

第23回 海岸シンポジウム

気候変動の影響による
海面上昇等を踏まえた、
今後の海岸行政及び
海岸保全施設の
あり方について

講演録

日時 令和元年11月28日(木)

会場 星陵会館

主催：全国海岸事業促進連合協議会

後援：農林水産省・国土交通省

気候変動の影響による海面上昇等を踏まえた、 今後の海岸行政及び 海岸保全施設のあり方について

目次

開会挨拶	4
	全国海岸事業促進連合協議会 会長 (高知工科大学学長) 磯部 雅彦
事例紹介①	5
「気候変動による世界及び日本の沿岸域への影響と適応策」	
	茨城大学大学院 教授 横木 裕宗
事例紹介②	12
「気候変動の沿岸災害への影響と海岸保全施設設計の考え方」	
	京都大学防災研究所 教授 森 信人
事例紹介③	20
「気候変動による沿岸域の農業水利用への影響」	
	農業・食品産業技術総合研究機構 沿岸域水理ユニット長 吉永 育生
事例紹介④	26
「兵庫県の海岸における平成30年台風第21号の影響と災害激甚化を踏まえた今後の対応」	
	兵庫県県土整備部土木局長 服部 洋平
閉会挨拶	32
	全国海岸事業促進連合協議会 会長 (高知工科大学学長) 磯部 雅彦

事例紹介①

横木 裕宗 (よこき ひろむね)

茨城大学 大学院理工学研究科 都市システム工学専攻 教授



略歴

1991年3月 東京大学大学院 工学系研究科 土木工学専攻修士課程修了
1996年7月 茨城大学工学部都市システム工学科 講師
1998年10月 同 広域水圏環境科学研究センター 助教授
2010年4月 茨城大学工学部都市システム工学科 准教授
2011年4月 現職

社会活動および受賞等

主に沿岸域における、気候変動の影響・適応に関する研究を行っている。特に最近では、海面上昇による沿岸域の浸水影響の経済評価や適応策の経済効果の評価に取り組んでいる。

また、茨城県沿岸の海岸侵食や河川における洪水氾濫の調査などにも従事してきた。

事例紹介②

森 信人 (もり のぶひと)

京都大学 防災研究所 気象・水象災害研究部門 沿岸災害研究分野 教授



略歴

1996年3月 岐阜大学大学院工学研究科 博士課程修了
1996年4月 (財)電力中央研究所 主任研究員
2004年4月 大阪市立大学大学院工学研究科 講師
2008年4月 京都大学 防災研究所 准教授
2018年12月 現職

社会活動および受賞等

文部科学大臣科学技術分野表彰 (2012)、土木学会海岸工学論文賞 (2012, 2018)、日本港湾協会論文賞 (2014) など受賞。IPCC WG1 国内幹事会・幹事、土木学会海岸工学委員会幹事・論文編集小委員会小委員長、国際学術誌編集委員 (Coastal Engineering, Coastal Engineering Journal 他)。文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」テーマ D-i 課題代表、環境省環境研究総合推進費課題 2-1712 代表

事例紹介③

吉永 育生 (よしなが いくお)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門
沿岸域水理ユニット長



略歴及び研究内容

熊本県出身。平成7年農林水産省（農業工学研究所）入省、閉鎖性水域の水質環境解析・モデリング等を実施。以後、九州沖縄農業研究センター、農林水産省農林水産技術会議事務局などを経て、平成31年4月より現職。現在、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）2期にて、危機管理型水門管理システムの研究開発に参画している。

事例紹介④

服部 洋平 (はっとり ようへい)

兵庫県県土整備部土木局長



略歴

1986年4月 兵庫県入庁
2012年4月 県土整備部土木局道路街路課街路担当参事
2014年4月 県土整備部土木局総合治水課長
2015年4月 県土整備部県土企画局技術企画課長
2017年4月 阪神北県民局宝塚土木事務所長
2018年4月 県土整備部土木局長

全国海岸事業促進連合協議会 会長・高知工科大学 学長

磯部 雅彦

本日は全国海岸事業促進連合協議会の主催する第23回海岸シンポジウムに御参加いただきまして、まことにありがとうございます。きょうのテーマは「気候変動」であります。「気候変動の影響による海面上昇等を踏まえた、今後の海岸行政及び海岸保全施設のあり方について」ということで、御講演を頂戴してまいります。

気候変動については、1980年代末のことですけれども、アメリカなどで、「地球温暖化が起こりつつある、大変だ」というようなことで、我が国も含めて世界中が大騒ぎになりまして、その後IPCC：気候変動に関する政府間パネルというところで、科学的知見もだんだん精緻化され、「らしい」ということが「確実である」という表現に随分変わってきたりしております。

つい先ごろも、IPCCから出されたレポートを拝見すると、今まで以上に深刻であるということで、例えば海面上昇については、今までは80cm強と言われていたものが、21世紀末には1mを超えるかもしれない、超えるであろう、最悪のシナリオで、というような予測もなされてくるようになりました。翻って私たちも、最近の台風による高潮とか集中豪雨を見ますと、確かに気候が変動しているというのを実感しているわけがあります。これは何とかしなければいけない、というのをひしひしと感じているところであります。

他方で、気候変動適応法という法律も通りまして、日本の行政的な体制としても、気候変動に積極的に対応していこうという体制ができてきた。他方で現象が確かに起こっていきそう。また、適応していく体制もできてきたというところで、きょうは4人の先生方に御講演をいただき、私たちの気候変動に対する知見をより深く理解し、これから先どうしていったらいいのか、どうしなくてはいけないのかということについて、じっくりと考える機会にしたいと考えております。

気候変動による世界及び日本の沿岸域への影響と適応策

茨城大学大学院 教授

横木 裕宗

ただいま御紹介いただきました茨城大学の横木です。「気候変動による世界及び日本の沿岸域への影響と適応策」ということについて、40分間お話をしたいと思います。

きょうお話しする内容ですけれども、磯部先生からの御挨拶にありましたように、気候変動と海面上昇の予測がIPCCの報告書によって順次アップデートされていますので、そのほぼ最新の、特に海面上昇の予測について簡単に御紹介したいと思います。その次に、気候変動とか海面上昇に対して、どのように対応するのかについての考え方、特に沿岸域における適応について具体的にどういふことがあるのかを御紹介して、最後に、これは私のグループで最近研究していることですが、海面上昇による浸水影響に特化して、被害とかそれに対応するとしたらどのくらいお金がかかるのかについて、どのように計算すればいいのかも含めて御紹介したいと思います。

ここにいらっしゃる方は既に御存じかと思いますが、IPCCのAR5と言ってIPCCが約5～6年置きに最新の情報をアップデートしているものです。このグラフは地球上の全体平均気温の将来予測をあらわしたものです。気候モデルというのは、何でもかんでも自動的に将来予測できるわけではなくて、大気中の二酸化炭素の濃度とか温室効果ガスの濃度というものが、今後どういふふうにあふえていくのか、出て行くのか社会経済的な将来予測シナリオをベースに計算しております。

この赤いものは、ほぼほぼ今までと同じように推移していった場合、青いものはそうではなくて、今の技術とか社会の見通しで頑張って温室効果ガスを減らしていこうというシナリオで考えたものです。この数字はそれぞれ同じ条件で計算したモデルの数

ということで、同じ条件で計算してもこれぐらいの幅を持っているということです。どんなに気候変動が進むような状況であろうが、どんなに我々一生懸命そうならないように努力しようが、最初の20～30年間は余り違いがないだろうということです。また、そうはいっても努力したから昔の気温が上昇しない世界に戻るのかというと、それは戻らないであろうというのが今の予測の状況です。

