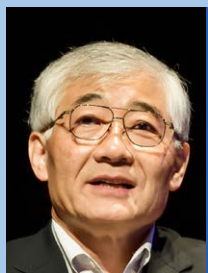


気候と社会の変化に対応できる治水

開催日時：令和元年 7 月 5 日（金）13 時 10 分～14 時 40 分

開催場所：イイノホール



国立研究開発法人土木研究所
水災害・リスクマネジメント
国際センター センター長

小池 俊雄 氏

プロフィール

1956年、福岡県生まれ。1985年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。以来、水文学、水循環に関わるリモートセンシングおよび環境心理学を研究。長岡技術科学大学工学部、東京大学大学院工学系研究科で教鞭を執る傍ら、2006年4月から2010年3月まで東京大学地球観測データ統融合連携研究機構 機構長を兼任。現在は東京大学名誉教授、国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター センター長。日本学術会議会員、社会資本整備審議会河川分科会長、科学技術学術審議会委員のほか、多数の国の委員会等の委員長を務める。IPCC2007年ノーベル平和賞受賞貢献感謝状(2008年)、中国科学院アインシュタイン教授賞(2009年)、日本水大賞国際貢献賞(2010年)、水文・水資源学会国際賞(2009年)、同学術賞(2015年)、中国科学院国際協力賞2019など受賞多数。

はじめに

今日は ICHARM（水災害・リスクマネジメント国際センター）という国立研究開発法人土木研究所に設置されているユネスコのセンターのセンター長として、東京大学の元教授として研究してきた内容、日本学術会議で現在進めている内容、そして特に社会資本整備審議会で現在のいろいろな水害に対して取り組んでいる内容等をふまえてお話しします。

水防災意識社会の再構築に取り組む

私が社会資本整備審議会の河川分科会長を引き受けたのは2015年2月です。その前々年（2013年）に伊豆大島の土砂災害、前年（2014年）に広島土砂災害がありました。これを受けて2014年の11月に土砂災害防止法の改正が行われました。ご存知のようにこの法律は1999年の広島土砂災害を契機につくられました。2014年の改正では、いわゆるレッドゾーン（土砂災害特別警戒区域）、イエローゾーン（土砂災害警戒区域）指定のための基礎調査を迅速に行い、それにより土砂災害の危険性を明示する、避難情報の発令の仕方を整えることが盛り込まれました。

その翌年（2015年）の1月には「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」という新しい政策が発表され、5月には水防法を改正して、施設計画規模以上の洪水や内水、高潮に対しても命を守る行動をとれるよう、想定し得る最大規模の外力を決めてソフト対策につなげていくことになりました。

私自身はこのような政策が決まった頃から河川分科会の仕事に携わるようになったのですが、最初に取り組ませて頂いたのは、この水防法に基づいて推定すべきとされた、想定最大外力

をどのようにして求めるか、でした。これを7月にまとめ答申しました。

その年（2015年）の9月に、関東・東北豪雨で鬼怒川が破堤しました。このとき我々が非常に大きなショックを受けたのは、1,300人以上がヘリで救助されたことです。昼間の破堤で、テレビ・報道のヘリが飛ぶ中、鬼怒川の様子がくまなく地元だけでなく我々にもわかったのですが、その中で人々は避難できていなかったことが大きなショックでした。

それで社会資本整備審議会の中に小委員会がつくられ、施設では防ぎきれない大洪水は発生するものとの考えに立ち、これに備えるため社会全体でハード・ソフト一体となった対策に取り組む「水防災意識社会」を再構築することを基本とする方針を示しました。もともと我々は洪水の大きな危険をはらんだ国土に住んでいますから、それに対する意識、あるいは行動を元来持っていたはずで、それがフェードアウトしていることに大きな危機感を感じました。これは行政においても、住民においてもいえることです。

この「水防災意識社会の再構築」に向けて、避難行動につながる情報の出し方やハザードマップの改良など住民目線に沿ったソフト対策と、少しでも破堤を遅らせるような堤防構造の工夫など危機管理型のハード対策を取りまとめて答申しました。

北海道・東北地方豪雨を受けて 水防法をさらに改正

この答申が2015年12月で、一息ついたと思ったその翌年（2016年）8月に北海道・東北地方豪雨が起きました。北海道に3つの台風が上陸し、東北地方・岩手県に太平洋側から直接台風が上陸するという、気象庁の統計開始以来はじめての事態となりました。岩手県の実験者利用施設「楽ん楽ん

（らんらん）」では9人が亡くなり、北海道の地域経済も非常に大きな打撃を受けました。

先に答申した「水防災意識社会の再構築」は1級河川の直轄管理河川を意識していたため、新たにこの都道府県管理河川版を答申しました。この2つを受けて水防法や河川法等が改正され、当該地域の水災害に関わるステークホルダー、いろいろな関係者が集まって、氾濫のダメージを少しでも減らすことに取り組む大規模氾濫減災協議会の設置が義務化されました。要配慮者利用施設の避難計画の策定や避難訓練の実施も明示されました。

都道府県管理の中小河川で大災害が起きると、復旧に時間を要します。技術的にも非常に大きな問題を抱えることになります。そこで国がそれを代行する制度も、この法改正に組み込まれました。

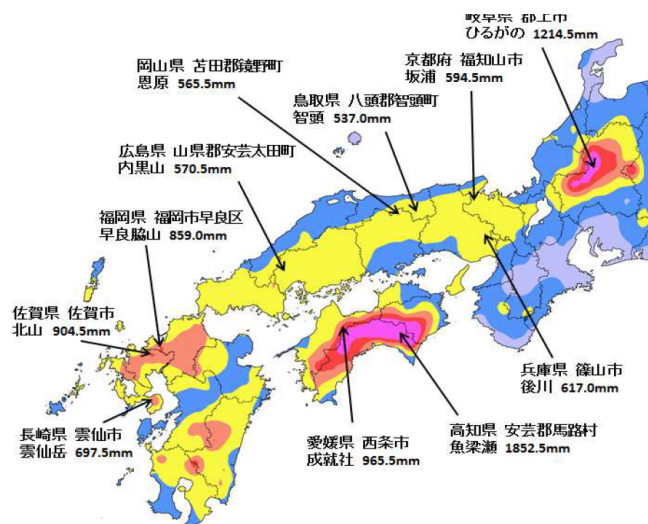
この改正の成立が2017年5月で、施行が6月。その2週間後に九州北部豪雨が発生しました。復旧工事に国による代行の最初の適用例が九州北部豪雨となりました。

このように、災害が起きることに対して何らかの手を打っていくのですが、常に後追いとなり、非常に忸怩たる思いで、何とか先手を打てないかと考えてきました。そこで九州北部豪雨が起り、復旧に対していろいろな手当てをしつつ、並行して2018年4月から根本的な手法の検討が始まったのですが、それについてはこの後詳しくお話します。その報告案が大体文章としてまとまったのが2018年6月末。8月初めに委員会を開いて合意し、記者発表しようと構えていたところに、平成30年7月豪雨、西日本水害が発生しました。

長期間の強い水蒸気収束が大雨を降らせる

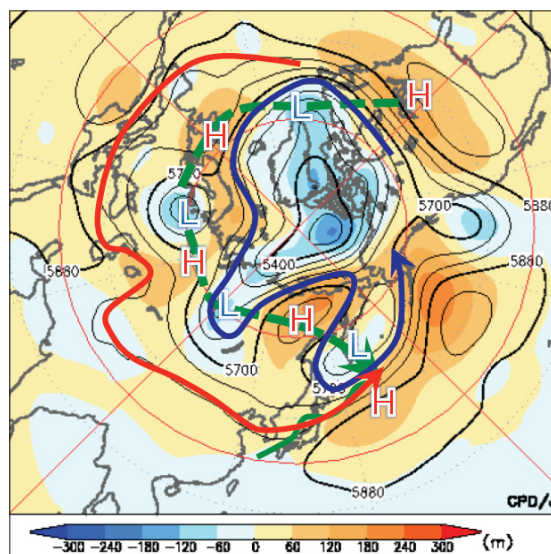
資料-1は気象庁の6月28日0時～7月8日24時の期間降水量の期間最大値の分布図です。高知県安芸郡では1,800mmの大雨が降っています。岐阜県郡上市では1,200mm降っています。この大雨で、広島で土石流災害、岡山で破堤を伴う浸水害、愛媛ではこの両方が起こって、非常に大きな災害となりました。

1982年の長崎水害のとき、私は修士の学生でしたが、このとき以来の200人を超える犠牲者となりました。これは確かに異常な現象で、一旦梅雨明けをしたのですが、活発な前線が南下して雨を降らせ、南下した前線がまた北上して降らせるという、長期間にわたって水蒸気が日本列島上で強く収束する現象が起きました。



資料-1 6月28日0時～7月8日24時の期間降水量の分布図
(気象庁資料)

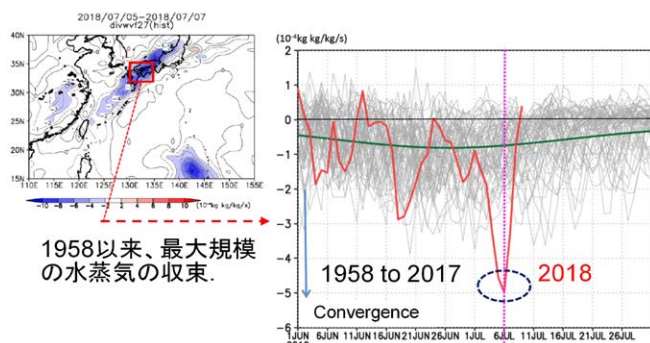
地球全体で見ると、資料-2のように北極の周りを流れる亜寒帯ジェット気流と、中緯度を回る亜熱帯ジェット流の蛇行のパターンがありました。



資料-2 亜寒帯ジェット気流と亜熱帯ジェット気流の蛇行パターン
(東京大学中村尚教授提供)

日本では高気圧、低気圧は1週間ぐらいの割合で変わるのですが、ジェット気流の蛇行が強くなると高気圧や低気圧が持続することになります。その結果日本列島のまさに上空で冷たい北からの風と南からの暖かい湿った風がぶつかり続け、前線を停滞させて雨を降らせたのです。

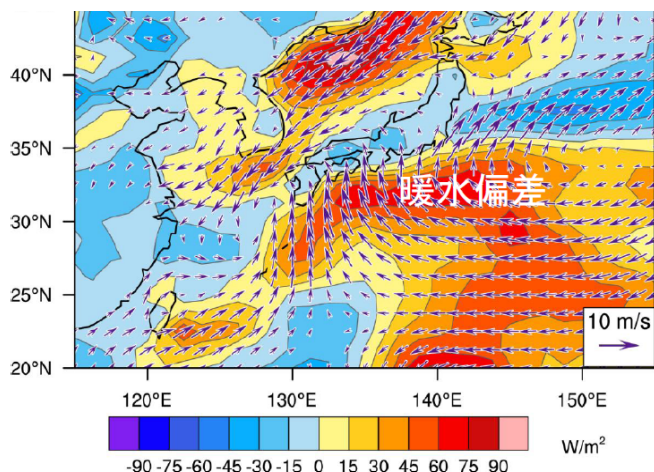
当時得られた観測データをできるだけ集め、最新の数値予報モデルを使って、もう一度気象予測をやり直すことを再解析と言いますが、東京大学の中村教授らが、このデータを解析したところ、2018年7月に、日本列島付近で1958年以来最大の水蒸気収束が起こっていることが解りました（資料-3）。これによって大雨が降りました。



資料-3 1958 年以来、最大規模の水蒸気の収束
(東京大学中村尚教授提供)

こういうパターンが気候の変化と共に増えるかという、実は明確な根拠はありません。しかし、資料-4 が示すように、海面温度が非常に高い状態になっているところに、強い風が吹いて強い収束が起これば、海面から大量の水蒸気が蒸発し大気中に供給されます。

海面温度の上昇は地球温暖化によって引き起こされている、というのが現在の考え方です。その結果これまでにない大きな収束が起これば、長時間にわたって豪雨が続き続いたということです。



