

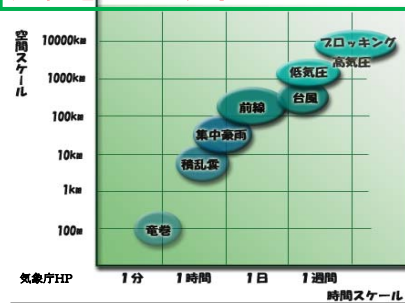
近年の豪雨災害と 気候変動適応

京都大学防災研究所
気象・水象災害研究部門
中北英一

最近の災害から思うこと

- 地球温暖化の影響が出だしているのではないかな？
- 今までの常識が通用しない。
 - 豪雨: より頻繁に、より強力に、初めての地域に=>未経験
 - 西日本豪雨: 強力ではないが、広域で長期間
- 後悔しない、地球温暖化への適応
 - 気候変動将来予測を軸にした適応
 - 治水の基礎体力の増強
 - リスク管理
 - 自助・共助としての防災力の増強
 - とともに時間がかかる。じわじわでも温暖化進行の方が早い。=>後悔しない早い目として計画的な対応が必要！
- では、何を？どの優先順に適応するか？
 - 将来予測の共有
 - 災害からの教訓
- 水工学・土木工学・気象学"研究"として抜けているものはない？

災害をもたらす豪雨のスケール



台風

範囲: 1000km
継続時間: 1日から数日
大河川での洪水、大規模水害、土砂災害
2009/08/08 in 台湾
台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

2011年の近畿南部豪雨(1 建築五層土地形)

上斜面で
時間停滞
生降雨

2時間雨量: 1652.5 mm (奈良県上北山村)

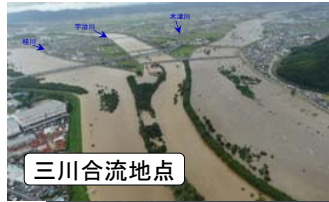
集中豪雨

範囲: 100km
継続時間: 6時間から半日程度
中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害
2010/10/20 in 奄美
南日本新聞 OFFICIAL SITE

ゲリラ豪雨(局地的豪雨)

範囲: 数km
継続時間: 1時間程度
小河川や下水道内での鉄砲水、都市内水氾濫
2008/07/28 at 都賀川 2008/08/05 at 雑司ヶ谷
都賀川モニタリング映像 共同通信

淀川水系のダム群全体で洪水調整



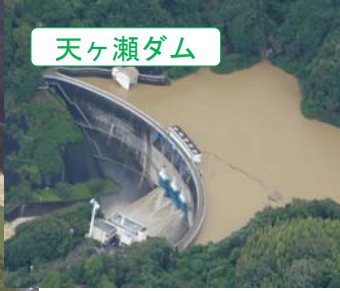
三川合流地点



瀬田川洗堰



日吉ダム

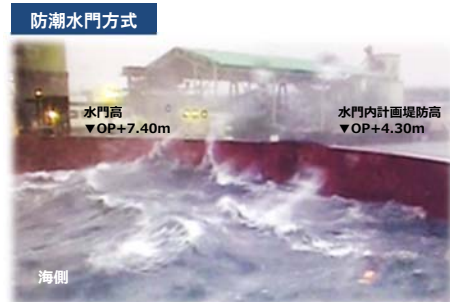


天ヶ瀬ダム

国土交通省近畿地方整備局(2013)

高潮対策施設の稼働状況

資料提供:大阪府



防潮水門方式

水門高
▼OP+7.40m

水門内計画堤防高
▼OP+4.30m

海側

安治川水門の閉鎖状況

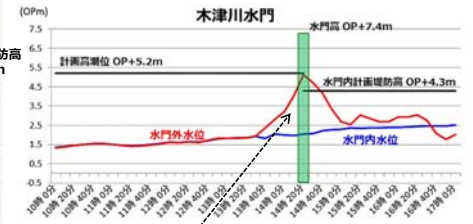


水門高
▼OP+7.40m

水門内計画堤防高
▼OP+4.30m

海側

木津川水門の閉鎖状況



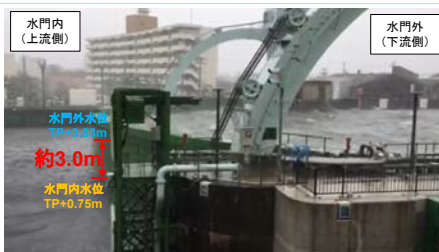
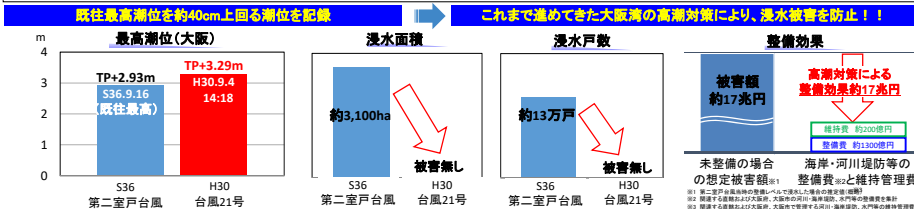
水門の内外で最大約3.0mの水位差が発生

資料提供:大阪府

着実な高潮対策により、既往最高潮位でも浸水被害を防止

—平成30年台風21号による大阪湾の高潮— (参考)

- 平成30年台風21号で、大阪港では第二室戸台風を上回る既往最高の潮位を記録。
- 昭和36年の第二室戸台風では約13万戸が浸水したが、その後の海岸・河川堤防、水門の整備(約1300億円)や適切な維持管理(約200億円)により、市街地の高潮浸水を完全に防止。被害防止の効果は約17兆円と推定。



台風21号による高波来襲から市街地を守る木津川水門(平成30年9月4日)



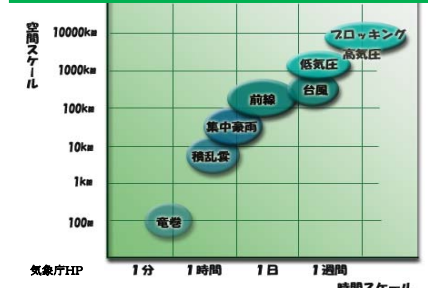
第二室戸台風の高潮浸水域



河川・海岸專業による高潮対策

伊勢湾台風級の高潮に十分対応できる恒久的防衛施設を整備

災害をもたらす豪雨のスケール



集中豪雨

範囲: 100km
継続時間: 6時間から半日程度

中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害
2010/10/20 in 奄美

南日本新聞 OFFICIAL SITE

台風

範囲: 1000km
継続時間: 1日から数日

大河川での洪水、大規模水害、土砂災害
2009/08/08 in 台湾

台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

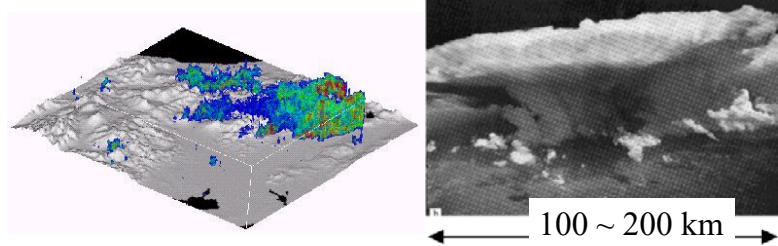
ゲリラ豪雨(局地的豪雨)