これは海面上昇についても全く同じような予測になっておりまして、同じようにコメントしております。最初の20～30年間は余り変化がなくて、でもだんだんと差が開いていって、低位のシナリオ、温暖化しないようにすごく頑張っているシナリオでもこれぐらいの上昇があって、しかも気温と違ってまだまだ伸びていくということです。

海面上昇の要因は、磯部先生の紹介にありました初期の1980年代末から始まったいろいろな気候モデルの計算によると、最初はそれこそ地球全体が暖まって南極やらグリーンランドの氷が全部解けて、海面上昇は10mだ100mだということになっていたのですけれども、その後研究が進んで、グリーンランドとか南極大陸では、確かに気温は上昇するので表面の氷は解けるのですが、それ以上に降水量も相応に増えるので、結果的にプラスマイナスでそれほど海面上昇に寄与しないだろうと、ここ15年ぐらいは言われていました。

これは前々回の報告書の結果ですけれども、熱膨張、気温が上昇することで海水の表面温度が上がって、それによってちょっと膨張する。ちょっとと言っても海は大変大きく広いので、それが海面上昇につながる。また、山の上の氷が解けて海に流れる。グリーンランドとか南極大陸の氷は、解けるものもあるのだけれども、それと相応の降水量があるので、

影響しないと言われてきました。それが、これまで最高位でも 80cm と言われていたものです。

ところが最近、南極大陸の氷は、北極海と違って浮いている氷ではなくて、低い海の中の陸地の上に乗っている氷ですが、それが解けるメカニズムの研究が大分進みまして、気温ではなくて海水の温度が上がることによって、下のほうから解け出してくるという研究が大分精緻化され、まとまってきました。今では RCP8.5 という非常に高位のシナリオでは、今申し上げた膨張であるとか山の氷が解ける以外に、南極の氷やグリーンランドの今までわからなかった氷によって、さらに 80cm ぐらいふえるのではないかとされています。そういうわけで海面上昇というのは、そんなに大きくないと言われていましたが、ここに来てもしかしたら 2100 年のレベル、もっと先では非常に驚異的な外力になっていくであろうと考えられます。

今後、二酸化炭素の排出が気候変動の対策によって、10 年後、20 年後、30 年後に排出がどんどん減っていくような状況になったとしても、さらにそれから 50 年から 100 年遅れるとだんだん大気中の二酸化炭素の濃度が安定してまた下がってくることになり、その結果として地表面温度の上昇がとまって安定化してくるということですが、海面の上昇については、深海部分へどんどん熱が伝わっていく時間を考えると、表面で暖まった部分が表面が冷えたので、はい終わりというわけではなく、どんどん深海のほうも暖まっている。それが解けるまで、元に戻るまでは非常に長い時間がかかることになる。

つまり今起きている温暖化、気候変動によって、海面が上昇することがもっともっと先に起きるということですので、今対策をしてもその効果はさらにもっと先であられる。2100 年というスケールではなくて、2300 年、あるいは 3000 年もどんどん進んでいくと言われています。

それでは、我々はそういう海面上昇にどう対応するのかということ。緩和策と適応策というのは、テクニカルタームというか、そういうものだというふうに使われているのですけれども、この例がきょうは海岸の防災の方が多いということですので、いつも授業で使っている資料を持ってきました。

過去と現在と未来をざっくり分けて、災害の外力、

例えば高潮でも集中豪雨などのような大きな水の外力によって堤防から水が氾濫して内地に入ってくることを「災害」と呼ぶとして、その外力が過去はこれぐらいでした。平均的には黒い線ですけれども、もちろん年によってはそんなになかったり、すごく大きかったりするということです。

それに対して我々の防災力、住み方、都市のまちづくりという意味では、まだまだそういうものには対応できてなかったのが、どんどん技術が発達して経済的にも豊かになってくることで、インフラが非常に発達して、やがて災害外力を超えるような防災力、防災の水準を保つようになりました。もちろん時には災害の外力が飛び出て、超えることはありますけれども、平均的には以前では毎年のように災害が起きたのが、今は起きなくなってきたというのがこれまでの流れだとすると、今後この災害外力が気候変動によってどんどん上昇していくことが予想されているわけです。

それに対して我々の防災力は、それにキャッチアップしていくのかということなかなか難しく、1 つはインフラの老朽化ということで、つくってしまったら永遠に使えるものではなくて、何 10 年か一遍建て替えなければいけない。そうは言っても将来の経済的なパワーはどうなるかということ、今までどおりグーッと上がっていくことは考えにくいという予測があります。

ここで、もっと堤防をつくりましょう、もっとうまくまちづくりをして多少水が流れても大丈夫なようにしましょうということで防災力の水準を底上げするような対策のことを、「適応策」と呼んでおります。一方、気候変動そのものをゆっくりにしたりとか、うまくいけば逆戻りさせて災害外力が上がっていくのをできるだけ抑えるというのを、「緩和策」と呼んでおります。

緩和策と適応策で言いますと、日本では「適応策」という言い方は余りされていなくて、これまでと言っても 10 年以上前ですけれども、どちらかという和省エネであるとか、石油を余り使わないようにしましょうという緩和策が割と強調される。それで問題を解決できればよかったのですが、日本でももちろんそうですけれども、世界的にも、適応策も必要である。どちらかで解決しましょうということ

はなくて、両方とも必要ですよというのが現状です。きょうお話しするのは適応策ということです。

特に、沿岸域では海に面している。大きな河川の河口域に都市が発達している。日本でもそうですが、世界的にも多くの人々が住み、多くの資産が集まってきた、多くの情報が集まってくる。非常に重要なところですが、そこはそれほど安全なというか、未来永劫にわたって安心して住めるところではない。便利なところですが、安心して住めるところではないというところがあります。例えばということですが、海面上昇によって水没したり、地下水から塩水化することがあります。一々あげていくのは難しいです。

一方で、気候変動ではなく、地震とか津波によっても同様の災害が生じます。気候変動の対策なので地震とか津波は関係ないとは言いません。それから、気候変動しなければこういう対策はしなくてもいいということではなくて、最近ではこういう気候変動するということに引っ掛けて、現状での防災基準、現状での環境保全の水準を高めようという動きもあります。それが非常に重要なことだと考えます。

適応策を抽象的に申し上げますと、大きく2通りの考え方があります。要は気候変動、海面上昇、地球温暖化に対して対応するわけですから、何か起きたときに対応する。水害が起きたら水害から復旧するということです。そういう対策がほとんどなわけです。ここには自然環境とか社会システム、個人でやるもの、組織でやるものを書いています。自然環境でも適応という意味では行われているわけです。マングローブ林が海水面が変化することで生息域が変化したり、動植物が温度の変化によって生息域を変えたりというのは、それは適応策なわけです。

人間でももちろん同じことで、悪い影響が出てきたらそれを緩和するように行動するということが適応策なのですが、何か被害を受けてからやるよりは、そういう予測があるのであればその前に対策をする。「予見的対策」とも呼ばれていますが、これは人間個人、あるいは人間の組織でないとできないことですが、こういうことを今後やっていかなければいけない。そのためには正確な予測が必要だし、それにかかるコストの予測も必要になってきます。

考え方という意味で言うと、沿岸域の適応策、こ

れは大分前の研究ですけれども、大きく3通りの考え方があって言われています。1つは沿岸域を守る防護ということで、もう1つは順応です。これは災害を受けても、それを前提とした住み方をするという考え方です。もう1つは撤退で、そういう危ないところからは逃げましょうという考え方です。このコンセプトは、これまでも今後も変わっていかないと思います。

パッと思いつくのは防護で、堤防、防波堤、海岸防護岸を強化するということです。一方で、そういうことばかりやっているとコストもかかってしまうので、例えば水害が来るようなところで、水害も含めてうまく生きていくこととか、あるいは水害が来たときに早く逃げられるような情報のネットワークをふだんから整備して持っておくこともだんだん注目されてきています。