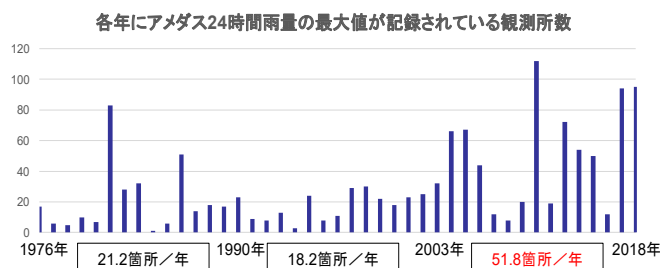
資料-4 北と南に位置する高気圧による強風と海面蒸発量の偏差
(東京大学中村尚教授提供)

これまでに経験したことのない豪雨が日本中で降り始めている

気象庁ではこれまで、こういうイベントごとに、「気候変動の影響である」と言うことはなかったのですが、今回は先ほどお話ししたメカニズム、つまり温暖化により海面温度が上昇して海洋からの水蒸気供給が増えたと考えられることを踏まえて平成 30 年 7 月豪雨を「気候変動の影響である」と表明しています。

このような中、近年どんな雨の降り方が起きているか。日本には、アメダス（地域気象観測システム）による降水量の観測所が約 1,300 カ所にあります。1976 年から 2018 年まで

を大きく 3 期間に分けて、過去以来最大の豪雨を記録した年を数えてみます（資料-5）。最初の期間は年 20 カ所程度だったのですが、最近では 50 カ所を超え、日本中の至るところでこれまでに経験したことのないような豪雨が降り始めています。



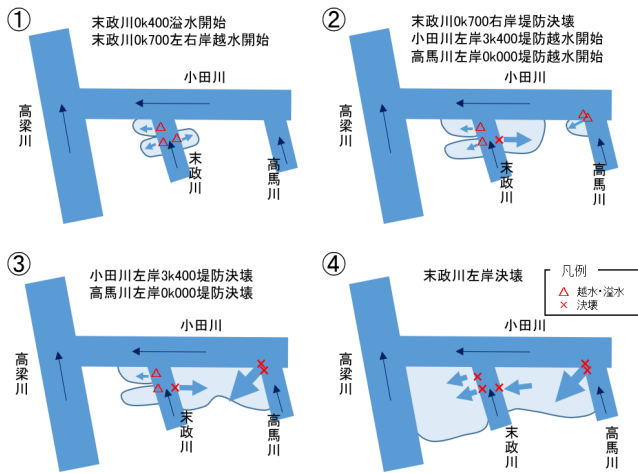
資料-5 各年にアメダス 24 時間雨量の最大値が記録されている観測所数

特に 2018 年の 7 月豪雨は日本列島の約半分の箇所で、24 時間、48 時間、72 時間という長時間の降水量の最大記録が次々と更新されました。これだけ広域になると、救助や支援の手が届くのが遅れますから、公助を補うための自助や共助の必要性が大きな課題となってきます。

キーワードはバックウォーター現象と土砂・洪水氾濫

こうした現象の中でどのような災害が起きるか。平成 30 年 7 月豪雨の場合、いくつかのキーワードがあります。その 1 つはバックウォーター現象です。資料-6 をご覧ください。後でもう少し詳しくお話しますが、岡山県倉敷市では高梁川水系の小田川の支川の堤防が決壊しました。本川のピークは支川に比べて遅く、支川のピークが来た後、本川のピークが来るのが普通です。しかし、本川の洪水ピークがきたときに支川の水位が引き続き非常に高い状態にあると、支川の洪水が流れにくくなって越水、破堤が起きます。我々はこれまで、「1 カ所で破堤をするとほかは助かる」「片側が破堤すると反対側は助かる」という考え方を持っていたのですが、そういう常識を覆すように、複数の箇所で次々と破堤が生じたのです。

もう 1 つの新しいキーワードが、土砂・洪水氾濫です。上流で土石流が起きると、その土砂が強い雨がもたらす洪水によって運ばれ、勾配の緩いところで河道（堤防または河岸と河床で囲まれた部分）に堆積します。すると、本来は水の流れる河道が土砂で埋め尽くされ、行き場を失った洪水と土砂は川からあふれ谷底平野の幅一杯になって流れます。資料-7 の場所ではもともと河道（大屋大川）と道路（県道 66 号線）に分かれており、道路にはカーブミラーがあるわけですが、川・道路の境なく土砂が堆積する現象が起きました。



資料-6 バックウォーター現象
(国土交通省資料)



資料-7 土砂・洪水氾濫
(国土交通省資料)

この現象はこの前年（2017年）の九州北部豪雨の際、赤谷川の至るところで起きました。さらにその前年（2016年）の北海道・東北地方豪雨でも、十勝川の支流のペケレベツ川で同じような現象が起こり、私はその現場を見て、こんなことがいろいろな場所で起こり始めたら大変であると感じました。

ですから、水防災意識社会再構築の第2弾の答申の中で、この土砂・洪水氾濫について非常に明確に書いて対応を呼びかけたのですが、対策よりも自然の変化の方が早く、次々という災害が起こる時代になってきました。

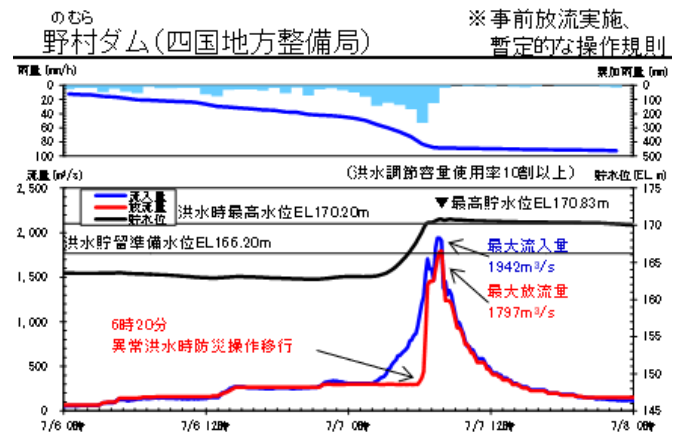
2018年には8カ所のダムが異常洪水時防水操作に移行

ダムは異常洪水時防災操作という規程を持っています。この規程ではダムが洪水調節を行い、貯水量が満水位に近づいた場合には、徐々に放流を増やす操作に移行することになっています。ただし、中小の洪水に対するダムの運用と非常に大きな洪水に対するダムの運用の仕方は異なります。

資料-8の野村ダムは、もともと大きな洪水に対する運用の

仕方を設定していましたが、それでは中規模の洪水時に効果を発揮しないため、地元の要請を受けて中規模の洪水に対応できる操作規程に変更していました。すると昨年、非常に大きな洪水が来たわけです。

ダムが容量を使い果たし、入ってきた水をそのまま流さざるを得ない。こういう異常洪水時の防災操作に移行せざるを得ないダムが、昨年は8カ所出ました。このうちの野村ダムの下流で大きな災害が起きたわけです。今後、ダムはどのような規模の洪水に対応した操作を行うことが技術的に効率的と言えるのか、さらにそれぞれの操作により地域が受ける受益の違いをどのように調整するのか、また、将来的には降雨予測を活用してどのように洪水調節操作を行っていくべきなのか、改めて施設操作の責任の重さを痛感しました。



資料-8 異常洪水時防災操作
(国土交通省資料)

少子高齢化で災害に対する脆弱性が増していく

平成30年7月豪雨で被害に遭った広島県、岡山県、愛媛県の雨量は、先述の資料-1を見ると、期間雨量で200から600ミリ程度です。

実は日本は場所によっては、200から600ミリのレベルの雨で大きな被害が出ます。なぜかという、広島県、岡山県、愛媛県では、この規模の雨が降る確率規模は100年以上だからです。要するにこれまでに経験していないような強い雨が降ったわけです（資料-9）。

- 確率規模100年以上
- 確率規模100年未満

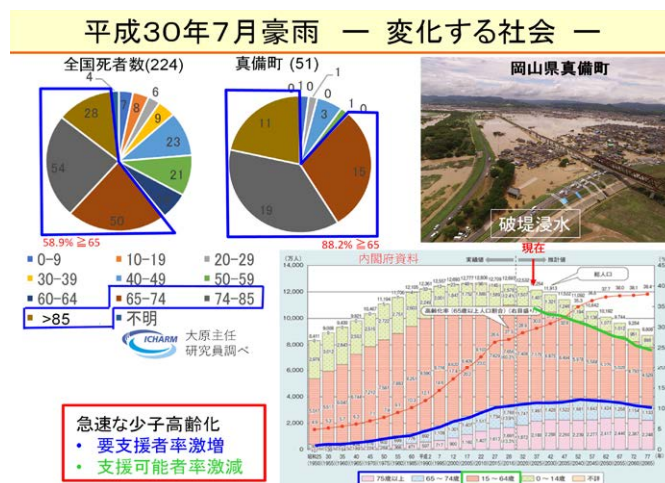


資料-9 平成30年7月豪雨の規模の雨が降る確率
(国土交通省資料)

もう1つ言いますと、主要な地域の河川災害はこれまで台風による影響が多かったのですが、今回、梅雨前線の影響が出てきました。地域がどれだけ豪雨を経験しているかに加え、外力の形態の変化が加わって、大きな被害がでました。

さらに、平成30年7月豪雨で亡くなった方内、65歳を超える高齢者の被害は、日本全体では約6割でした。これを小田川の破堤で被災した岡山県の倉敷市真備町で見ると、実に約9割が高齢者となります（資料-10の上段中）。

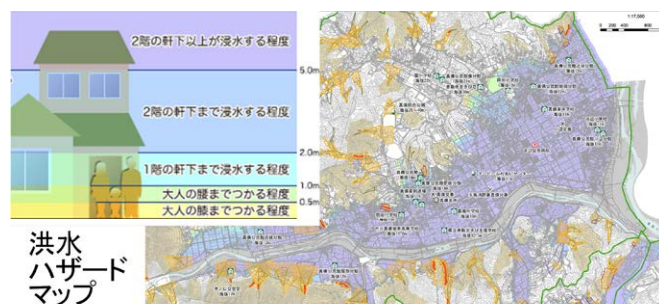
我が国では少子高齢化が進んでいます。つまり、助けが必要な高齢者の比率が増え、生産者人口といわれる15～64歳の比率が減る、要するに支援することのできる人の比率が減る社会を迎えています（資料-10の下段右）。この人口構成の変化に応じて、これからますます災害に対する日本の脆弱性は増していくことになります。



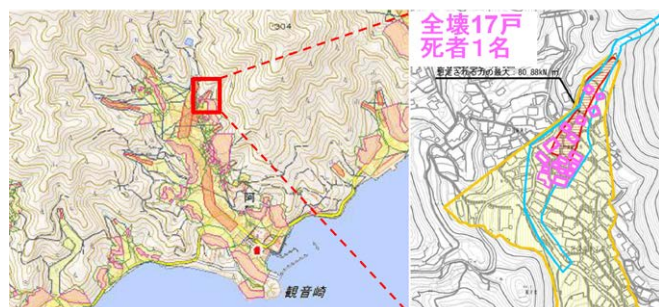
資料-10 急速な少子高齢化
(ICHARM 大原主任研究員調べ / 内閣府資料)



資料-11 平成30年7月豪雨における倉敷市真備町周辺浸水推定段彩図
(国土地理院資料)



資料-12 岡山県倉敷市のハザードマップ
(倉敷市資料)



資料-13 広島県呉市のレッドゾーンとイエローゾーン
(国土交通省資料)

情報提供されているが避難行動につながらないという課題

水害発生直後は飛行機を飛ばせなかったため、国土地理院がSNSの写真などいろいろな情報を集め、幾何補正してつくった浸水図が資料-11です。深い場所では浸水深が5mに達しています。

岡山県倉敷市が出しているハザードマップ（資料-12）では、ちょうど同じ地域を、2階の軒下以上が浸水する、すなわち5mの浸水の可能性があるとして示しています。調べてみると、多くの住民がこのハザードマップを見ていました。しかし、その知見は避難にはつながっていなかったという問題が指摘されています。