範囲: 数km
継続時間: 1時間程度

小河川や下水道内での鉄砲水、都市内水氾濫
2008/07/28 at 都賀川 2008/08/05 at 雑司ヶ谷

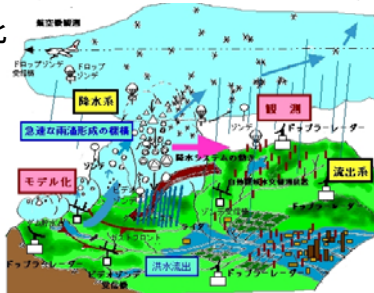
新川川モニタリング映像 共同通信

典型的な梅雨集中豪雨(線状対流系)



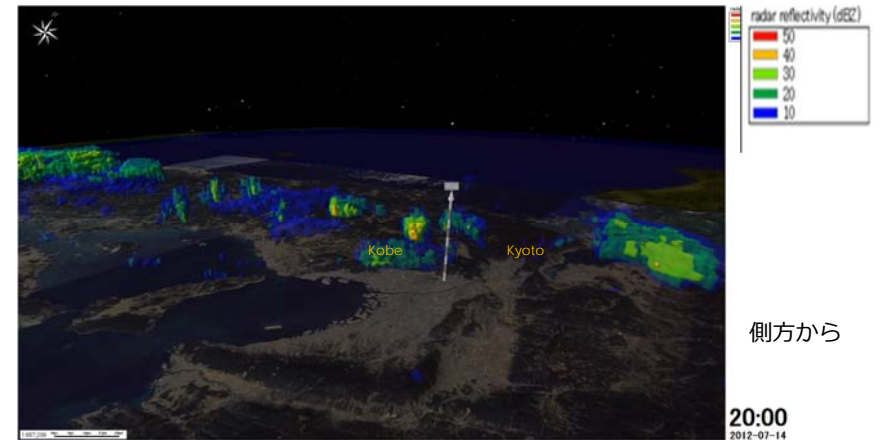
典型的な集中豪雨は、自己組織化された積乱雲のファミリーによってもたらされる。

このファミリーは100km以上の長さを持ち、自己組織化されている
ゆえ6時間以上の寿命を持つ。



2012年7月15日 京都・亀岡豪雨

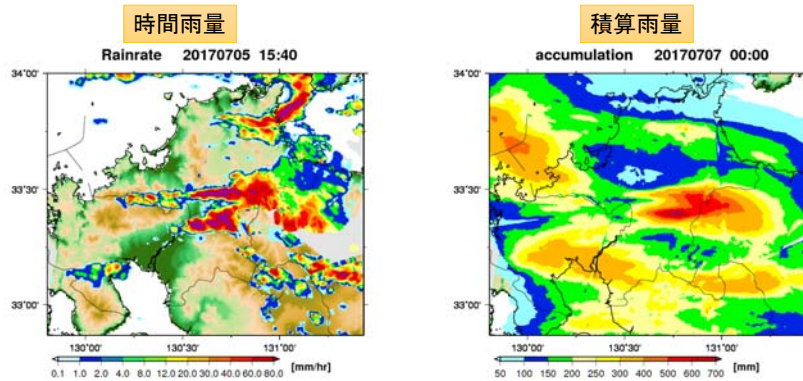
国土交通省XバンドMPLレーダー観測ネットワーク(XRAIN)



国土交通省XRAINから作成(山口・中北)

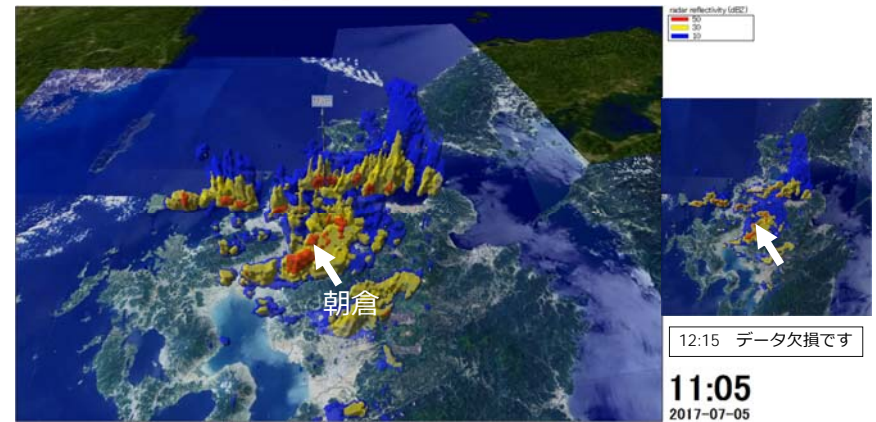
2017年九州北部豪雨(国土交通省XRAIN)

20170705 04:00 – 20170707 18:00

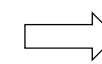


- ・1日以内で梅雨時豪雨の総雨量が600~700mmとなるのはまれ。
 - ・限られた上流域のあちこの沢が崩れて(表層崩壊)、土石流がもたらされたことはL2に匹敵。
 - ・その積分効果で多量の土砂、流木が下流の里(小規模な扇状地など)にもたらされたことも、L2であり、気候変動適応も含めて、今後どう対応すべきかは新たな視点。(台風でも数少ない)
 - ・5年前の九州北部豪雨は7月3日、熊本は7月12日。
 - ・気候変動で、7月上旬の梅雨豪雨は頻度が増えると推測されている。この豪雨は温暖化の影響？
- 小坂田、山口、中北 (2017)
中北 (2017)

2017年7月5日 九州北部豪雨



脊振山地東側で積乱雲が繰り返し発生



同じ場所に強い雨を継続して降らせた

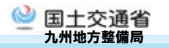
国土交通省XRAINから作成(堀池・山口・中北)

