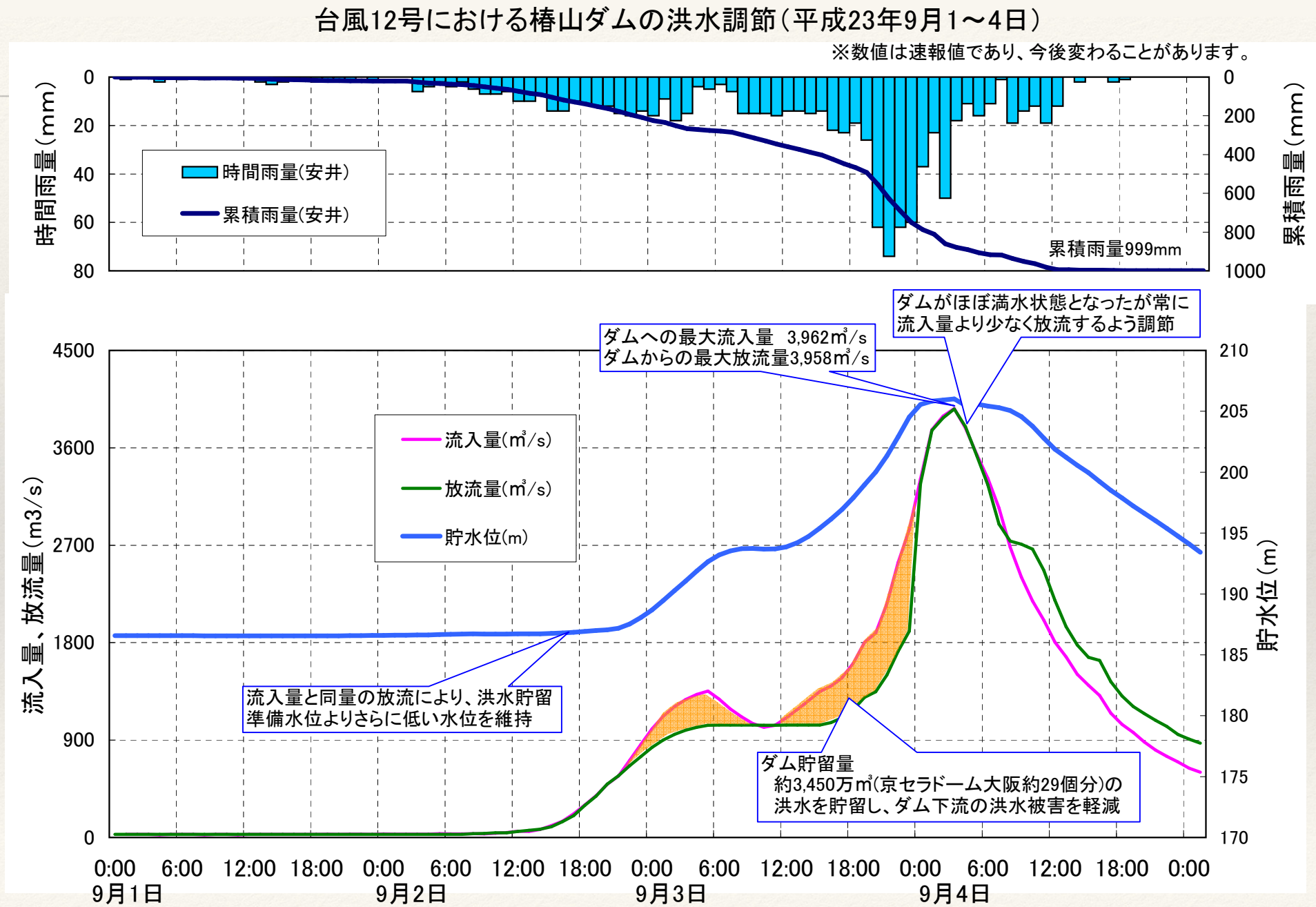
洪水氾濫の可能性のある場所を利用しつつ発展し、追うように治水対策を実施してきた

現状：複数の防災施設で役割分担している複雑なシステム

一部が機能不全を起こした場合、常に他が分担できるか

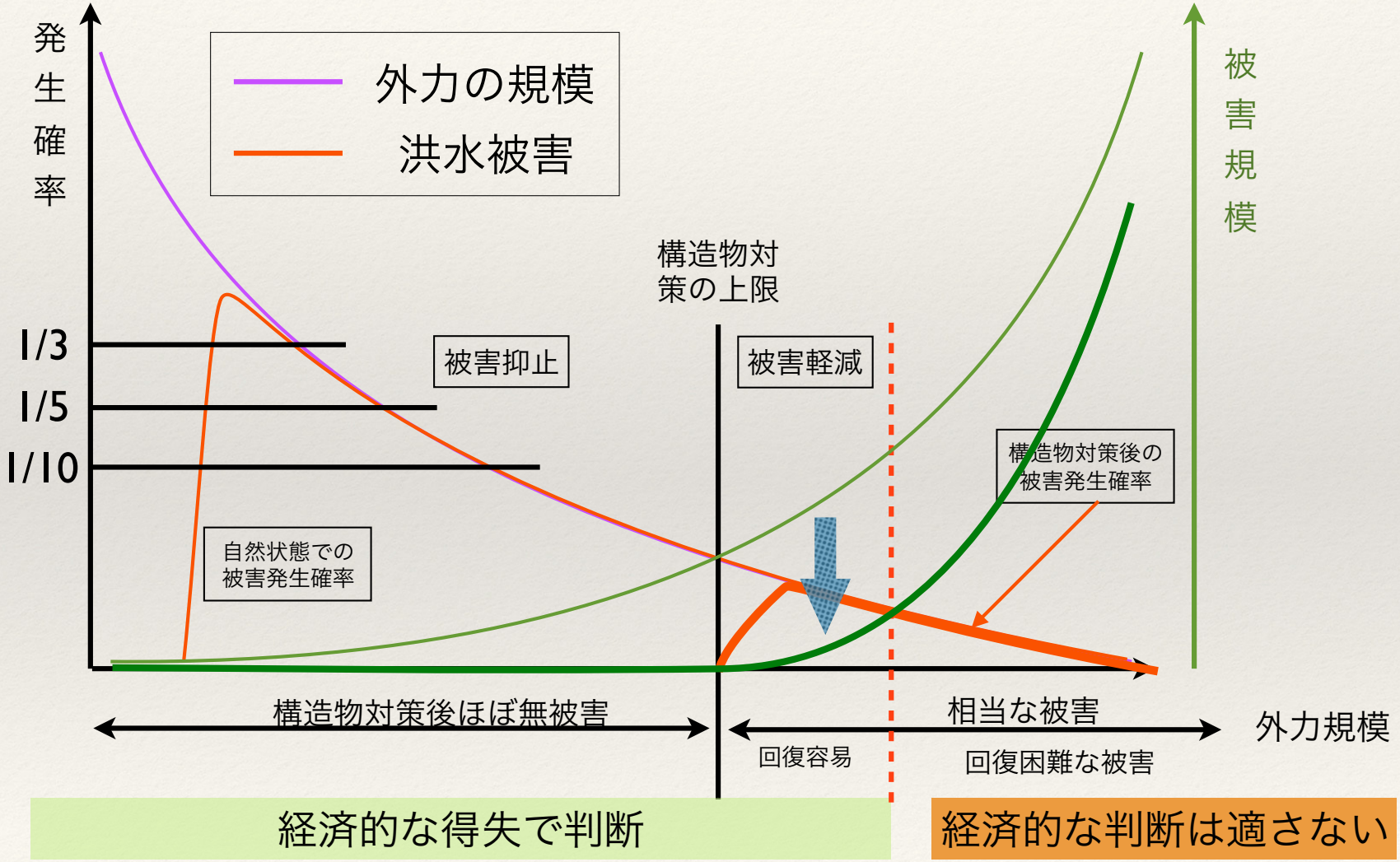
計画をこえるような場合でも、大規模被害を回避できるか

2011年台風12号　椿山ダムの洪水調節



出典：和歌山県ホームページ　http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080400/kouzuichousetu/H23/tubayama-taihuu12.pdf