撤退というのは、ただ単に逃げる、いなくなるということではなくて、どうやってうまく施策していくかということが重要になってきます。きょうこれから御紹介する適応策の経済評価とか被害というのは、まず最初のステップということで、この防護の中の堤防を建設することと浸水被害ということで、どういうふうな比較をしているかを御紹介したいと思います。

具体的にお話をする前に、最初にテクニカルタームと言ったら変ですが、どんなことを想定しているかということをお話します。浸水被害というのは、海面上昇が地盤高を上回ってそこに水が来る状態になっていることを言うのですが、世界中の沿岸域を対象に研究しましたので、その防護構造物、例えば日本で言うとゼロメートル地帯はたくさんありますが、そこは決してふだん水が来るわけではないですが、そういうところに防護構造物があるかないかということを経済中のデータで同じ精度で比較することはできませんでしたので、それは地盤高だけで、防護構造物があったとしてもそれを無視して、浸水するというふうになりました。実際に浸水しているわけではありませぬので、言葉としては「潜在的」浸水域と呼んでいます。

浸水被害というのは、まずは「潜在的」浸水域。海面上昇が起きた後の海水面よりも低い土地がどのくらいその国にあるのかということをお話します。

た。その次に、その土地には今から将来、何人ぐらいの人が住んでいるのか。その結果、被害額がどう計算されるのかということです。これが正しい計算ということではなくて、こういうふうに計算することができたという御紹介です。

適応策としては、護岸とか堤防をつくって陸地を守るということを考えました。これからお見せするスライドは、この研究発表で研究したものにプラスアルファで加えて補強したものです。

背景と目的は今申し上げたとおりで、沿岸域への影響と適応効果を定量的に評価する。いよいよ適応策を選んでやるとなると、どのくらいの費用がかかるのか、コストがかかるのか、効果はどのくらいなのかということの情報が必要です。浸水被害の推計と適応表の推計を行いました。詳しくは後で。

研究方法としては、浸水被害ということと言いますと、標高データ。地球のいろいろな土地の高さのデータと平均潮位のデータは標高に入っていますが、それに潮汐のデータ。満潮のときの高さを、現在の海面の高さにしました。それに対して海面上昇量を加えるのですが、これはGCMのコレクションの中の8つを選んで、それぞれのGCMの結果と比較しました。前提条件というか温室効果ガスの排出のシナリオとしては、一番高くなるものと一番低くなるもので比較しております。浸水計算はそんなに難しくなくて、標高データを比べながら、海のほうから海水が高くなるとどんどん陸地へ入れていくということをしました。

一方、適応費用については、堤防の建設にどのくらいお金がかかるのか。ここが一番難しかったのですが、これは世界中のいろいろな土地で、建設費用と天端高とGDPのデータがそろっているデータを使って、回帰分析を行って、その式を当てはめることにしました。

適応シナリオというのは、こういうグリッドで浸水域があるが、どこに堤防を建設してどのグリッドを守るのかということについて、何通りか考え方を設定しました。そういうことで浸水計算をし直すと、一方でどのくらい浸水面積が出るのか、そこにいる人は何人なのか、結果的に幾らの被害額になるのかという計算ができます。一方で、どこにどれだけつくのかということ適応の費用を計算することが

できて、プラスそれでも浸水被害が起きた場合には残余被害として計算するというので、この2つを比較して適応効果を見ました。

気候モデルで使ったのが、こういうものです。人口と各国のGDPの将来の変化は、SSPシナリオのデータセットがありまして、それを使うことにしました。SSPシナリオというのは、横軸に適応できるかどうか、できないかどうか。ちょっと言い方はおかしいですが、左側にあるほうが適応をよくしている社会です。右側が余り適用できない社会です。縦軸は先ほどの緩和というやつですが、緩和できている、緩和できていないというところ。斜めに1、2、3とちょうどありましたので、この3つで大きく1と2のバージョンで比べました。

下にあるのは、ETOPO1という標高のデータと潮汐のデータです。

海面水位については、今こんなふうに考えているということです。標高データから出てくる平均海面の水位がここにあるとすると、これより下にあるものは海の中にあるのですが、これに大潮の満潮位のデータを加えて、この高さ。これは世界中一律ではなくて各沿岸域によって変わります。ここまでのところが今の海面の位置だとします。もし陸地の境界がこの辺にあって、現在の水位がここだとすると、既にこれだけ潜在的に沈んでいると判断します。

繰り返しますが、本来は大潮の満潮位ぐらいを護るように構造物はあるはずなのですが、それは今ないと考えました。それにこの研究では海面上昇。氷床の融解のようなものは先ほど紹介したモデルには明示的には入っていませんので、さっきの南極の水が解けて100年間でもう1m弱ぐらいは上がるという効果は、きょうの結果には入っていません。

それから、まだ入れていない効果としては、波が碎波することによって平均水面が上昇するという効果も入れなければいけないのですが、それは入っていません。さらに上には、この後に森先生からお話があると思いますが、高潮とか一時的な水位上昇についても、今回は考えていません。日常的な水位で海面上昇が起きて、将来の浸水域の増加分がどうなるかということ計算しました。

結果ですが、驚いたことに、この上のグラフが3通りのRCPの赤いのが8.5で、青いのが2.6ですが、

それによって100年間でどのくらい浸水域が大きくなったかということです。20万平方キロメートルが満潮の高さだけの浸水域です。海面上昇の量の大きさよりも満潮の大きさのほうが大きい、潮汐の変化のほうが大きいということが、この結果からわかりました。

これは浸水域、浸水域と言っていますが、地図で見ると、大きいところでは黒いポツがついているようなところですよ。

もう1つの興味は、気候モデルが何通りもあって、どのモデルも同じ結果なのかということです。これが全球の平均海面上昇量を比較したのですが、実は結構違うことがわかります。最大値が56cm、最小値が12cm。同じRCP8.5なのに、これぐらい違うということです。どれが正しいのかわからないので、これを一々計算して比較しました。

平均海面上昇量はかなり違うのですが、それでは浸水面積にするとそれほどの変化はないということで、ちょっと胸をなでおろして、これで計算を進めていこうというふうにします。後で面積のところはもう少し説明します。

モデル間の違いは、どうなのかが気になったので調べました。どのモデルも2060年ぐらいまでは、それこそRCPが変わっても変化しないのですが、それ以降はモデル間のばらつきの値（標準偏差）がだんだん増えてくる傾向になってきて、これは当然かと思えます。

どのくらい分布が違うのかをあらわすのにどうすればいいかなと思ったのですが、国ごとのランキングをつけようということで、国ごとの潜在的浸水面積を計算して、それをモデルごとに面積の大きい順に並べました。1位から3位は中国、カナダ、ベトナムで不動ですけれども、よく見ると順位に変動はあるものの大体顔ぶれは同じということで、モデルを変えても全体の浸水面積も幅はそんなにふえなかったし、国のばらつきもそれほどなかったということで、この後の考察に無事進めます。

ちなみにこの10カ国で、世界中の浸水面積の大体4分の3ぐらいになったというのも、どのモデルも同じぐらいになりました。日本は29位ぐらいで、こういうのは順位が上のほうがいいというわけではないので、それはよかったです。

これは各国ごとに、一体どういうふうにふえていくのかということ調べてたものです。左側の中国、カナダ、ベトナムの3つがトップスリーです。赤いのは計算上ということですが、満潮を考慮しない場合です。紺色のものが今の時点の満潮時の潜在的浸水面積で、それが2100年には海面上昇によって、これぐらいふえるということです。そういうふえ方も国によって全然違うということがわかります。