九州北部豪雨（梅雨豪雨）災害

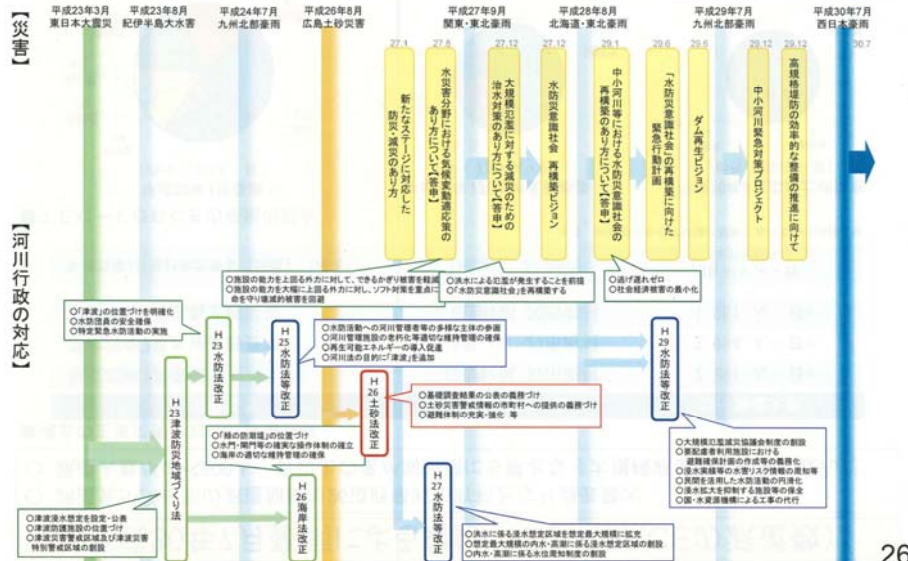


写真提供： 室蘭工業大学 中津川教授

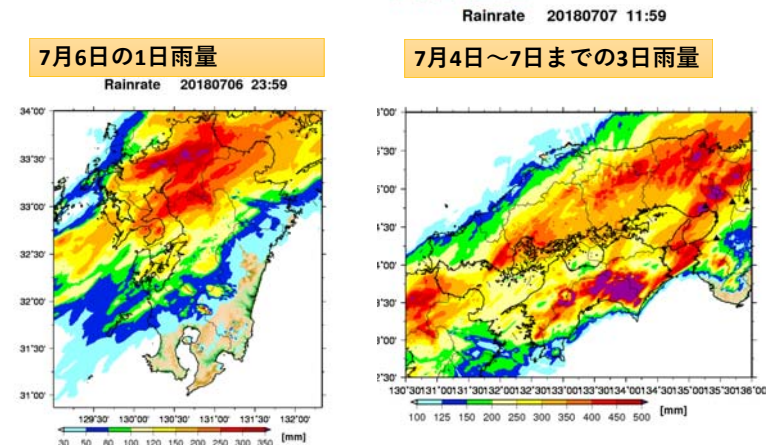
筑後川右岸流域の被害状況



近年の災害等を踏まえた取組状況



平成30年西日本豪雨 7月4日～7日までの3日雨量



元々筋状の線状降水帯が生起しやすい場所で、総降雨量分布では筋状が見える。そして、今まで起きていないところでも筋状が見える。背が低い。雷少ない。

国土交通省XRAINから作成（中北・小坂田・山口）

平成30年7月豪雨により氾濫危険水位を超えた国管理河川

- 0 国管理河川では2.6水系50河川で氾濫危険水位を超過。
- 0 このうち2.3水系4.6河川は記録的な大雨となった西日本に集中。

由良川水系由良川(福岡県) 7月7日 0時

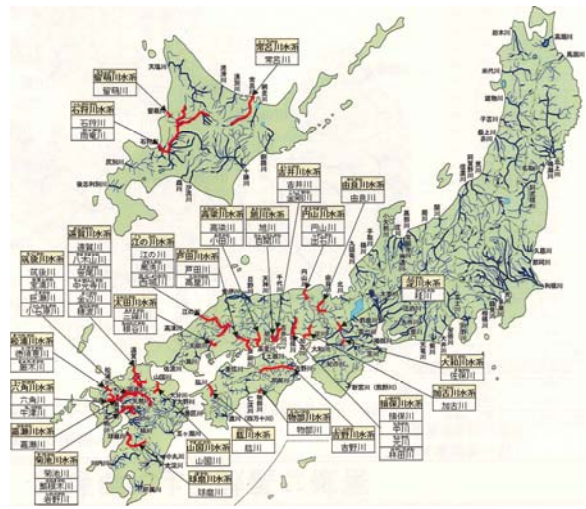
由良川水鶏島JL堤防37.5k



京都府福知山市 事務所跡地



京阪川水系京阪川(京都府) 7月7日 0時

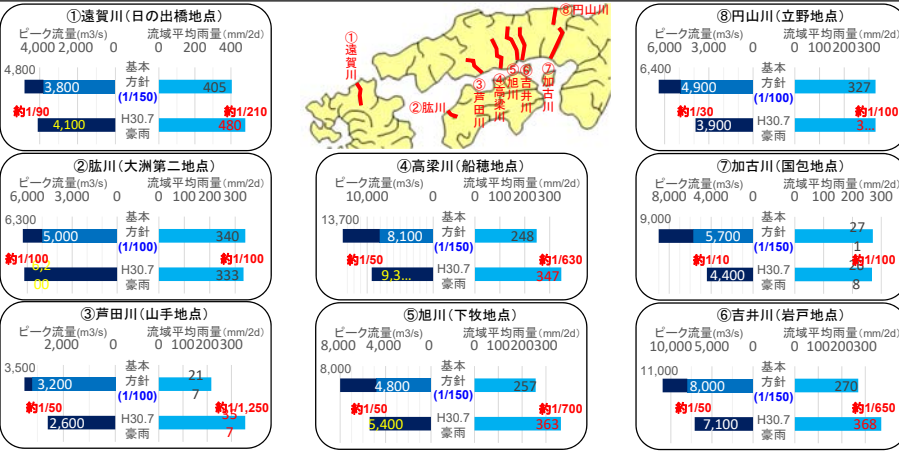


17

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

降雨量・ピーク流量の状況(治水計画との比較)

- 氾濫危険水位を超過した国管理河川のうち、8河川では、基本高水の計画規模の降雨量*と同程度又は上回った。
- しかし、基準地点の流量は、河川整備計画の目標流量を超過した河川はあるものの、基本高水のピーク流量を超過した河川はなかった。



数字：河川整備計画の目標流量 黄字：ピーク流量が整備計画以上の値 赤字：流域平均雨量が基本方針以上の値
*基本高水のピーク流量を算定する際の計画規模の降雨量。 ※値は全て連報値 流量はダム氾濫後、流域平均雨量は地点上流。

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

18

浸水被害の発生状況

○ 堤防の決壊や越水による河川氾濫等により、西日本を中心に各地で浸水被害が発生した。

高梁川水系小田川(岡山県倉敷市)
 ・左岸及び複数の支川の決壊、右岸の越水により、多数の家等浸水(約1,200ha、約4,600戸)(7/7)
 ・排水作業により浸水は緩和(7/11)
 ・決壊：堤防及び遊水池(箇所にて緊急復旧後実施、7月15日に堤防復旧工事の完了が完了)



No.	水系	主な河川	主な市町村
①	由良川	由良川	京都府福知山市
②	江の川	江の川	兵庫県江津市
③	江の川	馬洗川	広島県三次市
④	高梁川	小田川	岡山県倉敷市
⑤	芦田川	芦田川	広島県福山市、府中市
⑥	太田川	三篠川	広島県広島市
⑦	沓川	沓川	愛媛県大洲市
⑧	遠賀川	遠賀川	福岡県飯塚市
⑨	筑後川	巨瀬川	福岡県久留米市
⑩	大角川	武雄川	佐賀県武雄市

沓川水系沓川(愛媛県大洲市)
 ・全ての暫定堤防部で、東大洲地区の二橋からの越水等により、大洲市全域で浸水(浸水数3,114棟(床上2,296棟、床下818棟)の被害が発生(8月30日19時現在大洲市調べ)。
 ・7月8日までに浸水は解消

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

19

【事例1(高梁川)】 倉敷市真備町の浸水状況(小田川)

○ 高梁川および小田川の急激な水位上昇等に伴い、小田川(2箇所)および二次支川(6箇所)で堤防が決壊。
 ○ 昭和47年7月洪水(小田川右岸が決壊及び内水氾濫)、昭和51年9月洪水(内水氾濫)を上回る浸水被害が発生。