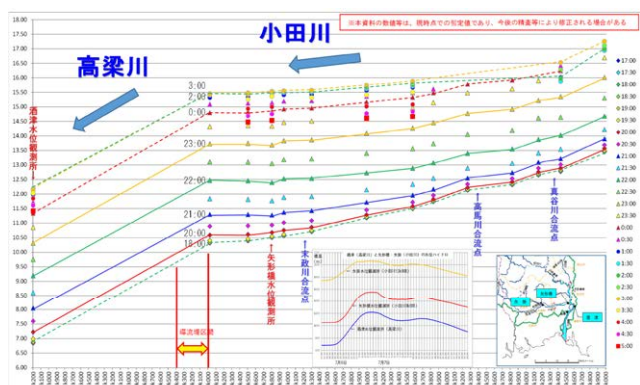
先ほど土砂災害防止法の話をしたましたが、資料-13は土石流で被害を受けた広島県呉市の事例です。特別警戒区域であるレッドゾーンと、警戒区域のイエローゾーンで17戸が全壊し、1人が亡くなっています。

このように情報は提供されていますし、住民もそれを見えています。しかし、それが本当に危険なものだという認識、あるいは避難という行動につながっていないことが大きな問題となっています。

大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会を設置

このような状況から、平成30年7月豪雨の後に、社会資本整備審議会河川分科会の中に「大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会」が設置されました。また、堤防決壊やダム操作、内水氾濫、土砂災害、情報提供に関する5つの検討会等も設置され、それぞれで協議された対策等も踏まえて小委員会の答申にまとめました。

資料-14は、検討会の1つである「高梁川水系小田川堤防調査委員会」による調査資料です。平成30年7月豪雨における高梁川と小田川の水位を示しています。高梁川（酒津水位観測所）の水位の上昇に伴い、小田川ではバックウォーターの影響を受け、高梁川合流点（矢形橋水位観測所）と上流側の水位差が縮小し、水面勾配が緩やかとなり、洪水が流れにくい状況になりました。この影響を受け、小田川の支川の末政川、高馬川、真谷川でも水位の高い状態となり、溢水が始まり破堤につながったと推定しています。



資料-14 小田川の水位変化（水面勾配）
（国土交通省資料）

そのため、1カ所で破堤しても、水位が高い状態は続いているので、破堤箇所の上流や対岸でも破堤しました。さらに堤防への水の浸透も増えました。答申の中でも使われた用語で言うと、「満身創痍」の状態、破堤が次々と起こりました。

これまででは、「片岸が決壊すると対岸は大丈夫だろう」と考えられていたのですが、そのような常識はもう通用しない経験を我々はしたわけです。

平成30年7月豪雨による土砂災害の検証結果

資料-15は、「実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会」による中間取りまとめ案で、砂防部が中心になり有識者と一緒に平成30年7月豪雨による土砂災害を検証したものです。

結果Ⅰは土砂災害警戒情報に関してです。先ほども述べましたように、人的被害のあった場所では全てにおいて土砂災害警戒情報が発表され、避難勧告も完全ではなかったが概ね出されました。しかしこれが認知されていない、あるいは切迫性が伝わっていませんでした。

結果Ⅱは土砂災害警戒区域について。土砂災害防止法の改正で、現在基礎調査は9割に達していますが、実際に指定されているのはまだ8割にとどまっています。

結果Ⅲは避難行動について。地域によっては共助によって避難が行われて、難を逃れた事例もあります。しかし、災害対策基本法の中で今、共助・自助を促す地区防災計画の策定が進められて

いますが、これが進んでいない地区がありました。地区によって進んでいるところとそうでないところ、進んでいてもそれが必ずしも周りに広がっていないという問題も出てきました。

結果Ⅳは被害の特徴です。土砂と洪水、所管でいえば砂防と河川という2つの現象が同時に起こって、これまで経験したことのないような水災害を引き起こすことが明示されています。

実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会の中間とりまとめ案

○ 平成30年7月豪雨による土砂災害の検証結果

結果Ⅰ 土砂災害警戒情報

- ① 人的被害のあった場所では、その箇所すべてにおいて土砂災害警戒情報が発表され、避難勧告も概ね発令されていたが、必ずしも認知されていない、もしくは切迫性が伝わらなかった。
- ② 発表から発災までの時間（リードタイム）が短い場合や長時間に及んだ場合は、避難勧告を発令できていない市町村があった。リードタイムが長かったケースでは、夜間での勧告を避け、自主避難を呼びかけた事例があった。

結果Ⅱ 土砂災害警戒区域

- ① 平成29年度末現在、基礎調査は約9割完了しているが、指定は約8割にとどまっている。
- ② 人的被害の約9割は、警戒避難体制の整備が義務づけられているイエローゾーン等内で発生しており、予め被害の恐れがある場所であることが公表されていた箇所であった。ただし、必ずしも土砂災害の恐れがあることが認識されていない場合もある。また、約1割はイエローゾーン外でも発生した。
- ③ イエローゾーン内でも、相当程度リスクの違いがあった。

結果Ⅲ 避難行動

- ① 避難しようとした際には、すでに避難場所には到達できない場合や、避難途中で被災したと思われる事例があった。
- ② 地域における共助により避難が行われ難を逃れた事例があった。ただし、災害対策基本法に基づく地区防災計画は作成していないかった。
- ③ また、人的被害があった箇所においても、地区防災計画を作成していないかった。
- ④ 先進的な取り組みを行っている地公体や、防災活動に熱心な地区がある一方、その取り組みが他の近隣の地公体等にも広がっていない。

結果Ⅳ 被害の特徴

- ① インフラライフラインの被害により、地域住民や経済活動に及ぼす影響が長期間に及んだ。
- ② 土砂・洪水災害により、下流の市街地に広範囲に土砂が堆積し、救助活動、復旧活動の妨げになったほか、地域の社会経済にも長期間影響を与えた。
- ③ 戦後もなく建設されたものをはじめと、古い石積砂防施設が被災した。

資料-15 平成30年7月豪雨による土砂災害の検証結果
（国土交通省資料）

効果的なダムの操作や有効活用を検討

「異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会」では、ダムの操作をどのようにすべきか、1つ1つ丁寧に議論され、その上で何がどの時間的なスケールでできるかが検討されました。

一般的に、ダムの操作や有効活用にはやはりまだ研究・技術開発の要素が残っています。その中でやれることを速やかに着手することが重要です。同検討会がまとめた資料-16では、速やかに着手して対応すべきこと（黄色）と、研究・技術開発等を進めつつ対応すべきこと（緑）が多くなっています。

論点	課題	主な取組内容(案)
Ⅰ 洪水貯留準備操作（事前放流）で、より多くの貯留を確保することはできないのか	＜洪水リスク＞ 水位低下による貯留容量が回復しなかった場合の洪水被害リスク 貯留容量の事前合意 ＜ダムの機能＞ 洪水貯留準備操作の位置、放流能力 水位低下速度等の制約	洪水貯留準備操作（事前放流）の充実 洪水貯留準備操作（事前放流）の強化に向けた降雨量やダム流入量（数日前）の予測精度向上 洪水貯留準備操作（事前放流）を充実させるためのダムの推進
Ⅱ 異常洪水時防災操作に移行する前の基盤的防災操作（洪水調節）の検証で、より多く放流することはできないのか	＜下流河川＞ 下流河川の放流能力不足によるダム下流 （放流量）の制約 ＜ダムの機能＞ 貯留容量の事前合意 貯留容量の事前合意	洪水調節機能を確保するためのダム下流の河川改修の推進 洪水調節機能を強化するためのダム再生の推進
Ⅲ 気象予測に基づき、防災操作（洪水調節）を行うことはできないのか 気象予測と、貯留容量の事前合意を連携させることはできないのか 気象予測に基づき、貯留容量の事前合意を連携させることはできないのか	降雨量予測・ダム流入予測（数時間前）の精度 リスクに関する地域の認識共有 気象予測に基づき、貯留容量の事前合意を連携させることはできないのか	防災操作（洪水調節）強化に向けた降雨量やダム流入量（数時間前）の予測精度向上 気象予測に基づき、貯留容量の事前合意を連携させることはできないのか
Ⅳ 洪水調節容量を増やすことはできないのか	ダムの貯留容量、形状、地形、地質条件 ダムの目的別の貯留容量配分	ダムの容量を確保するための土砂対策 洪水貯留準備操作（事前放流）による洪水調節機能の強化（再掲） 洪水調節機能を強化するためのダム再生の推進（再掲）
※全体に関連		ダムの操作規則の点検 ダム下流河川の改修やダム再生等により可能な操作規則の変更 ダムの洪水調節機能を強化するための技術の開発・導入 気象予測による将来の外力の増大への対応

※第2回「異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会」資料より

資料-16 より効果的なダムの操作やダムの有効活用
（国土交通省資料）

一方で、情報提供や住民周知はすぐにできることがたくさんあります。資料-17をご覧ください。直ちに対応すべきこと（ピンク）が多い。これらをすぐにやっていきます。実は今年（2019年）の梅雨前線豪雨においても、ダムの情報がいろいろな形で出されています。これは、こうした検討を踏まえた上で進められているわけです。

※凡例：直ちに対応すべきこと（ピンク）、速やかに着手して対応すべきこと（黄色）、研究・技術開発等を進めつつ対応すべきこと（緑）

論点	課題	主な取組内容（案）
V 平常時の情報提供	平常時の防災情報の充実	ダム下流の河川における浸水想定図等の作成 ダム下流域における浸水想定図に基づく市街地における想定浸水深の表示
	ダムの機能や操作（異常洪水時防災操作を含む）の説明の充実	ダムの操作に関する情報提供等に関する住民への説明 ダムの操作に関する情報提供等に関する住民説明の定例化
	災害時の適切な行動につなげるための防災情報の活用	ダムの洪水調節機能を踏まえた住民参加型訓練の創設 発生時に地域の住民にとって有用となる防災情報ツールの共有
	緊急性や切迫感が伝わる情報提供 ダム貯水状況の提供	洪水時のダムの貯水状況の伝達手段の充実 異常洪水時防災操作へ移行する際の放流調整の内容や手法の変更 住民が危機レベルを直感できるようなユニバーサルデザイン化された防災情報の提供
VI 被災時の住民への情報提供 ～伝えるから伝わる～	情報伝達範囲や手段の充実	放流調整設備等の改良 放流調整設備等の施設の耐水化 電力供給停止時におけるダム操作に必要な電源等の確保 大規模災害減災協議会へのダム管理者の参画 避難勧告等の発令判断を支援するためのトップセミナーの開催
	市町村が避難指示等の発令を判断するために必要となる情報（その意味）と伝達するタイミング	避難勧告等の発令判断を支援するためのトップセミナーの開催 避難勧告等の発令判断を支援するための連絡体制強化 ダムの洪水調節機能を踏まえた避難勧告着目型タイムラインの整備 ダムの洪水調節機能を踏まえた避難勧告着目型タイムラインの充実

※第2回「異常豪雨の頻発に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会」資料より

資料-17 より有効な情報提供や住民周知
（国土交通省資料）

定量的なマッピングで治水政策のあるべき姿が見えてくる

資料-18は「都市浸水対策に関する検討会」によってまとめられた「浸水リスクを踏まえた課題の再整理」です。浸水リスクを16のカテゴリに分類したもので、私は大変感動しました。横軸はハザード（災害の規模）のリスクです。右側は、河川の計画高水位よりも実際のピーク水位（観測値）が大きい場合。左側は想定内の場合。さらに、1時間最大降雨が計画降雨を上回るか否かを区分しています。縦軸は土地の浸水しやすいリスク。下水道の整備の有無と、自然排水区、ポンプ排水区で区分しています。

平成30年7月豪雨では、当然のことながら、これまでにないようなハザードが起きて対策も進んでいないカテゴリ（赤枠と青枠が重なるX3、X4、Y3、Y4）が一番大きな被害を受けました。浸水被害を受けた15,000戸のうち、8割程度を占めます。カテゴリを赤枠のX1、X2、Y1、Y2まで広げますと9割を超えます。

一方で、整備は進んでいるのに、計画よりも大きい災害が起こって、被害を受けた家屋もあります。これは集中的に強い雨が降ったりしたことや、河川と堤内地との関係などで起きています。そうしたリスクも合わせて対策をとっていかなければいけないことを示唆しています。

このような、いわゆるマッピングを定量的に行うと、治水政策のあるべき姿がかなり明確に見えてきます。私もなるほどと思ったのですが、下水道部は市町村との連携をうまく生かした資料をつくれ、議論が進みました。