こういうデータを計算した上で、人口とか被害額の計算をしています。SSPは、人口とGDPの将来変化が各国ごとに計算されたデータセットです。

まず人口ですが、世界中で浸水域における人口はどれくらいになるのかというと、これは一つ一つのモデルについてRCPは8.5なのですが、SSPを1と3に分けて計算しています。そうするとモデル間のばらつきというよりは、どの社会経済シナリオ、どのSSPを使うかということで、影響人口が変わってくるという傾向が出てきます。RCPの違いというよりはSSPの違いのほうが大きいということが、この研究を通じてわかりました。どういうシナリオをつくるかということに左右されているということです。

これは人口についてです。これは先ほどお示しした図です。それに対して平均値がどう変化していくのか、その平均値についてのばらつきはどうかというと、先ほどと同じようにどのRCPどのSSPでも最初の20～30年は同じで、その後変わっていきます。推定されたモデルのばらつきで言うと、2070年、80年ぐらいになると、将来のことですので大きなばらつきになっていくことがわかります。

人口についても、国ごとに調べました。面積では中国、ベトナム、カナダでしたが、人口では全然違う順位になっています。こういうことも世界的に見てどの国が脆弱だとか、どういうところに手当てするのかという議論に使われるデータになるのかなと思っています。

棒グラフは実際の人口です。折れ線グラフは国の人口の割合をあらわしています。例えば中国は、非常に浸水影響を受ける人が多い。浸水域にたくさんの方が住んでいるという結果が出ています。それが国全体の5%ぐらい。ベトナムは中国に比べると半分ぐらいの面積ですが、人口の割合で言うと非常に

高い割合になっています。日本は38位で、この下の目盛りのゼロのところにへばりつくような感じになります。

それでしめしめと喜んでいたら、ちょっと前に戻りますが、海水面の定義のところで陸域の境界。今陸域の境界と言っていたのを、これまでは明確にわからなかったのが平均水位、つまり標高データでゼロのところを国境だとしていました。お気づきの方もいらっしゃるかもしれませんが、ヨーロッパのオランダは全く浸水しない結果になっております。そこで国境の海岸線のデータを借りてきて、それで現在ETOPO1で海になっているところも国だということで、国の面積を少し補正しました。その結果、世界の潜在浸水面積は30万平方キロメートルから70万。倍ぐらいになりましたということです。ただ、海面上昇によってどのくらい追加的に浸水するのかという結果は同じです。こういう補正でかなり数字は変わってきます。

最後のパートですが、被害額の推計が非常に難しく、どういうふうにやればいいのかなかなか悩ましかったのですが、チームに環境経済の専門家がいて、例えばこういうのはどうでしょうということで、世界中の災害のデータベースから、水に関する災害の部分だけ取り出して、被害を受けた人数と1人当たりのGDPの項目で回帰分析をかけてみました。全部のデータはこの3色の点ですが、これで1つの線を引くのは余りにも乱暴ということで、経済状態、つまりGDP/capを3つのクラスに分けて、それぞれで回帰曲線をつくりました。

結局、被害額を、1人当たりGDPと影響人口によって計算しました。その結果が次のスライドで、上の部分はその説明ですが、下の部分でそれぞれの気候モデルでSSPのシナリオを選択して、浸水面積とその人口を計算したものを先ほどの回帰分析にかけ計算すると、グラフはちょっと小さいのですが、SSP1で計算した場合とSSP3で計算した場合はくっきりと分かれるのですが、その中のばらつきはほとんどないという結果が出ました。ここまでが被害額をどうやって推定するかということで、各国ごとの計算になっています。

一方、適応費用ですが、これもなかなか難しく、これは共同研究者がいろいろな報告書をあさっ

て、堤防・護岸、養浜、マングローブの施工の実績を国ごとにGDPとコストをプロットしたものです。ものすごくばらついてます。この中の堤防と護岸の部分で、さらに建設費用と1人当たりGDP。国ですから1人当たりGDPが出ますけれども、それと何mの高さのものをつくったかという記録が残っているデータ200個ぐらいについて、重回帰分析をかけて天端高とGDPによって幾らかかるのかという推計をしました。推計式もなかなか悩ましくて、決定係数もきわどかったのですけれども、この2つの式と曲線を使いました。

適応シナリオは、後で天下りの的になるのですが、浸水被害をゼロにするためには、どういうふうに立てればいいのか。これは数値計算の最も得意なところで、どこにつくればいいのか何度も計算すればできるということです、そういうシナリオが1つ。

それから、堤防は50cmだけ立てるというのと、25cmにするという2通りを考えて、さらにどこに堤防をつくるか、どのグリッドを護るかということで、浸水するところは全部護るというシナリオと、浸水するところでなおかつ人口が存在しているグリッドだけ護る。合計5つのシナリオという分類ケースを考えました。

何メートルの高さが浸水を防ぐために必要なのかということですが、思い出してほしいのは、潜在的浸水被害とやっていますけれども、もう膨大な費用になるので、2010年の海水位の高さに対しては既に護っているとして、今後海水面が上昇した分についてここで建て増しをする分、この高さの建設費用の分を適応費用と設定しました。

浸水がゼロになるようにというのは、あらかじめ100年後の海面上昇値がわかっているので、それに間に合うようにつくると計算する。50cmの場合は50cmつくって、50cm超えたら浸水が始まるので、この部分を「残余被害」と呼んでいます。

それで計算しますと、影響人口については、例えば天端高が25cmの場合と50cmの場合で言うと、年を経るに従ってだんだん海面が上昇してきますので、あるところから影響を受ける人がふえてきます。25cmだと2050年ぐらいまでは抑えられるけど、それ以降はふえてくる。50cmだとかなりいいところまで行くのですが、最後2090年からは減っていく。

何もしないと、これぐらいの影響人口があるという感じですが。

最後に、いよいよ費用を比較するのですが、この棒グラフは、回帰式が2つあるのでそれぞれ2本並べていますが、どちらも同じようなものだと思ってください。一番左の一番高いやつが、浸水被害をゼロにするように世界中の浸水するグリッドに堤防をつくった場合のコストです。右のほうは順番に、2なので20cm、50cm、50cmと、25cm、50cmと25cmで、浸水するところにつくる、それと人がいるところにつくるようにしました。この赤い線が、何もしないときの被害額です。何もしないときの被害額に対して、浸水が何も起きないようにしようと思うと、とてつもない費用がかかっているという比較のしようがないような結果になりました。それで例えば25cmに固定するとか50cmに固定して、わざと残余被害を出してそれとの合計で比較したら、ケースによってはうまく何もしないときの被害を下回るような結果を出せました。

こういうことが経済評価ということですがけれども、その被害と適応、適応効果というものの比較ではないかと考えます。たまたまこういうのが出てきたので非常によかったのですが、こういうことがほかの分野でもできればいいかなと思います。

まとめですが、この研究では最初の、ちょっと数字はいいのですが、全球の浸水被害についていろいろなGCMで比較しました。これの不確実性評価を行った。SSPによってかなり違います。それから適応費用の推計は、限られたデータで回帰式をつくりましたが、結果的には適応費用をうまくシナリオを合わせて、安くするという事も考えられるということですが。

私は適応の研究をやっておりますけれども、その予測モデル、影響、対策、いろいろな研究者がどういうふうに行っているかということ、気候モデルは海面上昇、降水量のパターン、気温上昇を予測して、その結果悪い影響が出るというふうに出てきます。それに対して適応することですが、影響を抑える、技術開発、被害・対策コストがかかります。ここで全ての予測される影響が全部抑えられるのであれば、我々はもうこれでいいのですが、今のところそうはいかない、適応策だけでは到底悪影響は抑

えられない。

それでは、どのくらい戻せばいいか、どのくらい海面上昇、降水量のパターン、気温上昇を減らせばいいのかということで、気候モデルは逆算して、社会・経済シナリオとかCO₂濃度シナリオを変更する。その結果、変更のために緩和策という対策が出てきて、これにもコストがかかるし、技術開発もかかる。そうすると到底そんなの無理ですよというわけで、ここから行ったり来たり、緩和策、適応策の研究者が知恵を絞って研究していくというのが、IPCCが何年か置きに発表したり、日本の研究者もいろいろなコミュニケーションして研究していく姿だろうと思います。