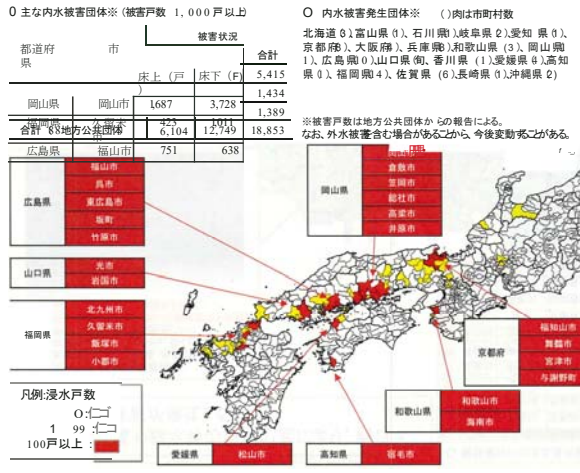


国土交通省 中国地方整備局

動画：国土交通省中国地方整備局 20

平成30年7月豪雨による内水被害の概要

0 内水氾濫による浸水被害が西日本を中心に19道府県88市町村で発生。
 0 浸水戸数は全国で約2.9万戸。うち内水被害が約1.9万戸。



20

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

平成30年7月豪雨による土砂災害の発生状況

9月25日時点

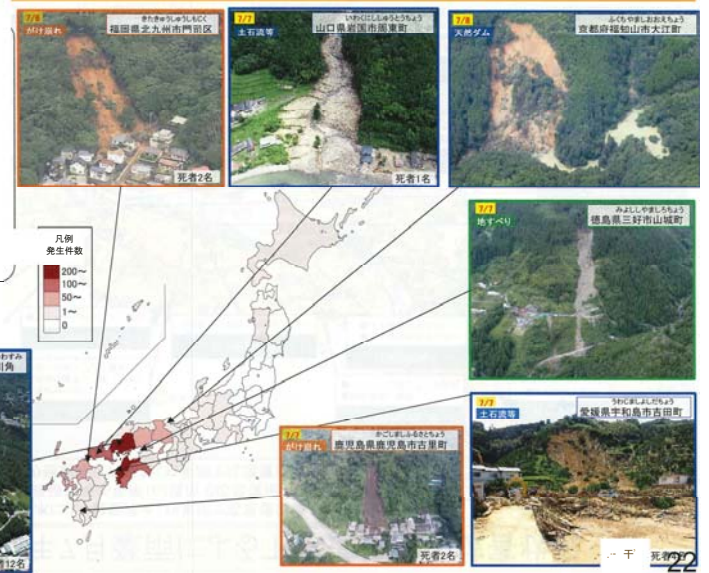
土砂災害発生件数
 (7月2日以降を略)
 (都道府県報告)
 1道2府28県
 2,512件※

十石土流等：769件
 地すべり：55件に
 がけ崩れ 4,688件

人的被害 死者 119名
 負傷者 29名
 人家被害 全壊 213戸
 半壊 340戸
 一部損壊 230戸

※被害状況等については精査中

※1 近10年(120 29)の平均土砂災害発生件数1,106件/年
 ※2 近10年(120 29)の最大土砂災害発生件数1,514件/年(129)

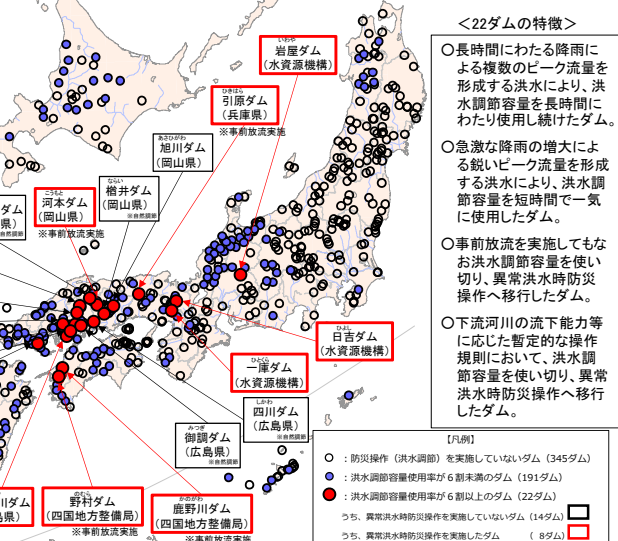
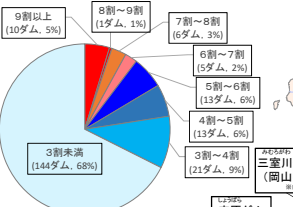


国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

平成30年7月豪雨におけるダムの状況や特徴

0 平成30年7月豪雨で洪水調節を行った213ダムのうち、22ダムは洪水調節容量の6割以上を使用。

平成30年7月豪雨で洪水調節を実施した213ダムの洪水調節容量使用率の割合



<22ダムの特徴>

- 長時間にわたる降雨による複数のピーク流量を形成する洪水により、洪水調節容量を長時間にわたり使用し続けたダム。
- 急激な降雨の増大による鋭いピーク流量を形成する洪水により、洪水調節容量を短時間で一気に使用したダム。
- 事前放流を実施してもなお洪水調節容量を使い切り、異常洪水時防災操作へ移行したダム。
- 下流河川の流下能力等に応じた暫定的な操作規則において、洪水調節容量を使い切り、異常洪水時防災操作へ移行したダム。

【凡例】

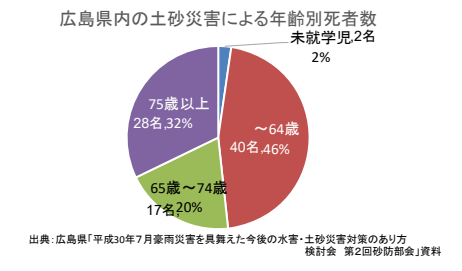
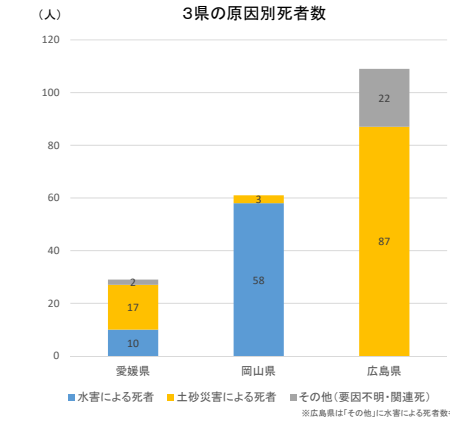
- ：防災操作（洪水調節）を実施していないダム（345ダム）
- ：洪水調節容量使用率が6割未満のダム（191ダム）
- ：洪水調節容量使用率が6割以上のダム（22ダム）
- ：異常洪水時防災操作を実施していないダム（147ダム）
- ：異常洪水時防災操作を実施したダム（8ダム）

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

23

人的被害の特徴（死因別・年齢別）

0 被害の大きかった愛媛県、岡山県、広島県での原因別死者数をみると、広島県では土砂災害による死者数が、岡山県では水害による死者数の占める割合が多かった。
 0 広島県での土砂災害による死者の約半数や岡山県倉敷市真備町での水害による死者の約9割が65歳以上であり、高齢者が多く被災した。