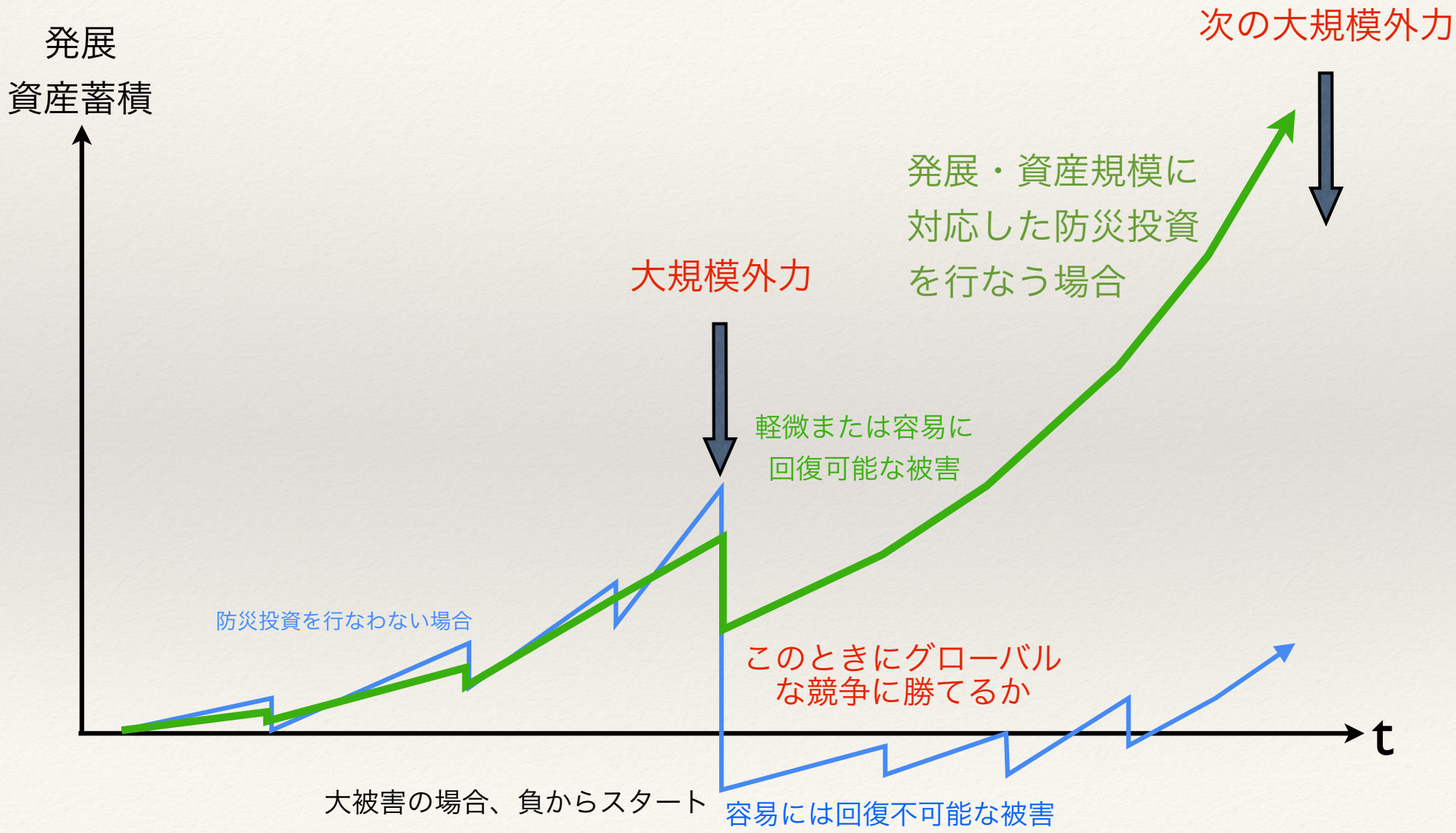
基本的な治水施設は土でできた堤防
計画規模を大幅に超えて破堤すると大規模な災害になる