ところが、どんなに適応策をやっても、どんなに緩和策をやっても、昔に戻すことは無理だろうということが出てきています。そうすると我々は気候変動の対策をしながら、何に向かってやっているのかということを考える必要があるかと思っています。

ざっくりした話ですけれども、気候変動の予測は確実に予測されていますし、気温上昇よりも海面上昇は非常に長期にわたります。沿岸域は人口とか資産の面でも非常に重要なところで、適応策は必須だと思います。どういう適応策をすればいいか、どうやればいいかということを示すためにも、経済評価は重要だと思っています。その経済評価をやるためには、社会の変化も考慮する必要があります。

きょう御紹介したものはまだまだ欠けている部分もあるかと思いますが、皆様の何かの御参考になれば幸いです。これで終わりにしたいと思います。御清聴ありがとうございました。

気候変動の沿岸災害への影響と海岸保全施設設計の考え方

京都大学防災研究所 教授

森 信人

御紹介ありがとうございます。京都大学の森でございます。

きょうは、気候変動に対して海岸保全施設がどのように対応していくかということについての話題提供依頼なので、ちょっと重いタイトルですけれども、あくまでも私の私見ですので、気候変動について私がこう思っているという話をしたいと思います。先ほどの横木先生の話は地球全体の話でして、そんなの我々には関係ないよと思われた方もいらっしゃると思いますが、最後のほうには技術者としてどういうふうこれから考えないといけないのかという、5年、10年ぐらい先の話を主にしたいと思います。

最初に、非常に簡単ですけれども海岸保全施設の考え方と、先ほど横木先生の話にもありましたが、「沿岸外力」と我々と呼んでおりますが、海面上昇、波浪、高潮が主に日本でどういうふうに変化していくかというかなり新しい結果をきょうは紹介します。最後に10分から15分ぐらい、将来の予測を踏まえて、海岸保全施設はどういうふう設計を考えていくかという話に移りたいと思います。

まず防御施設の話ですが、その前に、ここには海岸の関係者がほとんど聞いておりますので余り細かい話をしませんが、波浪について紹介しますと、風波は台風とか低気圧の直下でできます。ただし、遠くから来るうねり、特に太平洋側のうねりは、たまたま港湾の稼働率を下げたりしますが、これは相当遠くから来ます。日本の場合一番遠くから来るのは、アリューシャン列島と主に赤道近くからの低気圧のうねりが入ってくるので、最大5,000kmから1万kmぐらい伝わってくるので、波浪の評価するにはこれぐらいのスケールの話が必要になります。

一方、高潮は皆さん御存じだと思いますが、主に湾の中で強い風が吹いて気圧が下がると気圧低下

分、吸い上げ効果と風による吹き寄せ効果です。吹き寄せ効果は沖から岸に向かってぐっと上がる。その上に波浪が乗ってくるので、これを考えていかないといけない。高潮の場合は極めて局所的で、100km以下のスケールで現象が起きるので、気候としては非常に細かいスケールの現象になります。

これも釈迦に説法だと思いますが、こういう状況の中で海岸の保全施設、防御施設はどう考えるかという、基本的には朔望平均満潮位に高潮偏差、打ち上げ高、余裕高を加えて計画天端高が設計されていくわけでありませう。

気候変動を考慮していくときに何を考えないといけないかという、日本の場合に限って言えば、台風と低気圧が変化する可能性があります。それに加えて先ほど横木先生の発表であったような海面上昇が変化するので、まず平均海面が上がるのが大事です。高潮及び打ち上げ高についても、シナリオによっては将来ふえることを考えないといけないので、平均海面上昇、高潮偏差、打ち上げ高の3つがどうなるかが我々としては知りたいですし、恐らくここにいらっしゃる実務の方も興味があると思われる。

これまで気候変動にかかわる主に研究の話は、ほぼサイエンス、科学の話が多かったわけですね。IPCCもほぼ科学の話ですので、科学の人が出てきて、今年ですと「海洋雪氷圏に関する特別報告書」が出まして、先ほど横木先生の発表にもありましたが、海面上昇量が、これまで82～83cmと言っていたのが、今世紀末には1mを超える可能性があるというふうになってまいりました。これに引き続いて第6次評価報告書、本体のほうは2021年から2022年に出てまいります。これについては海洋雪氷圏報告書と大体同じような内容になるはずですね。そんなに急に研

究は進まないの、大体同じような内容になると把握しております。

日本は、世界の動きを踏まえて、来年度に文部科学省と気象庁が「気候変動評価レポート」というものを出して、台風、海面上昇、波浪がどうなるかを今まとめている最中です。

これに対して環境省は、適応のほうをつかさどっておりますので、似たタイトルですが、環境省が「気候変動影響レポート」というものを来年出す準備をしているところです。海岸4省庁としては、こういうものを踏まえて対策を考えていく状況にあります。

国交省では、河川計画の取り組みが進んでいまして、今年の7月に、治水計画に係る技術検討会の結果として、降水量が日本では将来1.1から1.2倍ふえるということを河川の治水計画に盛り込むことが発表されております。今年の台風の災害を踏まえて、社会資本整備審議会でも、もっと踏み込んだ検討が今月からスタートしていると聞いております。

海岸4省庁については、気候変動を踏まえた海岸保全のあり方委員会が今年度スタートして、これについては次の話題提供者の農研機構の吉永さんが詳しく話されると思います。

まず、前半の科学的知見からになります。これはIPCCの第5次評価報告書です。2012から13年に出しております、非常によく使われるのですけれども、災害のリスクを調べるには災害の強さ、ハザード、暴露、何が被害を受けるか、それはどういうふうに守られているか、この3つが大事だというふうにまとめられております。これを海岸の保全に持ってきますと、ここでは主にハザードは高潮の水位、高波の波高です。暴露は人間の命、資産です。脆弱性は、堤防の高さなどの防御レベルになります。

きょうのお話は、ハザードはどんどん厳しくなるということですが、今の資産をそのまま守るには防御レベルをどうふうに変化させればいいのか。このハザードと脆弱性の2つの話を主にしたいと思います。

まずは海面上昇です。この話は先ほど多くありましたので詳しくはしゃべりませんが、AR5と書いてあるのが2013年のIPCCのレポートで、SROCCというのは今年の9月に出た特別評価報告書の結果に

なります。全球でRCP8.5ですので、このまま人間活動が余り温室効果ガスを削減しないシナリオに従うと、大体1m、場合によったら1.1mぐらいの範囲で今世紀末、2100年に海面が全球の平均で上がることになっています。

次は波浪です。波浪はIPCCでも余り扱ってこなかったわけですが、第5次評価報告書から科学的な結果が出始めて、今年の特例評価報告書でも、恐らく次の第6次評価報告書でも大分定量的な評価ができるようになってきました。波浪の将来変化を調べるには、地球全体を解くモデルが必要です。それに対して今度は波の計算をして予測していく。結構手間のかかる作業があります。我々はWMO：世界気象機関の傘下で、世界中の研究者が集まって、ここ10年ぐらいかけて将来予測を行いました。

この図はわかりにくいですが、1つわかってきたのは、色の青が平均的な波高が減る場所です。色の暖かい方がふえる場所です。平均的な波は南氷洋と赤道周りでふえるのですが、北半球の太平洋側では減るという予測に議論が収束しております。日本周りでは平均波高は10%ぐらい減るだろうという予測です。これは港湾の稼働率を考えると、恐らくいい方向の話になると思います。