資料-18 浸水リスクを踏まえた課題の再整理
（国土交通省資料）

複合的な災害にも多層的に備える 急対策を答申

先の2つの「水防災意識社会の再構築」の答申では、小委員会での議論で「住民目線」というキーワードが使われました。今回の、「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」の答申では、「住民が主体的に」と深化させています。

住民が主体的に動くためには、いろいろな情報を提供する機関と連携して進めなくてはなりません。例えば、河川事務所の所長が気象の専門家や気象庁の部署と連携し、洪水氾濫の危険性があるとのメッセージを、テレビを通じて伝えることも必要です。また、SNSなどのネットワークを使った情報の伝達方法もあります。「住民自らの行動に結びつく水害・土砂災害ハザード・リスク情報共有プロジェクト」においては、民間企業にも参加いただいて協議して頂きました。

それらをまとめて、複合的な災害にも多層的に備える緊急対策として、先ほど述べました住民主体のソフト対策、避難確保のハード対策、事前防災のハード対策という3つの柱で答申がまとまり、2018年12月に大臣にお渡ししました（資料-19）。



資料-19 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）
～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～
（国土交通省資料）

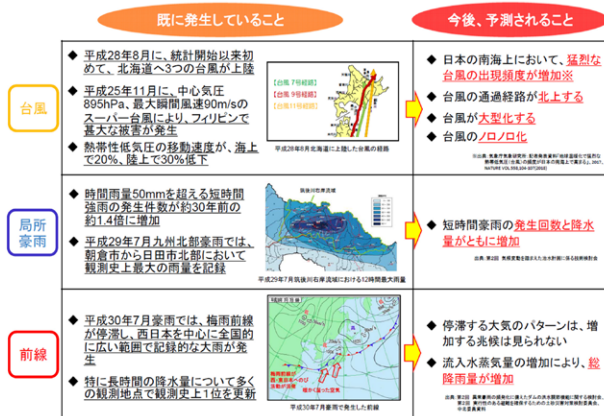
気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会を開始

この答申のとおりまとめよりも前に、気候変動を考慮した考え方を施設計画にもしっかり入れなくてはならないと、2018年4月から別の検討会が始まっています。「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」です。

2015年の「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」の発表以降はソフトに重点的に充実させてきましたが、施設計画に反映する方法を2018年4月から議論をし、非常に急ピッチで進めて、内部では6月末に概ねのとりまとめをしたのですが、その1週間後に平成30年7月豪雨（西日本水害）が起きてしまいました。今まで考えていないようなことも起きたので、それを含めた上で現在取りまとめを行っています。

この検討会で、どういうことを考えているかをお話します（資料-20）。

顕在化しつつある気候変動の影響（現象の変化）



資料-20 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会（国土交通省資料）

実際に発生している気候の変化があります。台風が北海道に3つも上陸したり、短時間の局所的な豪雨が増えたり、九州北部豪雨のように線状降水帯に伴って豪雨が発生したり、平成30年7月豪雨のように長く停滞する前線に非常に強い水蒸気収束が起こったりしています。

豪雨をもたらす大気のパターンが気候の変化に伴って増えているかという点、その兆候は見られていません。ただそれに伴って集まる水蒸気の総量は海面温度の上昇によって増えていることから、降雨の変化が今後も予想されると考えられます。このように考えると、これまでは観測されたデータで治水計画を立てていましたが、それだけではもう間に合いません。

一方、近年、科学的な知見がずいぶん集積しました。2007年、IPCC（気候の変動に関する政府間部会）はノーベル平和賞を受賞しました。20年近い科学技術の積み重ねで4回の評価報告書が出され科学コミュニティが気候の変化に対して科学

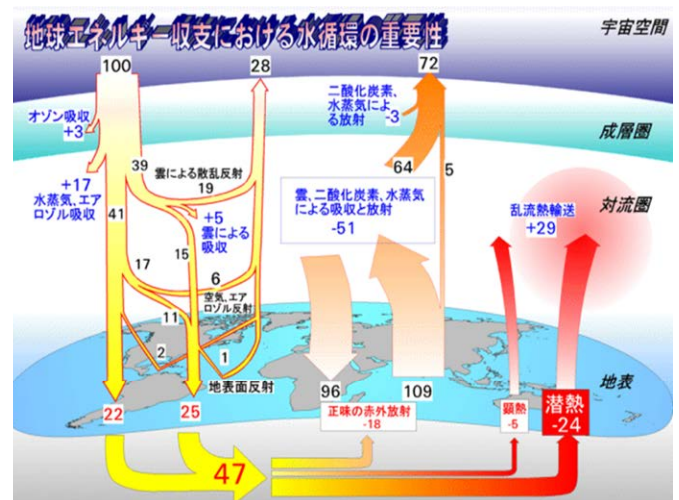
的な理解あるいは予測をより明確に持ち、それを社会に発信したことを功績として、賞をいただいたわけです。このように、科学的な知見集積を踏えた上で治水計画のあり方を見直すことが、この検討会の課題です。

太陽から来るエネルギーと放射の関係

では、気候は変化しているのか。強い台風の出現頻度の増加や大型化、移動速度の低下、局所豪雨の増加、前線に収束する水蒸気量の増大など、さまざまな気候変動の影響が顕在化しつつあります。ここでは局所豪雨に焦点を当ててお話ししたいと思います。

気候が変化すると局所的な豪雨が増えるのでしょうか。そう尋ねると、多くの方が「はい」と答えると思います。ではなぜかと言われると、いろいろな現象があるのですが、その中の1つを紹介します。そのために、まず気候とは何か、一緒に考えていきたいと思います。

資料-21は地球の気候システムをつくっている太陽から来るエネルギー（太陽放射）が、地球の大気と地表面の間でどのように分配され、伝わっていくか、そしてまた宇宙空間に戻っていくかを模式的にあらわしたものです。

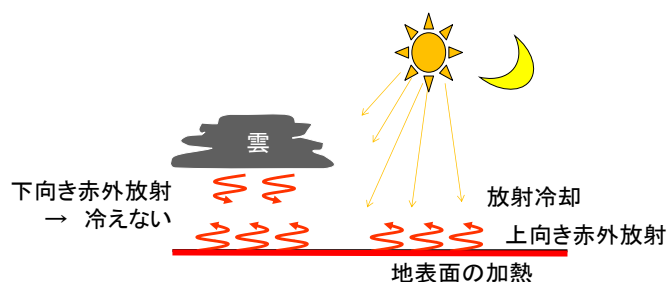


資料-21 地球エネルギー収支における水循環の重要性

限られた時間なので、今日は少し省略して説明します。100のエネルギーのうち50程度が地表面に届き、そのうち47が海洋や陸域に吸収されます。吸収されたままだと地表面はフライパンのように熱くなるので、熱は地表から出ていくわけですが、その出方には、赤外放射、顕熱、潜熱の3通りがあります。

赤外放射については、まず資料-22をご覧ください。

物質は表面温度の4乗に比例して放射エネルギーを出している



資料-22 放射冷却

冬の朝、晴れていると寒いんですよね。それでわかることがあります。昼間は太陽が照りつけているので地表面が加熱されます。加熱されると、物質は表面温度の4乗に比例して、赤外放射エネルギーを出します。これによって昼間はある種バランスをとるわけです。しかし夜になると、入ってくるエネルギーがありませんから、赤外放射で地表面は冷却されます。暖まったものがずっと放射で減っていくわけです。ただし、雲があると、雲の底もある程度の温度があり下向きの赤外放射があるので、この分が加わり、冷えにくくなります。つまり、冬の朝、晴れていると寒いのは、雲の底からの下向きの赤外放射がないからです。曇っているとそう寒くならない。こういうことが日々地球上で起こっているわけです。

資料-21に戻ります。地表面に吸収された47のエネルギーのうち、赤外放射で出るのが18。地表面から大気に再放射される赤外放射は109+5、逆に大気中から地表面へ再放射される赤外線は96で、差し引き18が正味の赤外線放射となります。残りは、顕熱が5、潜熱が24です。

例えば、朝、すごく熱い、たぎったような味噌汁が出てきたら、皆さんはフーッと吹きますね。アジアではこの話が通じますが、ヨーロッパやアメリカへ行くと、そんな行儀の悪いことはしないと云われますが。フーッと吹くと空気が渦を巻きます。すると、熱い味噌汁の表面に近いところで暖まった空気が、渦によって上に上がる。すると、上の比較的温度の低い空気が下がってきて、熱い味噌汁の表面で暖められてまたその熱を奪う。風が吹くことによって乱流が生じて熱が動く。これを顕熱と呼びます。こうした仕組みによって、地表付近に暖かい空気ができるわけです。

顕熱が、物質の状態を変えずに、温度を変化させるために費やされるエネルギーを指すのに対し、潜熱は、物質の状態が変化するとき、温度変化を伴わずに吸収または放出されるエネルギーを指します。

夏の暑いときに打ち水をすると冷える。これは、液体の水が水蒸気になるときに潜熱を奪うから冷えるわけです。このように液体の水が水蒸気になることで、地表付近に湿った空気ができます。

湿った空気と乾いた空気、どちらが重いか

私がこの話をするときは、会場の人に必ず質問をさせていただいています。今日の参加者は約500人ですので、何人が正解されるか。

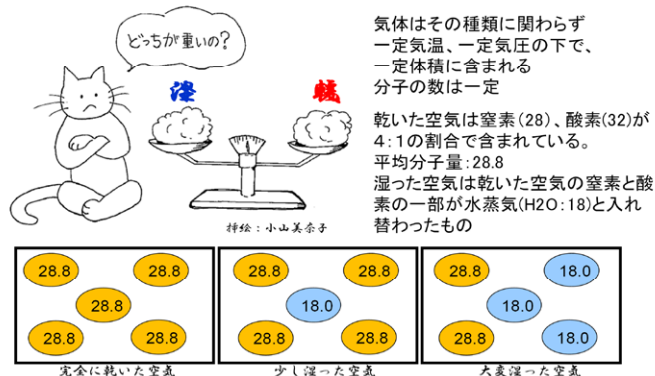
2つ質問します。1つ目は、冷たい空気と暖かい空気、どちらが重いか。重い方ですよ。冷たい空気が重いと思う人、手を挙げてください。暖かい空気が重いと思う人。はい、ほとんどの人が正解ですね。今98%ぐらいだと思います。

では次、湿った空気と乾いた空気、どちらが重いか。湿った空気が重いと思う人、手を挙げてください。乾いた空気が重いと思う人、手を挙げてください。10人ほどでした。約500人のうちの10人ですから2%ですね。98%の人は間違えておられました。

気体は種類にかかわらず、温度、気圧、体積が一定だと、そこに含まれている分子の数が一定です。高校の化学でアボガドロ数を習った人もいると思います。乾いた空気は窒素と酸素が4対1なので重さ（平均分子量）が28.8です。これに対し湿った空気は、乾いた空気の窒素と酸素の一部が水蒸気に入れ替わったものです。水蒸気はH₂Oですから、重さは18です。

資料-23 下段の左図のように完全に乾いた空気は酸素と窒素だけでできていますが、少し湿った空気は真ん中の図のように例えば空気分子が一つ水蒸気と入れ替わり、大変湿った空気は右図のようにそれが3つに増えるわけです。一定体積、一定気温、一定気圧の中に含まれる分子の数は一定なので、資料-23の下段のような図になります。そうすると、湿った空気と乾いた空気、どちらが重いか。乾いた空気が重いのです。

暖かい空気と冷たい空気、乾いた空気と湿った空気



資料-23 暖かい空気と冷たい空気、乾いた空気と湿った空気

湿った空気が重かったら、皆さん絶対海水浴には行かないですね。海水浴へ行くと、水蒸気だらけですから、どよーんとした中で何が気持ちいいか。蒸発した湿った空気は軽いのでどんどん上空にいきますから、海へ行くととても爽やかに感じます

ね。これが日々起こっているわけです。

ですから、暖かい空気は軽いので上に上がって大気を暖める。湿った空気も軽いので上に上がる。上は空気が冷たいので、水蒸気は気体でいられなくなって水滴である雲になります。そのとき熱を出します。水滴になった雲がぶつかり合って大きな水滴になると、雨粒となって落ちてきます。