岡山県倉敷市真備町における年齢階層別死者数

年齢階層別	真備町
65歳未満	6人 (11.8%)
65歳~74歳	15人 (29.4%)
75歳以上	30人 (58.8%)

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

24

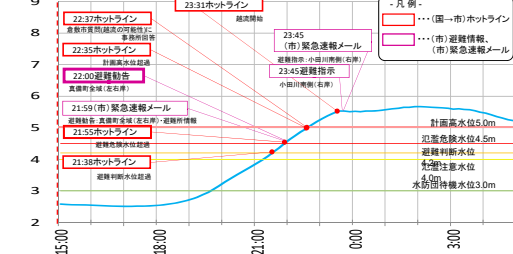
洪水氾濫・土石流等における避難勧告発令状況

- 倉敷市真備町では、ホットラインやタイムラインを整備し、日常からの情報共有も行われ、避難勧告が発令された。
- 土砂災害で人的被害(死者)が発生した53箇所のうち、70%(37箇所)で避難勧告を発災前[※]に発令。
[※]災害発生時刻は報道情報等含む。今後の精査により情報が変化する可能性がある。
- 土砂災害や中小河川では、被災前に避難情報が発令されていない場合も見受けられる。

■洪水氾濫

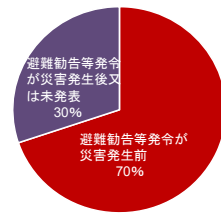
小田川の水位と避難情報

水位(m) [矢張り観測所]



■土石流等

避難勧告等の発令状況 (平成30年10月25日時点)



国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

25

平成30年7月豪雨の特徴

平成30年7月豪雨の特徴を大枠でまとめますと、

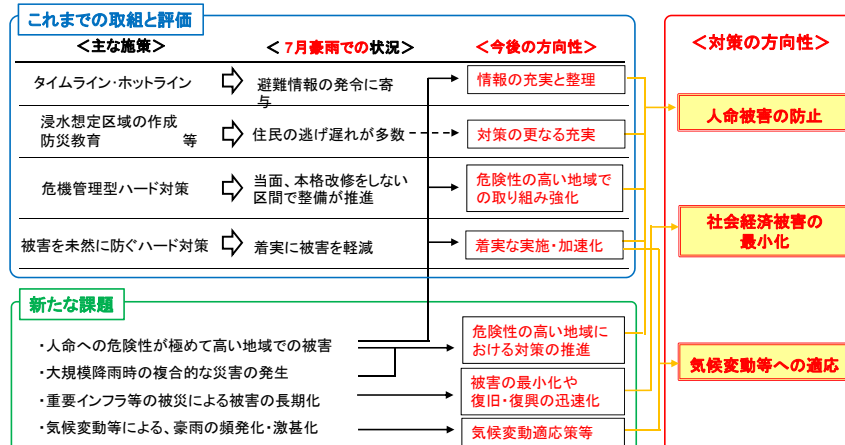
- ① 梅雨豪雨としては珍しく、長期間に広い範囲でたくさんの総雨量がもたらされた、
- ② それによって満身創痍になっていた多くの山腹斜面・河川流域・ダム貯水池で、通り過ぎていったそう強くない豪雨の一波二波がトンカチのごとく土砂崩壊、洪水、ダムの小貯水池からの緊急放流をもたらした。(第一回でお見せした動画も参照ください)
- ③ そのため、情報伝達、避難に関して多くの視点をもたらした、

となります。満身創痍とは山腹斜面、河川流域の山々、ダム貯水池が水で満杯になっていて、それ以上少しでも豪雨があると土石流・斜面崩壊・崖崩れが生じたり、河川流域の山々からすでに満杯の川やダム貯水池に雨水が流出したりしやすい状態を言っています。耐えることのできる限界にあつことを言っています。そして事実、その上で加えての豪雨がやってきたのです。トンカチ役である**そう強くない豪雨の一波二波の影響を評価するには、レーダー等を使った短時間降雨予測の強化とその利用の促進を図る必要がある。**

中北(2018)

水防災意識社会を再構築する取組の充実・加速の方向性

- これまで進めてきた、タイムライン・ホットラインの取組は、市町村の避難情報の発令に寄与したものの、避難行動を取らなかった住民が多数。
- 新たな課題として、人命への危険性が極めて高い地域での被害や、土砂・洪水氾濫等による複合的な災害、重要インフラの被災等が発生。
- 気候変動による水災害の頻発化、激甚化に備え、「人命被害の防止」、「社会経済被害の最小化」、「気候変動等への適応」の対応が必要。



国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

27

大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について 答申(概要)

(4)技術研究開発の推進

①リスク評価の高度化

○気候変動によるリスク変化の解明

・これまで、過去に発生した豪雨や高潮に基づいて実施していた河川、砂防、下水道、海岸等の計画策定や施設設計について、将来の気候変動等の影響を反映させるための技術的な検討を推進すること。なお、これらの検討にあたっては相互に連携を深めるとともに、複合的な災害に対する検討も進めること。

・具体的には、気候変動等によって今後も豪雨が頻発化・激甚化する傾向は明らかとなっているが、関係機関と連携してより精度の高い定量的な評価とともに、各地域に影響を与える豪雨に関する気象要因の変化についても分析するなど、降雨パターンの変化についても調査・研究を進めること。

②リスクに応じた防災・減災対策の充実

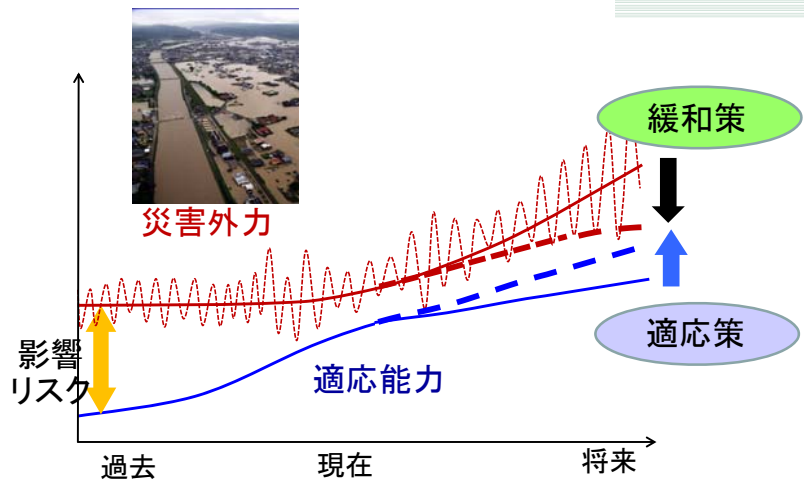
○顕在化している気候変動の影響を踏まえた対策

・現時点においても気候変動等によって降雨がすでに激甚化していることや将来における気候変動等の影響に不確実性が残ることも踏まえ、現時点で実施すべき対策についても検討を進め、実施できる危機管理対策等を順次実行すること。