先に示したのは世界的にはどうなっているかという予測で、日本の周りは我々が出した最新の結果です。日本周りでは波高が10%ぐらい減って、周期も短くなるだろう。なおかつ日本周りはほかと比べてちょっと違うのは、波向きがかなり変化するだろうという予測が出てまいります。ですから、4省庁の海岸保全計画のあり方委員会でも、砂浜の話がありますが、基本的には砂浜の形そのものが大分変化する可能性があるのがわかってまいりました。

同じような地域は、アメリカの東海岸もあります。これは大分地域差があるのでこの図は、どこの波高が上がって、周期が下がって、波向きが変わるかというものをまとめた図です。詳しくは説明しないので、御興味のある方は右下の論文を参照してください。

我々は日本周りに特段興味がありますので、日本の周りだけは特別に解像度を上げて細かい計算をしております。これは日本周りの平均的な波の変化になります。書き忘れましたが、左がRCP8.5ですので、

削減を行わず、今世紀末の全球平均の気温が4℃ぐらい上がるという非常に厳しいシナリオのもとで、右がRCP2.6の結果でパリ協定レベル、2℃ぐらいにおさめる。今世紀末2℃上昇におさめるというものです。赤系が暖かく波高が上がるほうで、青系が下がるほうで、プラスマイナス10%の変化の範囲で書いております。

見ていただくとわかるのは、左側の4℃上昇の将来では真っ青ですので、10%ぐらい下がるというのをはっきり出ております。ほぼ全域で下がりまして、日本海側はややマイルドになります。1点だけふえるところがありまして、それはオホーツク海で、ここは恐らくホットスポットと捉えておりまして、主に温暖化が進行するにつれて氷ができにくくなって、オホーツク海の氷が急激に減少する予測になっております。そうするとフェッチが伸びて年間通して波が高くなるということで、15%ぐらい一気ふえるという予測になっております。

ですから、海岸にとって温暖化の影響はなかなかはかりにくいですが、ひょっとしたらオホーツクぐらいで長く観測を続けると、日本で真っ先に将来変化が捉えられるかなと思っております。この辺は省庁の皆さんがモニタリングしていただけると非常にいいと思っております。

それでは、大きな波はどうなっているかということも非常に重要です。高波の予測は非常に難しいです。なぜかという、日本の高波は基本的には台風と爆弾低気圧の2つに支配されて、特に太平洋側は台風でほぼ決まってきます。台風というのは、御存じのとおり日本に平均的に年2～3個しか上陸しませんので、それについて50年、100年に一度の予測をしるというのはかなり難しい話になります。ですから、ここでは10年に一度と頻度を上げて予測のしやすいほうに近づけてやっていますが、それでも結構難しいです。

難しいと言っている、土木技術者は難しいけどとりあえず出してみるという選択肢をとりますので、一応頑張ってみて出してみました。10年に1回の確率波高で見ると、我々の予測では太平洋側で2mから4m、沖波が上昇する可能性があるものになります。特に九州というよりは、中部から東に向かってふえるという予測が出ております。

この原因としては明確で、台風が強くなる効果と、台風が数百キロ東に経路をシフトする予測結果がありまして、これはその効果をはっきり出ています。左は台風の頻度の変化で、九州に今まで来ていたものが、中部、東日本に来やすくなる。場合によっては北海道まで来るとというのが左の図になります。これに対応して今まで来なかったところに来るので、将来変化としてはこのあたりが厳しくなるという結果です。もちろん台風そのものが強くなる効果もあるので、その辺は九州あたりで1m弱という結果を出しています。

世界的にも、今年のIPCCの特別報告書でも、同じような極端な海水位がどうなるかというのは述べられておりますが、我々からするとこの議論ははなはだ荒くて、現状がこれでRCP2.6、8.5です。2℃、4℃でどんどん上がっていく。IPCCの特別報告書のまとめでは、今まで例えばこの場所でこの水位だと100年に1回だったのが、これが10年に1回ぐらいに一気に縮まりますよという話になっていきます。よく読むと、この図はほとんど海面上昇だけを入れた変化を見ています。なぜかという、台風の予測はかなり難しいということと、先進国で台風の影響を受けるのはほぼ日本とアメリカしかありませんので、多くの気候学者及びこの手の海岸への影響を考えている人は、台風の影響に余り興味がないという弱点がございまして、これはあくまでも一例ということになります。言いたいことは、日本の役に立つ将来予測は、日本人がやらないと誰もやってくれないということになります。

特に高潮についての予測は難しく、L1高潮みたいな100年に1回とか200年に1回の高潮の将来変化をするのは難しいです。なぜかという、現状でもイベント数が少なく高潮の長期予測が難しいからです。現状でもできていないのに、将来の予測もしなさいというのはかなり難しい話になってまいります。なぜ難しいかという、基本的には頻度が少ないです。台風が上陸する数も少ないのに、それに加えて大きな高潮が起きる確率はさらに1桁下がるので、イベント数が少な過ぎて評価しにくいという問題があります。もう1つは、気候モデルそのもので高潮を扱いませんので、気候モデルそのもので台風を扱うのも難しい。この2つの難しさがあります。

後半の、なぜ気候モデルで高潮、台風を扱うのは難しいかという話をします。まず、台風の強さが気候の変動に対して線形応答しないという問題がございます。つまり気温が1℃上がると降水量は7%上がるという結構シンプルな関係があります。クラウド・クラベイロンの関係ですが、ほとんどの豪雨の将来変化は、これで今のところ説明できるだろうというのが最近の研究結果ではわかってきます。ですから、4℃上がれば28%ぐらい降水量が上がるだろうという簡単な予測ができるのですが、台風の場合は、1℃上がったからといって何ヘクトパスカル上がるかということと言えと言われても、なかなか難しいことになります。

これはなぜかということ、気候変動による台風の影響は、台風を強くする影響と弱くする影響の2つありまして、それがどうバランスするかで決まってくるという問題があります。これはその一例です。横軸が現在から将来の海水温の上昇になります。4℃という海水温が4℃上がるということになります。縦軸が将来の台風がどれくらい強くなるか。マイナスのほうが強くなりますが、というのを我々が計算してみた結果になります。

この図は説明しにくいのですが、今ポツッと出てきたこのラインがRCP2.6のラインで、2℃上昇の場合です。2℃上昇の場合だと、大体1.5℃ぐらい上がらないと台風が強くなり始めない。それよりも2℃上昇ぐらいの将来の気候条件だと、1℃ぐらい上がったぐらいでは台風は逆に弱くなるというのが上側になります。

同じようなことはRCP8.5の4℃上昇にも言えまして、4℃になると、もっと台風が強くなる海水温の条件は右のほうに来まして、もっと暖かくなると台風は強くなり始めないという結果です。4℃の場合だと、大体4.5℃ぐらい上がれば20ヘクトパスカルぐらい強くなるという結果になっております。

これはどういうことかということ、海水温が上がると海面からの熱供給が上がって台風は強くなりますので、これが非常に問題だということになります。温暖化が進むと低層、我々がいるような地表面に比べて5km、10km上の大気の高層の気温上昇が上がるので、大気が安定化する。つまり台風を強くする循

環が起きにくくなります。ですから、この安定化する将来の気候条件と海面からの熱供給がどうバランスするかというのは、台風が将来どれくらい強くなるかを決めるというところで、これはモデルによっても随分違いますので、はっきり言いにくいということがあります。

もう1つは、そんなこと言っても台風はめったに起きないですし、大阪湾、東京湾に台風と強い高潮が起きるのも何10年に1回ではないか。そもそもイベントが少な過ぎて評価できないという問題があります。これは現状でもその問題は強くて、きょうの後半に兵庫県の服部局長も現場の話をされと思いますが、もともと高潮の長期評価が難しいという問題があります。