気候と水は密接な関わりがある

もう一度、資料-21に戻ります。水の循環のプロセスにおいて、地球表面が受ける47のうちの半分以上が水蒸気になって大気に行き、そして凝結して雨となって落ちる。この鉛直のプロセスによって地表からの熱が運ばれ大気を暖めるのに使われています。このようにして気候がつくられています。

ですから、気候が変化すると水の循環は変わるし、水の循環が変われば気候の変化も起こります。

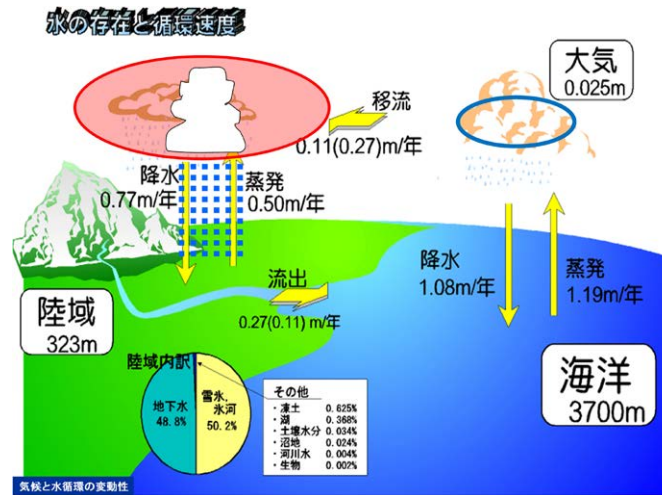
鉛直プロセスだけで見るとそうなりますが、実は地球は非常に見事にできています。陸が3分の1、海が3分の2ですが、海は入ってくるエネルギーの大半、9割以上を吸収します。陸が吸収できるのは7割ぐらいで、3割は反射します。したがって、鉛直プロセスだけなら、陸の方の上の空気は冷たくなるはずですが、吸収できるのは陸が7割、海が9割ですから、7対9の割合で陸の方が使えるエネルギーが小さいからです。海はもうエネルギーが大きいので、海の上の空気は暖かくなります。そうすると、陸と海で温度差が非常に大きくなるはずですが、しかし、実際にはそうはなっておりません。そのメカニズムをご説明しましょう。

資料-24をご欄下さい。海の上では蒸発の方が多くて、降る雨の方が少ないのです。したがって、海の上の空気は水蒸気がどんどんたまってきます。

海は地球温暖化による海面上昇どころの話ではなくて、毎年11cm下がってしまうのです。現在、温暖化による海面上昇は年間3mm程度ですから、オーダーが違う速度で下がっていきます。これだけなら海面上昇など何の影響もないわけです。

ところが、陸は逆に、降る雨の方が多くて蒸発の方が少ない。そうすると、陸は水びたしになるはずですが、ところが、水は重力の影響を受けて高いところから低いところへ流れていき、ついには海に流れ込み、この11cmの差分を補っているわけです。

湿った空気は風で陸に運ばれて陸の上で凝結しますので、陸の上の空気を暖めます。鉛直プロセスだけでは、陸の上の大気は冷たくなりますが、この影響で暖まります。このようにして地球の気候ができてあがっているわけです。したがって、気候と水がいかに密接に関係しているかを、おわかりいただけるかと思ひます。



資料-24 気候と水循環の変動性

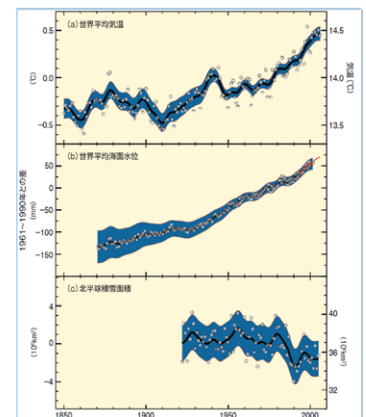
気候システムの温暖化は疑う余地がない

では、気候は変化しているのか。2007年IPCCの第4次評価報告で我々は、気候は変化しているのか、それは何が原因か、明確な答えを出しました。そのときに使った言葉が、英語で「unequivocal」。これを日本語にどう訳したらよいか、喧々諤々の議論の末、「疑う余地がない」が公式の訳になりました。2007年の報告書では、平均気温、海面の水位上昇、北半球の雪の面積の減り方、いずれをとっても、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」と判断しました。

IPCCは3つのワーキンググループがあり、第1作業部会がサイエンスの取りまとめを行います。私自身は第1作業部会に属し、レビューエディターという取りまとめの役をさせていただきました。この部会で「気候システムの温暖化には疑う余地がない」と結論付け、身が震える思いをしたことを記憶しております(資料-25)。

気候システムの温暖化には疑う余地がない。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第4次評価報告書統合報告書, 2007



資料-25 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書統合報告書, 2007

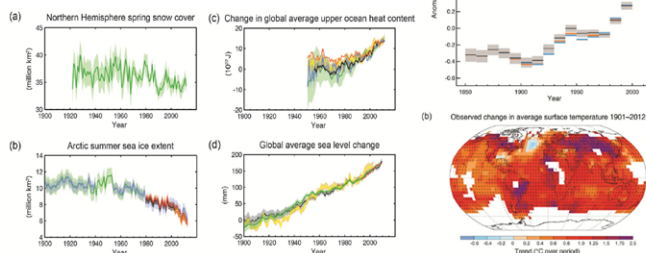
さらに2013年の第5次評価報告の第1作業部会の報告では、気温や海面上昇以外に北極の氷が溶けていく、海洋の表層、数

10m～100m 程度の混合層の温度が上がっている等の話も加え、2007 年と全く同じ表現が使われました（資料-26）。

要するに、この 6 年間の科学的な知見を加えても、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」と、研究者の確信度は変わらなかったわけです。

気候システムの温暖化には 疑う余地がない。

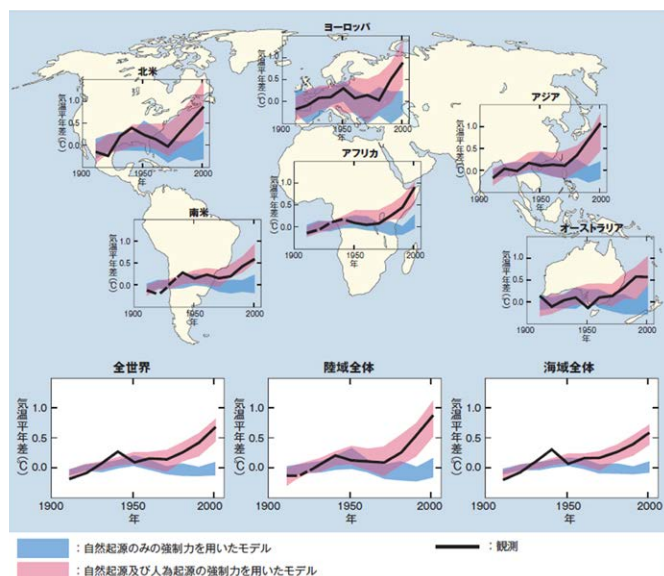
気候変動に関する政府間パネル(IPCC)
第5次評価報告書統合報告書,2013



資料-26 気候変動に関する政府間パネル (IPCC)
第 5 次評価報告書統合報告書,2013

地球の温暖化は人間が温室効果ガスを出したため

「では何が原因か」、です。2007 年にどのような根拠でこの原因を考えたか。1910 年から 2000 年まで地球の温暖化の歴史が資料-27 です。



資料-27 各地の気温変動の予測と観測値 (IPCC、2007)

世界の 14 の気候モデルにそれぞれの年に観測された温室効果ガスの濃度を入れて、自然起源と人為起源の両方の強制力による気温の変動を計算した結果を示したのが、グラフのピンク

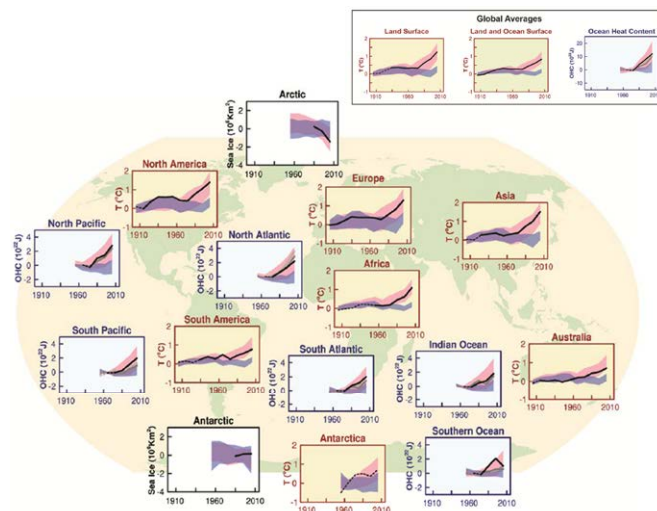
色の部分です。さらに 5 つの気候モデルにご協力いただき、1910 年の温室効果ガス濃度のままであればどうなっていたか、ほかは全部同じで計算した結果が青です。これは、自然起源のみの強制力による気温の変動を示しています。そして黒が実際の観測値です。

この比較は、CMIP という国際協力プロジェクト（大気海洋結合モデルの Inter comparison〈相対比較〉）の成果です。これにより、20 世紀半ば以降に観測された地球の温暖化は、人間が温室効果ガスを出したことによる可能性が「非常に高い」と表現しています。「非常に高い」とは、予測と実際の観測値の一致度が 90%以上ということです。

ここまですが 2007 年の成果で、2013 年はどうなったか。地球の温暖化は人間が温室効果ガスを出したことによる可能性が「極めて高い」となりました。気温だけでなく、海洋の混合層の温度上昇や北極の氷の減少等も加えた結果、可能性が「極めて高い」。「非常に高い」と「極めて高い」は何が違うかというと、「極めて高い」は予測と実際の観測値の一致度が 95%以上です。

これらを科学的な根拠として、地球の温暖化は人間が温室効果ガスを出したことによるものとされました（資料-28）。

これが 2013 年に第 1 作業部会の報告としてまとめ、2014 年に統合報告が出されました。2015 年 12 月にパリで COP が開かれてパリ協定が結ばれましたが、この合意に、この科学技術の知見の集積が貢献していることは明確です。人間が温室効果ガスを出すことによって、気候は変化しているのです。



資料-28 各地の気温変動の予測と観測値 (IPCC、2013)

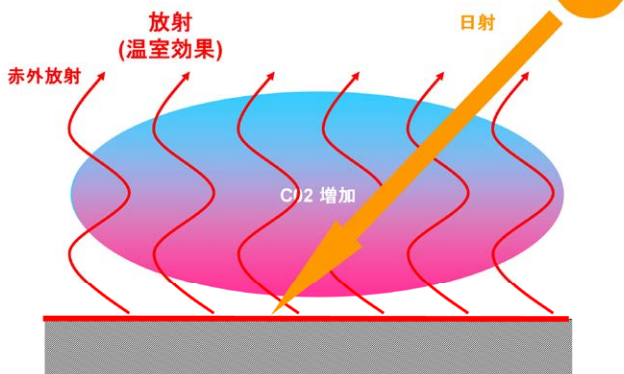
放射と対流が平衡することで 局所的な大雨が起こる

それでは、我々の課題である、局所的な大雨はなぜ増えるのか。日本のアメダスや諸外国の観測データなどいろいろな観測からその傾向がわかってきています。それらの観測データとこれまでお話ししてきた内容をもとに考えてみましょう。

太陽からの日射で地表面が暖められ、その結果、上向きに赤外放射をします。大気中の温室効果ガス濃度が増えると、赤外放射を吸収して大気が暖まります。当然ながら、温室効果ガス濃度の高い地表面付近の大気の下層が暖まります。大気の下層の温度が上がると、温度の4乗に比例して下向きの放射が増えます。