国土交通省：大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会資料

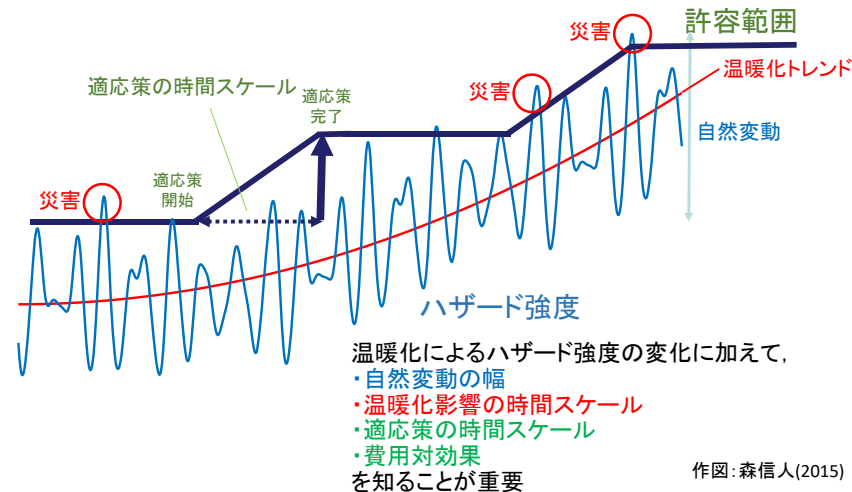
34

適応策の役割



三村(茨城大)、2014

温暖化に対する順応的適応策の考え方



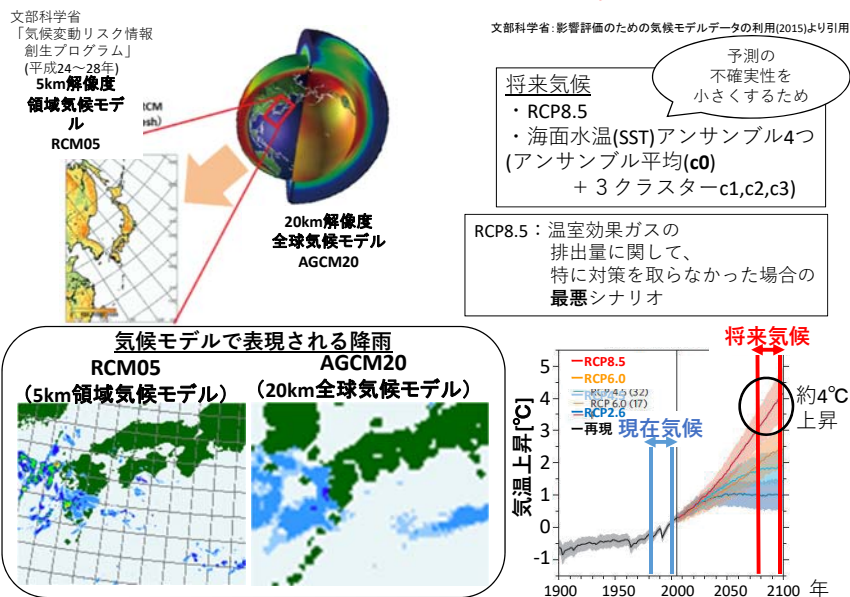
作図:森信人(2015)

気候研究コミュニティ,防災減災研究コミュニティ,実務機関



中北 (2015)