これをどうするかというのは結構我々も考えまして、4年ほど前に文科省のプロジェクトで大規模気候アンサンブル、d4PDFをつくりました。これは全球大気モデルを使って、とにかくいっぱい計算する。過去に起きた60年は1回しかないけれども、コンピュータの上でうまくシミュレーションを100回できれば何千年ものデータになるので、それで評価すればいいのではないかと観測を1回していたやり方になります。

これが1例です。左は60年の現在を計算すると、東京湾を通過する台風は3つか4つしかないのですが、それを100回繰り返すと右の図のように十分なサンプルが出ます。50年、60年の観測及び計算から100年に1回の高潮を求めるのは大変ですが、6000年もあれば、100年に1回の高潮を求めるのはそんなに大変ではないだろうというコンセプトで行いました。

この研究は文科省、気象研、東大、京大、JAMSTECでやりまして、ちょうど地球シミュレーターというスーパーコンピュータがリプレースするときうまく計算できました。ですから、同じことをやろうと思うとスパコンを1年ぐらい専有する必要がありますので、もう1回やれるかどうか自信がありませんが、結構いい予測データになりました。

100年に一度の高潮がどうなるかというのをまず全球で見まして、この海岸線の色は、将来の100年に一度の高潮はどのくらいふえるかという予測結果です。赤系が30%以上ふえるということで、西日本

と渤海、東シナ海がふえる。これは台風が強くなることと、もともと浅いので、台風の影響を強く受けるエリアになります。

それでは、1つの湾で見たらどうなるかという例をお示しします。これは大阪湾の例で、横軸が高潮の水位です。縦軸が何年に1回かというものになります。100と書いてあるところは、100年に1回の確率の高潮の水位になります。青が現在の気候条件の計算結果で、赤が将来の気候条件の計算結果になっております。ですから、今年の台風21号の高潮偏差は2.7mぐらいですので、これで見ると150年から200年に1回ぐらいですが、これが4℃上昇の場合ですと50年に1回ぐらいということで、3倍来やすくなる結果になっております。言いかえると、一生に1回見るか見ないかぐらいのものが、一生に1～2回ぐらい見てしまうのが、このシミュレーションの結果になります。

この内訳がなかなか興味深くて、ここで赤と青がクロスしているので、将来の気候では、よく来る高潮は現在減るということになっていまして、たまに来る強いのがふえるという結果です。途中から平行になっているので、途中まではふえるけれども、ある程度いくと現在も将来も平衡状態になります。

内訳を調べますと、これが水位に対する内訳です。大体マイナス30cmぐらいの効果が左側の赤線で、これが将来の台風が個数が減るという効果です。余り起きにくくなる。上陸数も減るので、よく来る高潮は減るといのがこの説明になります。青い線が、台風の強度が強くなるという効果をあらわしています。ですから、この計算では将来の台風は大分強くなりますので、100年確率ぐらいまでは単調にこの効果があって、その後飽和するような結果になっております。大体100年に一度ぐらいの高潮については、大阪湾のこのモデルの結果では、一番変化率が大きいという余りよくない結果になっています。

ほかのシナリオ、気候条件だとどうかというのも、別のやり方で調べました。今の計算は4℃の話ですので大体このあたりで、別な計算でも大体60cmぐらい将来平均的には増加するだろうというのが、これは大阪湾の例ですが、我々の結果になっております。シナリオが、緩和が進むに従って左に行くと、

大体20cmから25cmぐらいになるだろうという結果で、高潮も気温と同等に将来のシナリオといい応答を示しているというのもわかってまいりました。

RCP8.5で60cmというのは、海面上昇量が70から1mぐらいと予測されていますので、それにアドオン、乗せる値です。ですから、かなり大きな値にトータルではなることがわかってまいります。

これは我々が今オンゴーイングでやっている結果です。研究としては、きょうは大阪の例を主に見せましたが、伊勢湾、東京湾でもやっております。それ以外の日本沿岸でどうなっているかをまず知りたい。地域・湾スケール。湾スケールの評価はなかなか難しいので、そういう細かい評価もしていきたいと思っています。

また、今世紀末だけの話をしていてもなかなか難しいので、2030年にどう、50年にどう、75年にどうという時間的な変化もそろそろ追っていきたく思っております。

残り10分ぐらいについては、これに対してどう適応していくかという話をしたいと思います。この話の一部は、4省庁の気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会にぜひ採用していただきたいと思っております。

最初のスライドに戻りますが、我が国の沿岸防御施設の考え方としては、基本的には高潮偏差と打ち上げ高をしっかりと予測しようというふうになっております。計画高潮位に打ち上げ高、基本的にはそれに朔望満潮位が乗ってくる形になります。

これに気候変動の影響をどう入れるかということですが、単純に足していくのが普通の考え方で、まずは朔望平均満潮位に海面上昇量を足す。高潮についても、高潮の将来変化量を足す。打ち上げ高についても将来変化を足す。基本的に先ほど御紹介したように、日本に限っては右側の量はほぼ全部プラスですので、プラス、プラス、プラスで余りいいことはないというのが現状の気候変動の予測結果になっております。

海面上昇、平均海面、高潮、高波が将来どう変化するのにどう適応するか、設計としてどう考えるかというのは次の大きな問題です。設計の場合は耐用年数がありますので、例えば2080年まで使えると決めたら、この年の平均海面と高潮偏差と打ち上げ

高がわかれば設計はできるのですが、本当にそれでいいのでしょうかというポイントについて簡単に説明したいと思います。

1つは、この縦軸は何でもいいのですが、高潮とか高波だと思えば、これは確率過程みたいなもので、何年に一度何メートルのものが来るというサイコロを振っていることになります。そのサイコロの期待値がわかれば、それに対して設計するというのが1つの考え方です。ですから、100年に一度の高潮が3mだったら、それに対応すればいい。100年に一度の高潮が3mというのは、あくまでも期待値で本来なら揺らぐのですが、それについては余り今は考えないということで、極端なこういう現象はランダムな確率過程と扱っております。

それはそれでいいのですけれども、次に気候変動の話を入れると幾つか問題になってきます。1つは、どのシナリオを選んで設計するのかという問題です。もう1つは、どの高潮、海面上昇それぞれがどの時間スケールで変化していくのかという時間軸情報の話が必要になっています。

このシナリオの選択は結構難しく、また別の考え方が必要で、これは気候予測の不確実性になります。ですから、上の乱数みたいな話と違って別の不確実性が入ってくる。これに対して設計していくには、どのシナリオを選ぶのか。RCP8.5なのか、2.6なのか、4℃、2℃、どっちだ。日本の場合は幸いにも中央政府が、基本的にはRCP2.6しか適応策はない判断していますので、この選択の余地はないということで、幸いにもこのシナリオ不確実性は基本的には余り考えなくていい。

ただし、予測不確実性は依然として残ります。青のRCP2.6を選んだとしても、この幅で95%信頼確率だと思いますが、将来予測は差があるということになります。

この時間スケールについても、ちゃんと考えないといけない。きょうはお話ししませんが、社会も変わっていく。冒頭で暴露、人口、資産が変わっていくのも、実際のところ本当は考えないといけないので、これらがどういうふうに変っていく中で適応策としての海岸保全施設を考えるかというのが大事になってくると思います。

特にシナリオの不確実性、気候予測の不確実性と

いうのは、現在から遠くに行くとどんどん広がっていきますので、不確実性が一定ではないのです。遠くに行けば広がるというのが難しいです。

あとは適応すると言っても、急に適応できるわけではないです。農作物だったら、来年からコシヒカリから何かに変えましょうというふうにできます。しかし例えば防波堤を来年急に3m上げましょと言われても、無理だということで、どういう時間スケールで何が動いているかを把握するのは難しい。これを決めるのは我々研究者ではなく、ここにいらっしゃる多くの皆さん、政策を決定する人の判断になっていくと思います。