経済的な得失で判断

経済的な判断は適さない

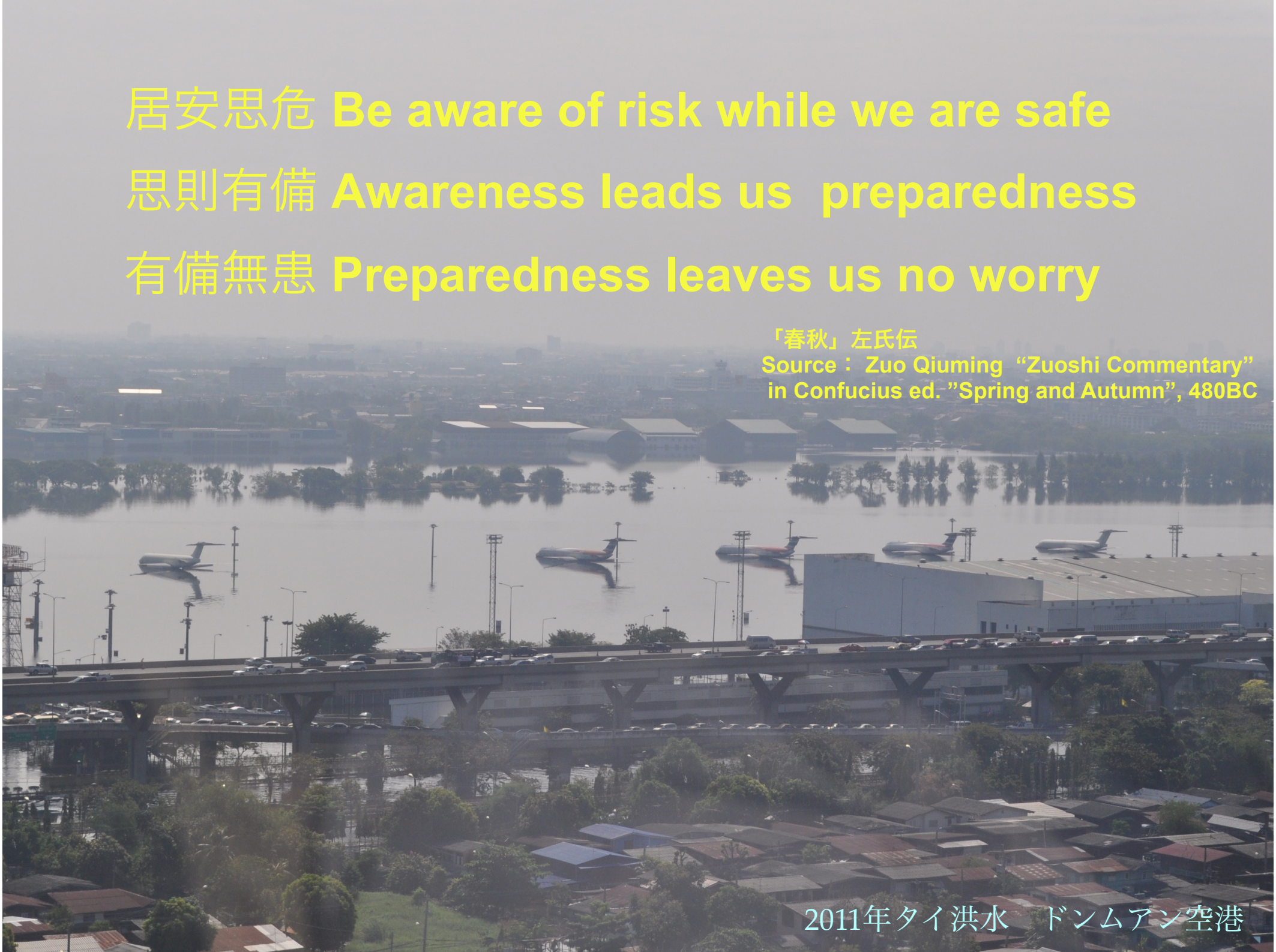
競争環境で一度首位から脱落すると奪還することは非常に困難



災害の影響を最小限にとどめるために

- 災害に強い社会の構築のために災害のことを常に念頭に置き脆弱な部分を払拭しておく
  - 防災施設の整備と防災体制（組織，制度など）の整備
- そのためには防災意識の維持が必要
- そのためには災害教育（訓練，啓発）が必要

皆さんは普段どこまで考えておられますか？


居安思危 Be aware of risk while we are safe
思則有備 Awareness leads us preparedness
有備無患 Preparedness leaves us no worry
「春秋」左氏伝
Source： Zuo Qiuming “Zuoshi Commentary”
in Confucius ed. ”Spring and Autumn”, 480BC
2011年タイ洪水　ドンムアン空港