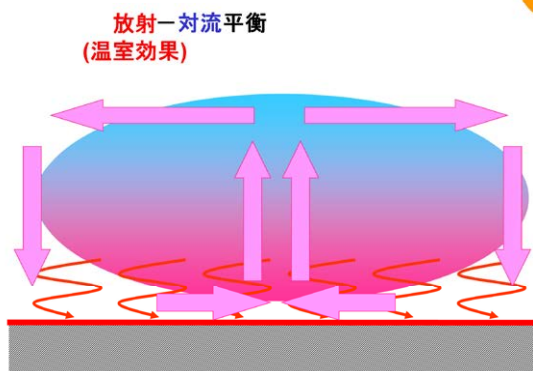
資料-29aをご覧ください。地表の温度が上がると放射が増えます。そうすると、地表面がより加熱され、暖かい空気ができやすくなり、蒸発によって湿った空気がよりできやすくなります。暖かく湿った空気は軽いので上昇します。上昇すると、資料-29bのように下層の空気が少なくなりますから、周りから補います。それによって対流が加速されます。要するに放射のプロセスと対流の効果、これが相互に働いて大気全体が温暖化する。放射と対流が平衡する状態です。

気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)



資料-29a 気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)

気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)



資料-29b 気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)

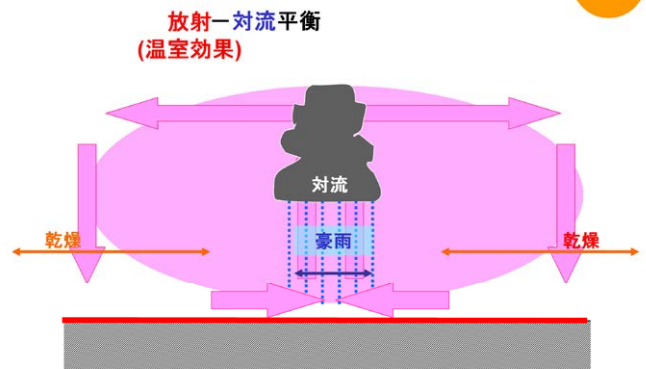
実はこの理論は、1960年代に真鍋淑郎先生がプリンストン大学在職時に論文に書かれました。IPCCはノーベル平和賞をもらいましたが、もしも個人でノーベル平和賞をもらったら、真鍋先生だろうと私は思います。これが温暖化の原理です。

このプロセスを入れないで気候変化の予測をすると、地表面

は暖まり過ぎて大気の上層は暖まらない。それは観測値とずれるという結果が出ています。これを補正するために放射対流平衡という理論が必要だったわけです。

これが起きると湿った空気が狭いところで急激に上昇するので、資料-29cのように狭いところで豪雨になります。雨が降ると水蒸気はなくなって乾燥した空気が気圧の低いところから気圧の高いところへおりてくるので、温度が上がります。ですから、より乾燥が進みます。このようなサイクルによって、豪雨が増えることを示すことができます。

気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)



資料-29c 気候と水循環の変動(温室効果が水循環に与える影響)

気候の変動により短時間豪雨の降水量が増える

IPCCの第4次評価報告が2007年、第5次が2013年、その間に2011年に特別報告が出ています。これらの報告書の、大雨の頻度、強度、降水量の増加に関する記載をみてみます(資料-30)。

現象及び変化傾向	変化発生の評価 (特に断らない限り1950年以降)	2007	2011	2013
		将来変化の可能性 21世紀末		
ほとんどの陸域で 寒い日や寒い夜の 頻度の減少や昇温	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が非常に高い	{2.6}	ほぼ確実 ほぼ確実 ほぼ確実	{12.4}
ほとんどの陸域で 暑い日や暑い夜の 頻度の増加や昇温	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が非常に高い	{2.6}	ほぼ確実 ほぼ確実 ほぼ確実	{12.4}
ほとんどの陸域で 継続的な高温/熱波の 頻度や持続期間の増加	世界規模で確信度が中程度 ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で可能性が高い 多くの(すべてではない)地域で確信度が中程度 可能性が高い	{2.6}	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が非常に高い	{12.4}
大雨の頻度、強度、 大雨の降水量の増加	減少している陸域より増加している陸域のほうが多い可能性が高い 減少している陸域より増加している陸域のほうが多い可能性が高い ほとんどの陸域で可能性が高い	{2.6}	中緯度の大陸のほとんどと湿潤な熱帯域で可能性が非常に高い 多くの地域で可能性が高い	{12.4}
干ばつの強度や 持続期間の増加	世界規模で確信度が低い いくつかの地域で変化したが可能性が高い いくつかの地域で確信度が低い 1970年以降多くの地域で可能性が高い 長期(百年規模)変化の確信度が低い	{2.6}	地域規模から世界規模で可能性が高い 確信度は中程度 いくつかの地域で確信度が中程度 可能性が高い 北西太平洋と北大西洋でどちらかと書えば	{12.4}
強い熱帯低気圧の 活動度の増加	1970年以降いくつかの地域で可能性が高い 可能性が高い(1970年以降) 可能性が高い(20世紀後半) 可能性が高い	{2.6}	北西太平洋と北大西洋でどちらかと書えば いくつかの海域でどちらかと書えば 可能性が高い	{14.6}
極端に高い単位 の発生や高さの増加	可能性が高い(1970年以降) 可能性が高い(20世紀後半) 可能性が高い	{3.7}	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が高い	{13.7}

資料-30 気候と極端事象変動
(IPCC4次(赤字)・特別(青字)・5次(黒字)報告)

将来変化の可能性が、2007年では「ほとんどの陸域で可能性が非常に高い」、2011年では「多くの地域で可能性が高い」、2013年では「中緯度の大陸のほとんどと湿潤な熱帯域

で可能性が非常に高い」とあります。このように、局所的な強い雨の発生が増加していることへの知見が集積し、確度が上がってきています。これらのことから我々は、強い雨が增えているとわかります。

「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」の資料では、「将来気候ほど短時間豪雨の降雨量が増加する」としています（資料-31）。

この検討会ではまた、北海道大学の山田朋人准教授が、スーパーコンピュータを使い、モデルが持っている不確定性をいろいろな現象を入れて計算するアンサンブル予測という結果に雨の詳細な分布を計算できるダウンスケーリング法を適用して計算しました。資料-31はその結果をまとめたもので、縦軸が面積で横軸が時間です。時間が短くなればなるほど、面積が小さくなればなるほど、豪雨の増加倍率が増えます。左は北海道の事例で、右は九州の事例です。

短時間豪雨の降雨量が増加

○対象面積が小さくなるほど、また対象時間が短くなるほど、累積降雨量の比は大きくなる。
○つまり、将来気候ほど短時間豪雨による降雨量が増加する。

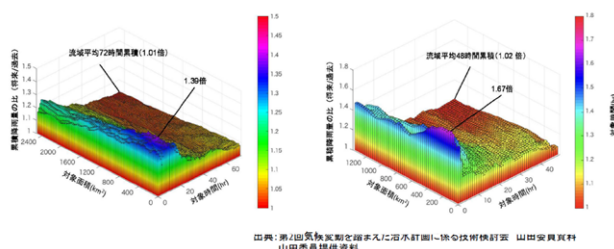
計画規模の降雨イベントにおける累積降雨量の比較

十勝川帯広基準地点集水域(200~250mmのみ)

・過去実験(DS後71事例の中央値)、
4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)を使用

筑後川荒瀬基準地点集水域(350~400mmのみ)

・過去実験(DS後47事例の中央値)、
4℃上昇実験(DS後272事例の中央値)を使用



出典：第2回気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会 山田委員提供資料

資料-31 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会
(国土交通省資料)

ここで山田准教授と、なぜだろうと議論している点があります。今の理論でいくと、積雲の大きさは大体10kmなので、対象面積が100平方kmぐらいまでは降雨量も多くなるはずですが、しかし、400平方km、つまり20km×20kmのあたりからぐっと下がっています。これはなぜか。例えば九州北部豪雨のときは線状降水帯ができました。1つの積雲がもたらす豪雨ではなくて、積雲ができて豪雨が降ると、雨滴が下降中に蒸発して、冷たい空気ができて、それが下層で上昇する湿潤な空気とぶつかって次の対流をつくります。それによって積雲がどんどん線状に発達して豪雨になり、そうするとかなり大きなスケールで強い雨が降ることになります。もしかしたらそういうメカニズムが働いているのかもしれない、というのが現在の作業仮説です。このような情報が、我々が目に見える形で出てくるようになってきているので、これをいかに治水計画に入れていくかが大きな鍵になります。

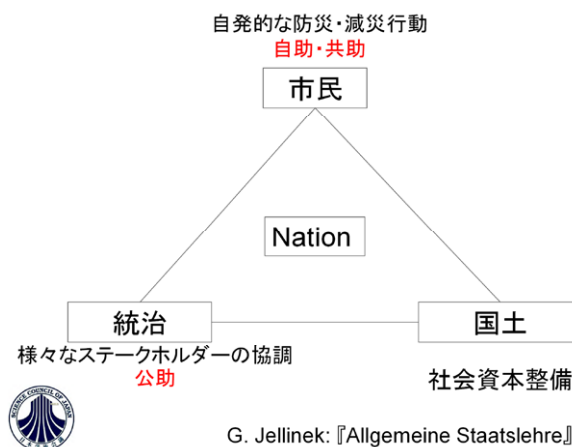
したがって、気候が変化すると大雨は増えます。科学的な考察は私たちが毎年のように経験していることと一致しており、

その結果甚大な災害が生じております。では、どうしたらいいのだろうかということになります。

災害リスクを減らし、より安全なレベルへの復興を

我々はどう考えていくか。ここで日本学術会議が登場します。国家(Nation)はどのようにして成り立っているかという、Land and Sea(陸地と海)、つまり国土、それから統治機能、さらにそこに住む人々の3つで構成されています(資料-32)。

国土に関しては、我々は社会資本整備に取り組んでおります。統治については、例えば中央防災会議や、先ほど申し上げた大規模氾濫減災協議会のように、さまざまな関係する主体、ステークホルダーが協調して取り組む体制をつくり、公助を強化してきました。ここに市民という視点から、もう1つが必要です。自発的な防災減災行動、災害対策基本法という地区防災計画に相当するもの、自助・共助を強化していかなければいけません。



G. Jellinek: 『Allgemeine Staatslehre』, 1900

資料-32 国家の成り立ち
(G. Jellinek: 『Allgemeine Staatslehre』, 1900)

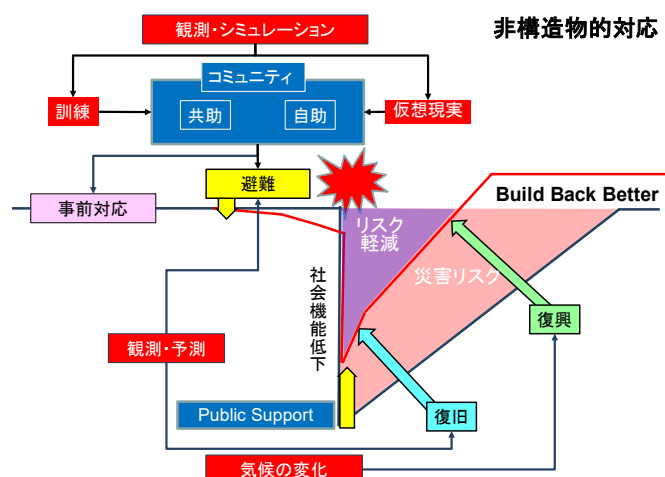
それを構造的にどのように考えたらよいかを資料-33に示しました。

平時の状態から発災すると社会の機能が低下します。そこから復旧・復興を経て元に戻るわけです。資料-33のピンク色と紫色の面積全体が災害のリスクとなります。この災害リスクを減らすことが必要です。

どうしたら減るか。まずソフト対策として避難をします。避難すると、実は不便になります。避難生活は不便ですから、少しのロスがあります。したがって赤線はやや低下します。けれど、避難すると社会機能の低下はある程度のところで止められますので、赤い線の下がり方は抑えられます。そこに復旧を素早く行う。そして将来のことを考えて復興に力を入れます。昔は「原状復帰」と当時の大蔵省も言っていたわけですが、「仙台防災枠組2015-2030」で挙げられたように、「原状復帰」ではなく、より安全なレベルに復興していくことを考えるようになりました。こうした考え方で、災害リスクを減らすことを進める必要があります。

公助としてはどうということが考えられるか。観測や予測で避難、復旧を助ける、あるいは復興の際に気候の変化の情報を入れて長期的な計画を支援する。

自助・共助ではどうか。被災した人たちのインタビューを聞くと、「こんなことが自分のところで起こるとは思わなかった」と皆さんおっしゃいます。今はいろいろな仮想現実を伝える手段がありますので、それらを使ったり、トレーニングによってコミュニティの自助・共助力を上げて避難できるようにする。あるいは、ハザードマップを活用して、事前の対応も考えてもらうことが必要だと思います。