気候モデルを用いた気候変動予測



01 Sep 208X 00 UTC

地球温暖化で地球はようになるだろう



TOUGOU

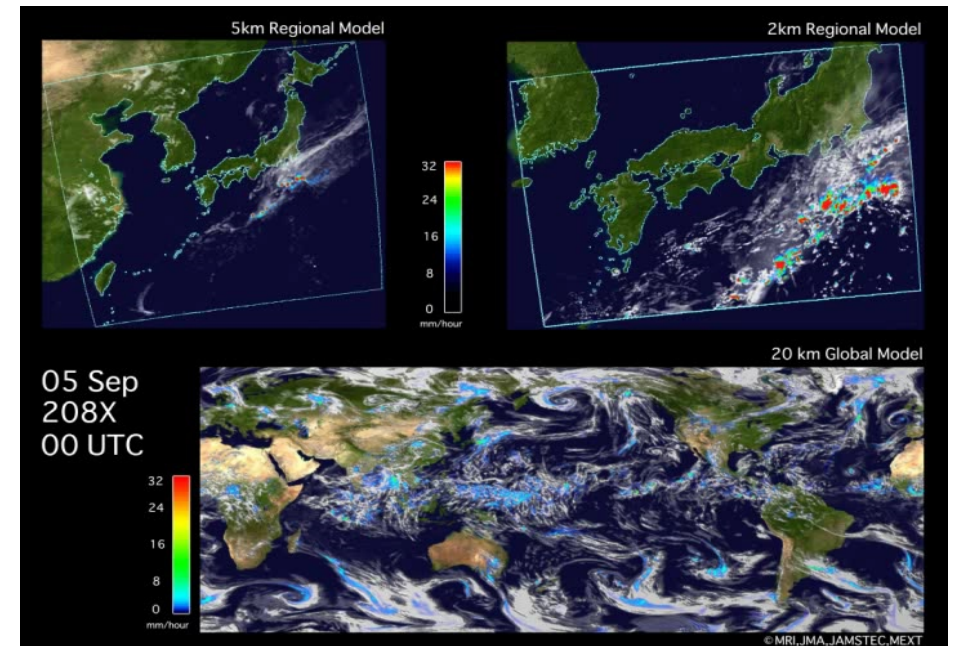
SOUSEI



地球工学・気候学・コンピューターサイエンスの融合



©MRI, JMA, JAMSTEC, MEXT



温暖化による日本への影響推測



TOUGOU

SOUSEI



KAKUSHIN

・台風：

- 日本への到来回数は減る
- スーパー台風の危険性は高まる

・梅雨：

- 7月上旬の日100mm以上の割合や、集中豪雨の生起回数が増える。
- 日本海側の豪雨も増えるだろう

・ゲリラ豪雨：

- 都市化や下層水蒸気の流入増があり増えるだろう

日本の梅雨への影響



TOUGOU

SOUSEI

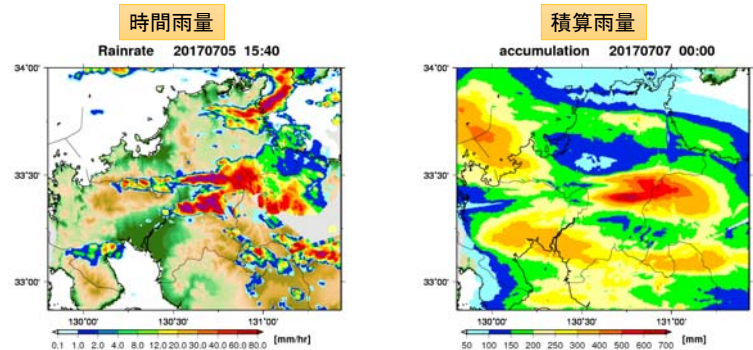


KAKUSHIN

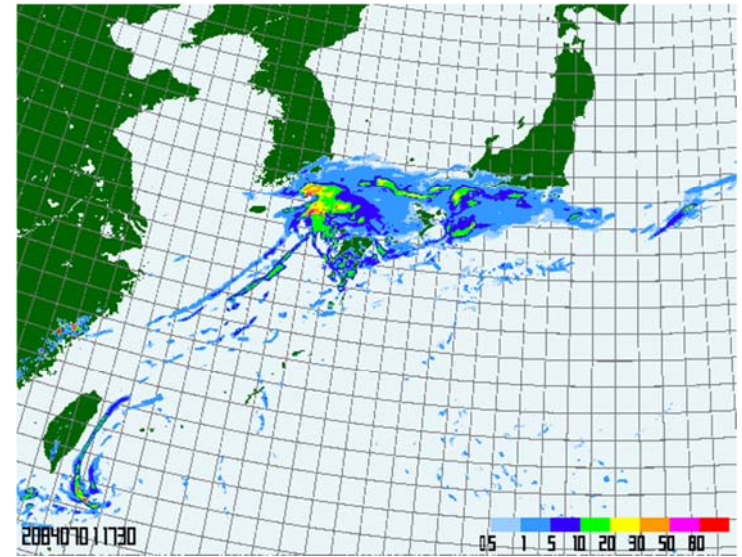
- ・ 水蒸気の南からの浸潤が増加により、梅雨タイプの豪雨の頻度が増加
- ・ これまでは、九州は東シナ海からの水蒸気侵入、東海関東は南方に現れた台風や低気圧によるポンプアップによる水蒸気侵入。
- ・ 九州浸潤型が増える。日本海側にも。
- ・ 梅雨豪雨のない東北や北海道でもこれから起きる。

2017年九州北部豪雨(国土交通省XRAIN)

20170705 04:00 – 20170707 18:00

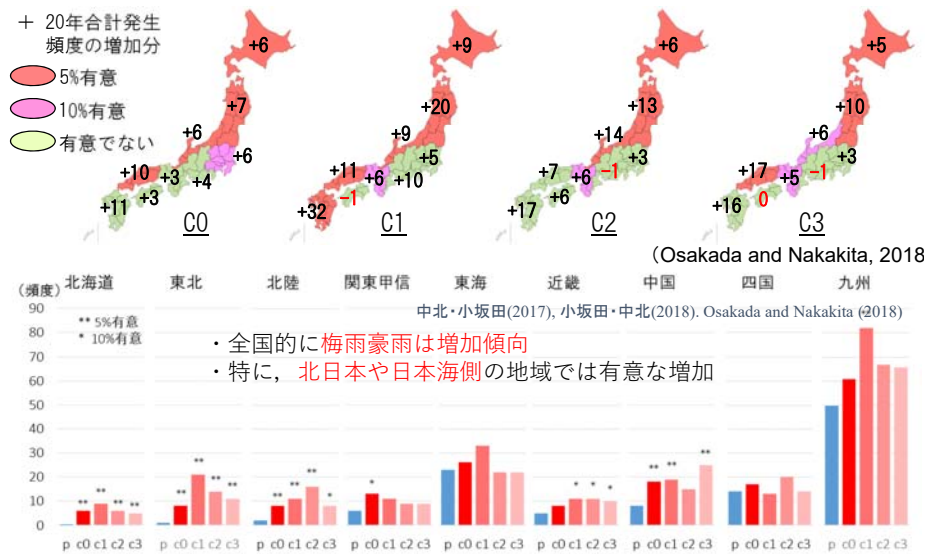


- ・1日以内で梅雨時豪雨の総雨量が600~700mmとなるのはまれ。
 - ・限られた上流域のあちこちの沢が崩れて(表層崩壊)、土石流がもたらされたことはL2に匹敵。
 - ・その積分効果で多量の土砂、流木が下流の里(小規模な扇状地など)にもたらされたことも、L2であり、気候変動適応も含めて、今後どう対応すべきかは新たな視点。(台風でも数少ない)
 - ・5年前の九州北部豪雨は7月3日、熊本は7月12日。
 - ・気候変動で、7月上旬の梅雨豪雨は頻度が増えると推測されている。この豪雨は温暖化の影響？
- 小坂田、山口、中北 (2017)
中北 (2017)

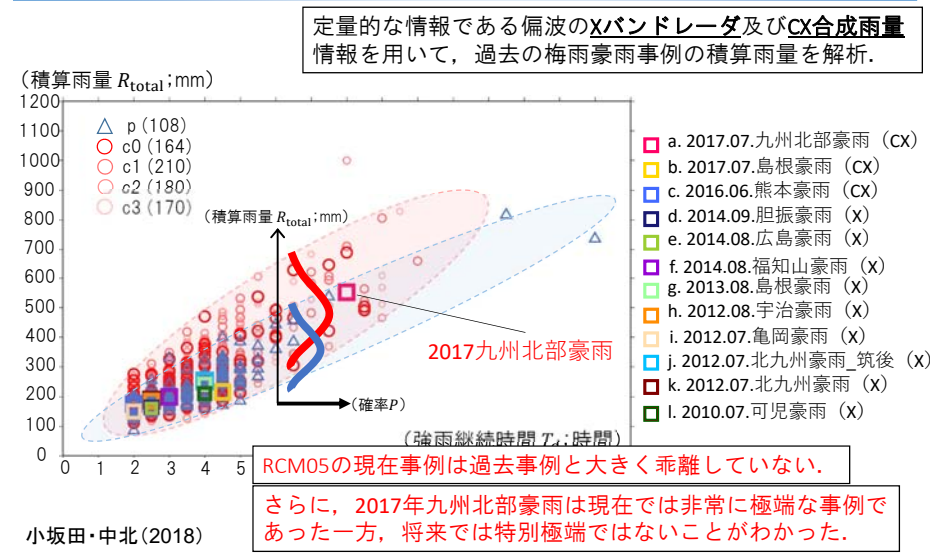


シミュレーション: 気象庁気象研究所

梅雨豪雨発生頻度の将来変化

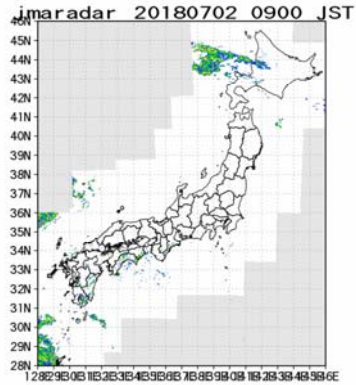


過去の梅雨豪雨事例との比較

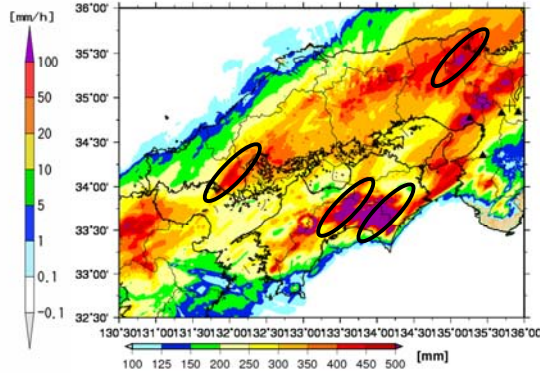


2018年西日本豪雨は...?