資料-33 水災害リスク軽減の枠組み→水防災意識社会

実際に行動するまでの心理プロセス

こうしたソフトの枠組みを踏まえて、水防災意識社会の再構築に向けた政策をこれまでつくってきましたが、これをどう社会の中で実現するか。昔、植木等の「スーダラ節」という歌が流行りました。本当にふざけた歌詞ですが、これは人間の心理行動を非常によくあらわしています。植木等さんは大変真面目な人で、ご実家は真宗のお寺です。お父さんはご住職ですが、植木等はお父さんに「さすがにこんな歌は歌えない」と話したそうです。するとお父さんは、「いや、これは人間の心理だ、だからきっと流行る」と言って、それで「スーダラ節」を歌ったという逸話があります。

わかっているけれども、実際に行動にあらわせないというプロセス。知っているとところから行動に移るところまでにはいろいろな心の段階があります（資料-34）。

「知識」があり、「関心」を持ち、関わりたいと思い「動機」、行動しようと思う「行動意図」、そして何かあったら具体的に「行動」できるようになる。こういう5つの心理段階を私自身は想定しています。

「知識」から「行動」の段階に進むプロセスには、「危機感」や「責任感」、「有効感」、実際にやったらできる「実行可能性」、

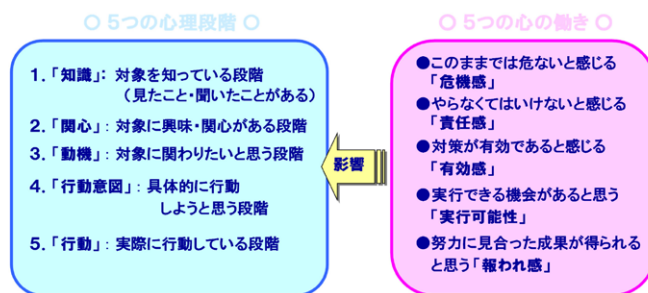
やっただけの価値はある「報われ感」という5つの心の動きがあります。あと1つ、ここには書いていないのですが、お天道さまは見ている、という社会的規範といわれるものがあり、こういうプロセスを進むと行動心理学では考えられています。

心理プロセス調査

「わかっちゃいるけどやめられない」

流域のみなさんの川に対する知識・関心・行動の積極性と、その原因は...?

心理プロセス調査では、以下のような「5つの心理段階」と「5つの心の動き」があると想定して、分析します。



資料-34 心理プロセス調査

関心も動機も行動意図もある、しかし行動できていない

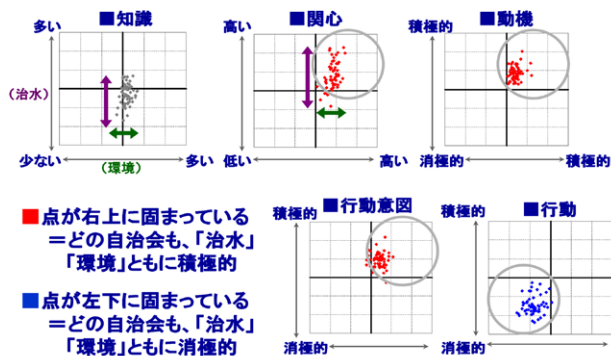
資料-35は、新潟県のある川の流域の住民にご協力いただいた調査結果です。

その川の支川が本川に合流する部分には洪水常襲地帯にあり、一帯を守るには放水路を掘らなくてはなりません。ところが、当時の建設省が放水路の提案をしたところ、ルート上に昔からの集落があり、放水路が集落を分断するということで非常に強い反対運動が起こって頓挫していました。そこで、合意形成を手伝うために流域委員会ができ、そのプロセスの一環で住民の皆さん、流域全体で約3,000人にご協力いただき調査を行いました。

資料内の5つの図は、流域の皆さんが治水と環境に対してどの程度関心を持っているか、どの程度行動しているかなどを、治水を縦軸、環境を横軸にとってグラフにしたものです。1点1点が1つ1つの自治会の平均値をあらわしていて全部で53個あります。そして、治水と水環境に関する知識が多いか少ないか、関心が高いか低いか、積極的であるか消極的であるか、何かあったら行動しようと思っているか全然思っていないか、実際に行動できているかをマッピングしています。

知識は、点が真ん中に固まっており、関心、動機、行動意図は、大部分の点が右上にあることがわかります。一方、行動については、大部分の点が左下にあります。関心も動機も行動意図もある、しかし行動できていない。わかっちゃいるけどできてない、気持ちもあるけどできていないことが明確に出ています。

流域のみなさんは、治水にも環境にも「関心」があり、「関わりたい・行動したい」と思っているが、「行動」していない。

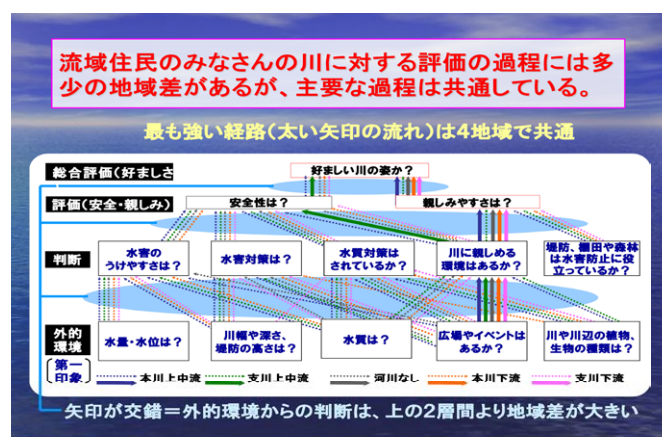


資料-35 「治水」と「環境」に対する関心度と行動度

流域住民の川に対する評価を調査して合意形成につなげる

それでは、この地域の水災害対策はどのようにしたら進むのか。合意を形成しなくてはならないので、ある自治会と別の自治会で全く考え方が違うと、そこを埋めないといけない。あるいは、同じような考え方があるなら、それを伸ばして合意へ達するプロセスとして協働して進めていくことが必要です。

例えば、この河川は「好ましいか」、「安全か」、「親しみがあるか」、といった主観的・抽象的な評価の部分と、「水がきれいか」、「汚いか」、「水質対策は十分か」、「川と触れ合えるか」、「堤防が弱いか強いか」、といった、より具体的・客観的に住民が認識している部分をマッピングしたのが資料-36 です。



資料-36 河川の評価構造調査

より具体的な評価は、川の上流、下流、本川、支川の各地域でバラバラです。ところが、抽象的な評価はほぼ共通しています。これはある意味で総論賛成・各論反対をあらわしています。一方、ほとんどの地域で非常に強い関連は水環境に関連するもののなのです。

このように、水災害のリスクを下げるには、水災害だけに特化するのではなく、水環境から全般的に考えていくことが必要

です。上流から下流まで、本川、支川の連携をつくっていくと、本川の人は支川の危険度もわかってくる、上流の人は下流の危険度もわかってくるということにつながるわけです。

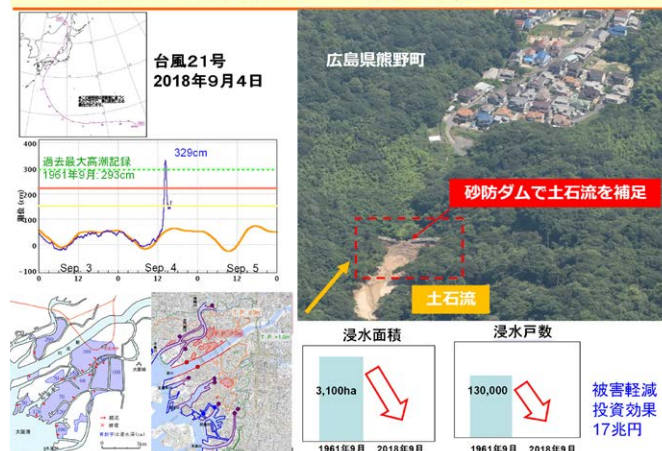
こういう結果を持って各自治会でご相談するのですが、53の自治会全部を回することはできなかったのも、半分ほどで車座座談会を開催して、「おたくの自治会はこうでしたね。全体はこうですよ」「下流はこうですけどね」などと相談し、さらに市の単位でワークショップを開催してまとめていくことで合意形成を進めることができました。

ずいぶん時間がかかりましたが、今年(2019年)の初めに反対の会は解散し、合意形成が整い、今は放水路の事業化に向けた現地調査を開始しました。

社会資本整備への投資と知見の組み合わせが重要

資料-37の右側は平成30年7月豪雨のときの広島県熊野町の写真です。土石流がどっと来ているのですが、幸いにも砂防ダムで土石流は補足されています。ですから、下の集落には何の被害も出ていない。

平成30年7月豪雨 — 備えの効果は? —



資料-37 平成30年7月豪雨の広島県の様子と台風21号の大阪の被害状況(国土交通省資料)

同年9月の台風21号で関西空港が浸水し、一時使用不能になりました。過去最大だった1961年9月の第2室戸台風の最高潮位293cmを上回る329cmの潮位が記録され、その事態に至ったわけですが、それでも1週間で復活しました。すごいことだと思いますが、もっとすごいのは、大阪が浸水面積ゼロ、浸水戸数ゼロなのです。治水課でまとめたいただいた結果が資料-37で、被害軽減投資効果は17兆円ということです。

要するに、社会資本整備への投資が非常に重要で我々が持ち合わせてきている気候の変化という知見を組み合わせることで社会資本投資を進め、事前の対応を行っていくことが必要ではないでしょうか。これまではいわゆる観測だけで対応してきたわけで

すが、そこに科学的知見に基づく予測を加えた考え方が必要ではないか、これを今検討会で取りまとめているところです。

科学的知見を行政・住民に伝える ファシリテーターが必要

これを実際に進めるにはどのような枠組みが必要か、日本学術会議で考えてきました。日本の場合は中央防災会議という中央政府による全国的な防災組織ができています。それが都道府県あるいは市民団体と協力して、「1人1人の命を守る」、「財産を守る」、「生活基盤を守る」、その継続性を担保することを行うわけです。

同時に、いろいろな科学的知見を見える形にして、全国的なレベルから都道府県市町村あるいは住民1人1人に伝え、それぞれの活動を支援する必要があります。しかし、ここには明らかにギャップがあります。

どうしたら、科学的な知見を伝え、それを政策に反映し、住民1人1人の行動に反映できるようになるかを、日本学術会議では考え、ファシリテーターが必要という結論に至りました。ファシリテーターとはどういう人か。ステークホルダーとの間で信頼関係をきちんと樹立できて、どこに問題があるかを示すことができる。そして、ここまでいくといいのではないかという目標を立てることができる。さらに、どういうガバナンス、自治会や市町村がどのように行動するとよいかという統治の構造を提案して、解決可能な方策論も提示して…。こういうことができて、一番大事なのは何かというと、腑に落ちる説明、心にすんと来る説明ができる、ということです。

実は今日、私はこれをトライしてみました。温暖化によって強い雨が降る。すんと落ちましたか？どうでしょう。湿った空気と乾いた空気の重さ、冬の朝晴れていると寒いという話もさせていただきました。こういう身近なこともお話ししながら、温暖化するとそれで強い雨が降るのかと、何となくすんと腑に落ちた人がいらしたら、手を挙げていただけますか？今日は来たかがありました。1割ぐらいの人がいらしていましたので。

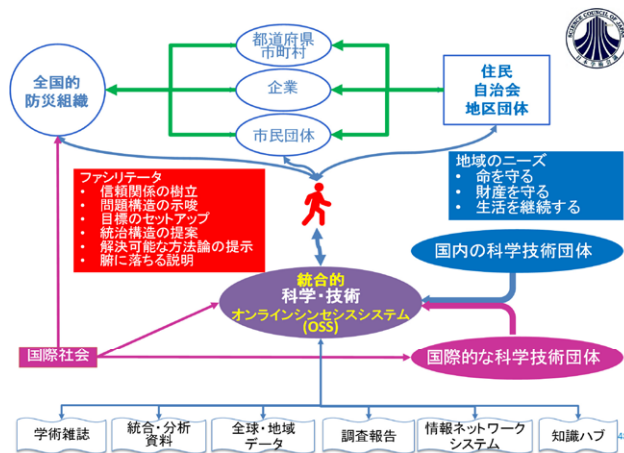
ファシリテーター支援に必要なのは 統合的な知見

まだまだ私は至らないわけですが、コンサルタントのエンジニアの皆さんは、市町村や都道府県、あるいは地域のコミュニティに直接接する機会が多いわけですから、科学的な知見をもとに、ファシリテーターとしてご活躍いただきたい。そのためには何が必要か。

ファシリテーターの活躍によってコミュニティが強くなると、都道府県や市町村も強くなり、結果として国も強くなります。ファシリテーターを支援するために必要なのは統合的な知見です。何か一局面の知識だけではなく、全体、英語で

holistic とか integrated と言いますが、全体がわかるような知見が必要で、これはなかなか難しいのです。

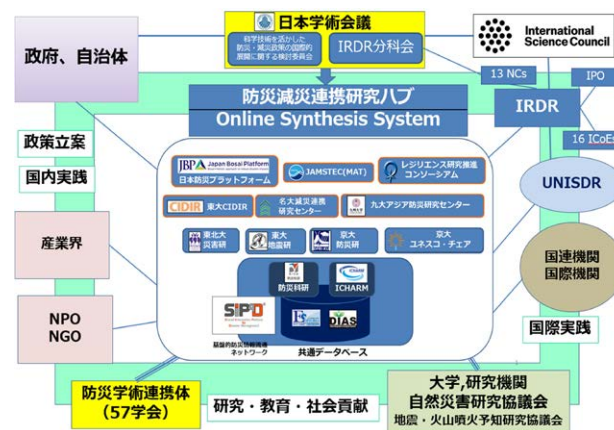
そのために、例えば、日本学術会議や国際的な学術団体がオンラインで知見を統合化してきちんとファシリテーターに渡せるような、オンラインシンセシスシステム（資料-38）をつくりまします。研究者だけではなく地方大学の先生、あるいは、皆さんのようにコンサルタントで活躍されているエンジニアが、こういう知見をそれぞれのステークホルダーにきちんと渡していくことが必要ではないかと思ひます。それを国際社会も支援していくわけです。



資料-38 統合的・科学・技術オンラインシンセシスシステム (OSS)

科学技術を個人・地域・国に伝える 枠組みをつくり防災力を高める

日本学術会議では、これをどうやって進めていくかを議論しています（資料-39）。



資料-39 防災減災連携研究ハブ

図中の青枠内に主要な研究機関に加えて JBP（日本防災プラットフォーム）に参加して頂いており、ここには多くの民間企業が入っています。こういう学術的な機関と、プライベートセクター（民間部門）の集まり、文部科学省、それから、土木研究所の ICHARM（水災害・リスクマネジメント国際センター）などが国際的なネットワーク網を使って知見をまとめ、

それぞれの都道府県や地域に渡していくシステムづくりを現在進めています。

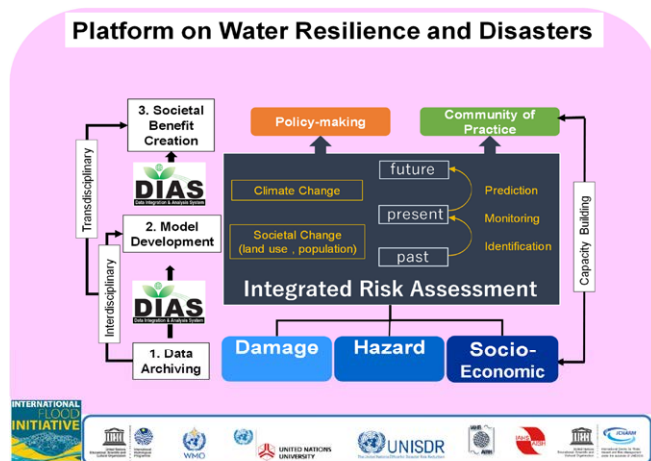
これらを通し科学技術をそれぞれの地域あるいは個人・国のレベルに伝える枠組みをつくって、必要に応じて国の施策の転換を図り、法律を改正して、我が国の防災力を高めていきたいと思っています。

分野を横断し科学と社会が協力して 枠組みづくりを進める

国際的にはどうするか。ここから ICHARM の話になります(資料-40)。

前述の枠組みづくりを進めるには、自然科学のデータだけではなく、実際の被害のデータ、社会科学の社会・経済のデータも必要で、これらを使って統合的なリスクのアセスメント(評価)をします。ただ、今まで述べたように、社会が変わり、気候が変化しますので、このリスクそのものが変わってきています。変わっていることを包括的にまとめて、政策決定に対して、あるいは人々のコミュニティの行動のために伝えていく。そのためにはデータやモデルなど、実際に社会的なベネフィット(価値)をつくり出していくものがが必要です。

そこで、東京大学で開発したデータ統合解析システム(DIAS)を使って、データの統合化から社会的価値の創出までを、分野を横断して、科学と社会が協力して枠組みをつくってこうとしています。そのためには能力開発も必要で、ユネスコや世界気象機関、国連大学などと協力して進めています。



資料-40 Platform on Water Resilience and Disasters

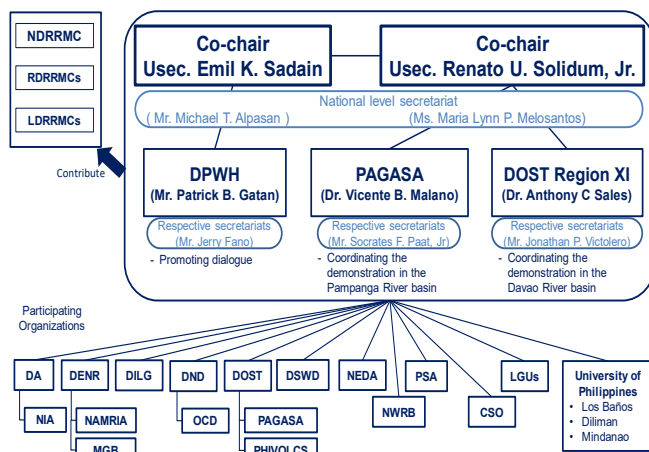
国際社会においても加速する枠組みづくり

資料-41 はフィリピンの枠組みの例です。

フィリピンの場合は、公共事業とハイウェイを管轄する公共事業道路省(DPWH、日本でいう国交省)と、科学技術省(DOST)のお二人の次官が議長になられて、フィリピンの

いろいろな公共機関、大学も含めて、「Platform on Water Resilience and Disasters」という機関をつくりました。ICHARMは枠組みづくりのファシリテーターとしてフィリピン政府と協力しています。

Platform on Water Resilience and Disasters

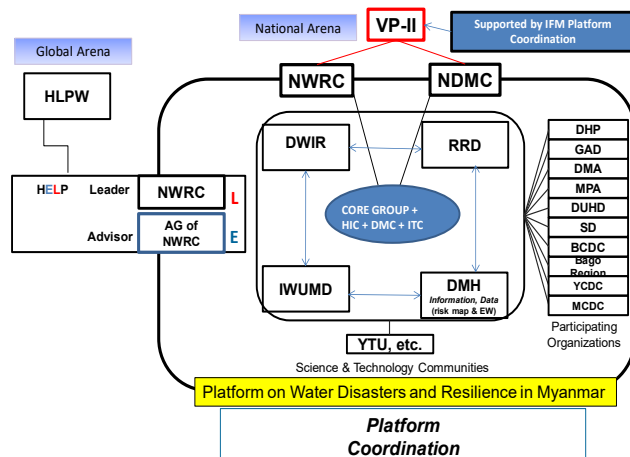


資料-41 Platform on Water Resilience and Disasters (フィリピン)

資料-42 はミャンマーの枠組みの事例です。

ミャンマーの場合は副大統領が委員長を務める水資源国家委員会と災害管理国家委員会があります。その下に位置する河道維持(DWIR)、危機管理(RRD)、気象水文(DMH)、灌漑や洪水被害の軽減・ダム開発(IWUMD)などを行う省庁の局長が他省庁や大学とも協力して、資料-42のようなプラットフォームをつくっています。このような枠組みをミャンマーで設立するファシリテーターを ICHARM は担っていて、こういことを通して国際的な力を高めています。

Platform on Water Resilience and Disasters

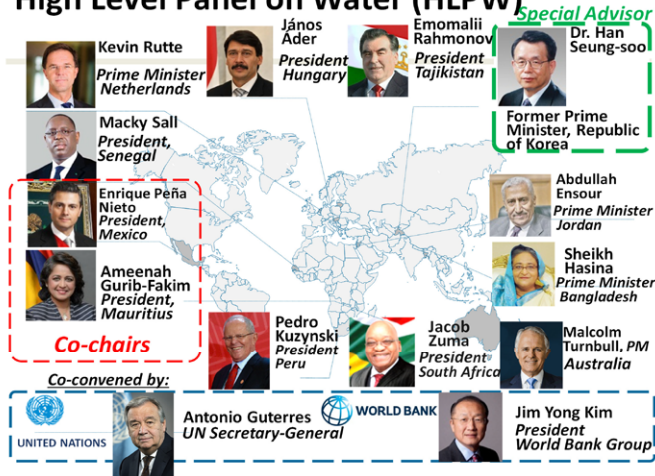


資料-42 Platform on Water Resilience and Disasters (ミャンマー)

ICHARMはユネスコのセンターですので、国連の組織と非常に密接に協力する力を持っています。また、国連の事務総長と世界銀行の総裁が世界中の11の大統領や首相をメンバーと

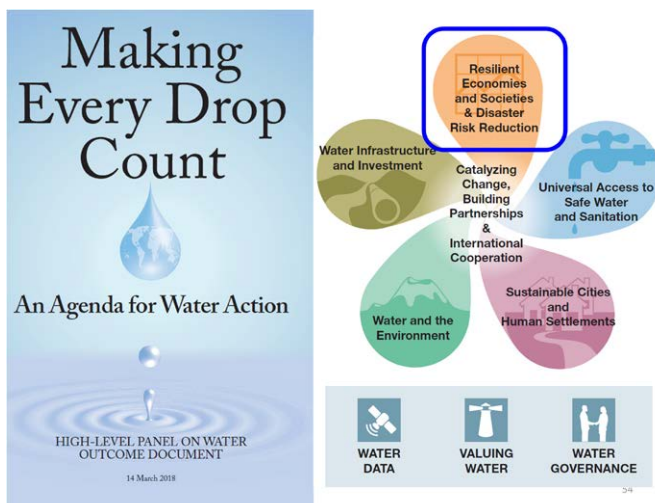
するハイレベルパネル（資料-43）をつくりました。韓国の元総理の Han Seung-soo 氏がスペシャルアドバイザーになっています。

High Level Panel on Water (HLPW)



資料-43 High Level Panel on Water (HLPW)

このパネルが2018年3月にアウトカムドキュメントをつくりました（資料-44）。そこに1つの目標として、レジリエントな（回復力のある）経済と社会、そして災害リスクの軽減という、水に関する目標を立てました。その中で、今まで予算的には9割が発生した災害への対応に使われていたが、逆に9割を事前の防災投資に使う必要であるとうたっています。そのための1つの方策として、今紹介した Platform on Water Resilience and Disasters が各国でつくられていく必要があると明示しています。国際社会においてもこのような動きが加速していくように活動しています。



資料-44 High Level Panel on Water のアウトカムドキュメント

科学的知見を伝える ファシリテーターの役割を

最後にもう一度「資料-38 統合的科学・技術オンラインシンセシスシステム（OSS）」を投影します。

国として法律の改正や新しい政策を打ち出しつつあります。何とか先手を打って被害を食い止めたいと思っていますが、同時に、今までにないことに対して我々是对応していかなくては いけません。したがって、科学的な知見を住民、市町村・都道府県、国のレベルに伝える役割を、今日会場においでの方々にも担っていただいて、我が国あるいは世界の水防災に対するレジリエンス（強靱化）を高めていただきたいと思います。

ご清聴どうもありがとうございました。

了

本内容は、2019年7月5日に開催した第33回技術研究発表会における特別講演によるものです。