気象庁Cバンドレーダによる
降雨強度

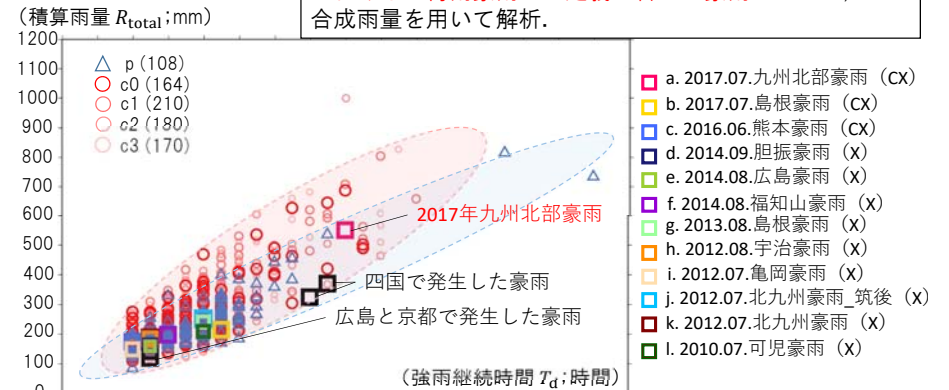


CX合成雨量による
2018.07.04 12:00 ~ 2018.07.07 11:59
3日間積算雨量



過去の梅雨豪雨事例との比較

2018年西日本豪雨において発生した豪雨のうち、**本研究**における“**梅雨豪雨**”の定義に合った豪雨について、CX合成雨量を用いて解析。



2018年の西日本豪雨に関しては、メソスケールの梅雨豪雨の定義では、その異常さを評価できない。
→1つ大きなスケールから特徴を捉えることが必要。

昭和28年と昭和47年の災害(梅雨前線)

昭和28年(1953年)

出典: 気象庁

昭和28年(1953年) 6/23-6/30



死者748名、行方不明者265名、
負傷者2,720名
住家全壊5,699棟、半壊11,671棟
床上浸水199,979棟、床下浸水
254,664棟など(消防白書より)

これを契機に筑後川の治水計画改定
(松原・下笠ダム)

昭和47年(1972年)



昭和47年(1972年) 7/3-7/15

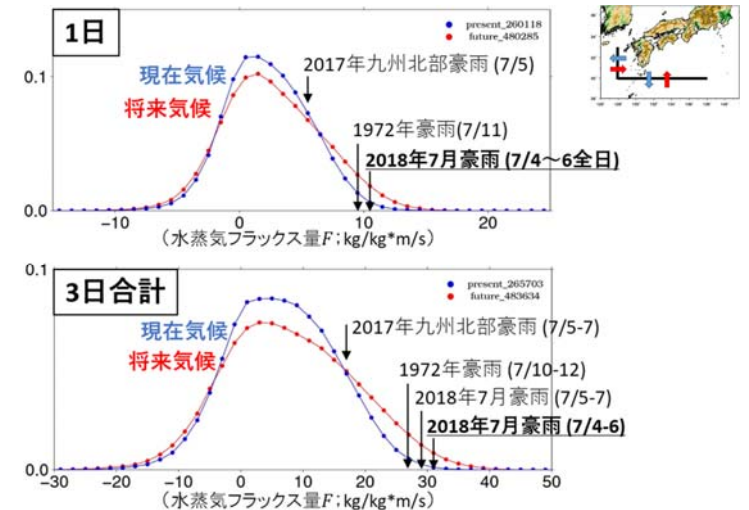
死者421名、行方不明者26名、
負傷者1,056名
住家全壊2,977棟、半壊10,204棟
床上浸水55,537棟、床下浸水
276,291棟など(消防白書より)

こうした災害経験を忘れてはいないか?

今回と同様に、西日本で広範囲に
同時多発に水害発生

死者220名、行方不明者10名、負傷者407名
住家全壊5,236棟、半壊5,790棟
床上浸水13,258棟、床下浸水20,942棟など
(消防庁資料より)

西日本豪雨の水蒸気浸潤の異常さ



梅雨豪雨と温暖化、意見

平成30年7月豪雨の特徴を大枠でまとめますと、

- ① 梅雨豪雨としては珍しく、長期間に広い範囲でたくさんの総雨量がもたらされた、
- ② それによって満身創痍になっていた多くの山腹斜面・河川流域・ダム貯水池で、通り過ぎていったそう強くない豪雨の一波二波がトンカチのごとく土砂崩壊、洪水、ダムの小貯水池からの緊急放流をもたらした。（第一回でお見せした動画も参照ください）
- ③ そのため、情報伝達、避難に関して多くの視点をもたらした、

となります。満身創痍とは山腹斜面、河川流域の山々、ダム貯水池が水で満杯になっていて、それ以上少しでも豪雨があると土石流・斜面崩壊・崖崩れが生じたり、河川流域の山々からすでに満杯の川やダム貯水池に雨水が流出したりしやすい状態を言っています。耐えることのできる限界にあることを言っています。そして事実、その上で加えての豪雨がやってきたのです。トンカチ役であるそう強くない豪雨の一波二波の影響を評価するには、レーダー等を使った短時間降雨予測の強化とその利用の促進を図る必要がある。

では、温暖化による将来予測との関係はどうでしょうか？（10月28日時点での中北研究室による解析結果）

- ① 線状降水帯型梅雨豪雨の頻度は将来増加する。これまでほとんどなかった地域でも生じする。同じ強雨の継続時間内でも、その時間内での強雨総雨量は増大する。
- ② しかし、平成30年7月豪雨のように停滞する大気のパターンは、九州北部豪雨と違い、将来増える兆候は見られません。
- ③ 平成30年7月豪雨時の流入水蒸気量は、勿論現在気候でも将来気候でも珍しく多い範疇になりますが、将来は珍しくはなくなります。したがって、総降雨量が増えることに対する対策が必要になります。

中北(2018)

水災害・水資源に関し、我が国でおおよそ何が推測されているか？



- 100年に一度起こる規模の河川最大流量が九州・四国・近畿・東海地方の太平洋側で増大すること
- 10年に一度の少ない規模で起こる河川流量が北日本と中部山岳地帯を除く多くの流域で悪化し、融雪水を利用している地域では、融雪ピークの減少やそれが早期化すること
- ダム操作の有効性が変化すること
- 西日本太平洋側を中心に、表層崩壊や、深層崩壊という数10mの深さでかつ水平規模の大きい斜面崩壊の危険性が増大すること
- 100年に一度の規模で起こる高潮・高波が一部の主要湾で悪化すること
- 降雪、積雪状況の変化により、水ストレスが増加する

適応に向けての大切なこと

1. 対象とする河川流量などの設計値を見直す。
2. 気候変動下での最悪ケース群を想定する。
3. 高い不確実性の中で後悔しない意志決定。
4. 普段の「しんどい管理」の「じわじわ」とした高頻度化、これが今後、現場のしんどさ・疲労増大に結びついてリアルタイム防御システムの安全度を低下させる、そのようなことがないように対応して行く。
5. シリアスに早期に逃げる。やばいと感じること。
6. 危険な場所には住まないこと。
7. 猛暑や水不足など、普段の場のじわじわ変化への適応

ご静聴ありがとうございました

気候変動による影響評価・適応策創出の仲間です。



写真：宇治川、塔の島