こういう不確実性を別の観点でまとめると、左の図のようになります。1つは偶発的不確実性になります。何度も繰り返しになりますが、自然そのものが持つ変動です。高潮が今年来るかもしれないし、来ないかもしれない。台風が東京湾を通過するかもしれないし、しないかもしれない。これは空間的にも時間的にも変動する確率過程として捉えるといっているので、現行の波浪の設計ではこうなっておりますが、高潮の設計ではこうなっていないというのが現状になります。

右側は認識論的不確実性になります。そもそも我々が気候変動をどこまで予測できるのか、予測できるモデルを持っているのか。予測できるモデルのいろいろなパラメーターがありますので、それは最適化されているのかというのが別の不確実性になります。

この認識論的不確実性というのは、基本的には乱数ではないので、これをどういうふうに捉えていくのかというのが新しい問題になります。とは言っても、海面上昇で示された幅も1つの確率分布として捉えられますので、認識論的不確実性というものも、確率評価しないと設計には持っていけないということになります。

ですから、これまでについては高潮、高波の確率評価を施設設計ではしてまいりましたが、気候変動を取り入れた施設設計をする上では、今まで考えてこなかった海面上昇及び気候の不確実性、認識論的不確実性を確率評価して取り入れないといけないというのがかなり重要なポイントかと思っております。

もう1つは、高潮とか高波の生起確率というのは、乱数でぐくまれにある場所で数時間起きますが、海面上昇量の不確実性というか、海面上昇量は一旦その世界が実現してしまうと、ずっと続く。つまり1m海面上昇が上がると、数10年ずっと上がり続けていますので、その状態が常が続くということで、同じ確率で評価したとしても、それが恒常化しているのか、ごく短期間にパルス的にやってくるのかという大きな違いがあるという認識が必要かと思いません。

これは我々が提案している温暖化に対する順応的考え方です。これは横木先生が話したのと似ているのですが、ちょっとバージョンアップしております。青いのが水位です。高潮でもいいのですが、水位がこういうふうにある。赤が温暖化の今予想しているトレンドになります。緑が許容範囲です。防波堤で言うと、水位と高さというふうに見直していただいても構いません。現状でも災害は、ある許容範囲を超えると起きるということになります。

先ほどまで私が説明したのを図で書くとこういう感じになりまして、基本的には海面上昇、高潮、高波分はそれぞれ上昇のトレンド、変化が今のところ予測されている。それに対して海岸施設の設計及び導入を図る。ただし、適応策というのは急に導入できませんので、ある時点で開始してある時点で終わると、また防御ラインが上がるというふうになります。

ポイントとしては、これが早過ぎたりここが低過ぎると過剰投資だと言われますし、これが遅れると何やっているんだと言われますので、適切な時期に適切なレベルになっているように適応策を開始していかなければいけないということで、この時間軸と防御レベルのアップをセットで考えていかないと、国民の皆様から怒られる状況になってまいります。

具体的には、まず青い自然変動、偶発的不確実性も考える。あと適応策の時間スケール、温暖化の時間スケールもセットで考えないといけない。もちろん将来の不確実性は高いですので、今から2100年のことに対して全部適応するのは、高コストですし外す可能性も高いですから、できるだけ適応策にはフレキシビリティが必要だということになってまいります。

これを踏まえた結果が、国交省の治水計画のあり方委員会で提言されていまして、対応できそうなもの、ゲートを後で上げられるように構造をつくっておくとか、基礎を後から広げられるように余地を残しておく、こういうのが河川では提案されています。この中では、供用期間内に強度が不足しないようにしてください。予測の不確実性も踏まえて、手戻りのない構造にしてくださいと書いてあります。私が先ほど言ったことがほぼ書いてありますが、これを実現するには、先ほど紹介したように温暖化に伴って高潮なり海面上昇が、どのくらいの時間変化と強度変化を持っているのか前もってわかってないと対応できないプランになっています。

海岸施設も同じような考え方を導入すると、まずは施設の拡張性が大事になってきます。特に初期コストと拡張コストをどういうふうに見積もるか。初期コストが非常に高いものは最初から選択するしかないですし、後で拡張できるものは拡張したほうが良いというふうになります。

ただし、段階的に更新ができるのはこれでいいのですが、最初に全部やらないといけないのは、最初にやるしかない。ただし、それについても個人的な考え方としては、施設がどれくらい重要かというのを踏まえて、いきなり2100年に全部対応するものをつくるのか、対応できなくなるのも許容してある程度のところでとめておくのかを決めるべきで、これは施策決定者の判断になると思います。

とはいえ、対応できなくて防波堤が破堤してしまうのはまずいので、設計外力に対する脆弱性は重要です。越流は許すが破壊は許さないとか、そういう考え方を入れていくのが海岸施設としては大事であると思います。こういう施設の拡張性、重要度を踏まえながら、あとはどういうふうに温暖化の予測を使っていくかというのが海岸の保全施設に対する温暖化の考え方の一つのポイントかなと思います。

最後に1、2分だけ時間をいただいて紹介しますが、去年、台風21号が大阪湾を直撃して、過去最大の高潮を起こしました。これについて詳細は後で服部局長がしゃべられると思いますが、このように淀川を高潮がのぼって、この辺のゲートが閉まって、大阪市はうまく守ったという例になります。

この中で1つ活躍したのは、ここにいらっしゃる

皆さんは御存じだと思いますが、大阪市のエリアは高潮防潮堤が3つ大きなものがありまして、これで市内を守っております。右側が海で左側が内部で、なかなか報道には乗ってきませんが、これがほぼパーフェクトに機能して、大阪市のエリアの浸水を防いだということです。これは第2室戸台風の後、1970年代に堤防も含めて1,300億円かけてつくられたもので、60年弱で1回ものすごく役に立ったという非常にいい施設で、この費用対効果についても国交省で報告されています。

ここまではいい話だったのですが、ポイントは、あと10年ぐらいで耐用年数が終わりがかけておりまして、次のゲート設計が始まっています。これについては大阪府と国交省が協議しながら設計を進めておりますが、耐用年数が大体60年から70年の想定のもとでやっているのです、少なくとも2100年まではこういう事象に対して対応しなければいけない設計になっております。

これは先ほどの図と全く一緒ですが、これを大阪の高潮防潮堤に当てはめるとこういう感じになりまして、設計が今年から1年半ぐらいでやる。施工に9年かかるので、2030年から遅いほうの3期目は2040年ぐらいにできます。供用年数は2100年から2110年ぐらいを考えておりますので、こういう状況、このスケジュールの中で設計条件を決めないといけないというのが今の高潮防潮堤の話になっていきます。

これは温暖化の話なので結構遠い話なんですけれども、今年、来年、設計を決めていかないといけないという話になっています。最悪の場合はちょっと予測を外して、思ったより高い将来変化が起きて災害が起きる場合も当然ありますし、そうではない場合は外して下のほうに行き、何か高コストのよくわからない大きいものをつくりましたね、という将来も当然あるということです。

ここにいらっしゃる皆さんは、この手のジャンルが一番かかわっていると思います。温暖化の話は遠い話ではなくて、海岸の施設設計の中では、特に高度成長期、1960年から70年につくられたハードは今どんどん見直し、リプレースに入っていますので、その中では一部はこういうことを今考えないといけない状況が大分近づいているというのが現状かと思

います。手戻りがないとか後悔しないためには、いい気候変動の予測をして、確度の高い影響評価して、さらにどういう適応策が海岸保全施設として大事か、これは施設ごとに全部違いますので、それをしっかり考えないといけないというのが私からのまとめになります。

御清聴ありがとうございました。

気候変動による沿岸域の農業水利用への影響

農業・食品産業技術総合研究機構 沿岸域水理ユニット長

吉永 育生

御紹介ありがとうございます。農研機構の吉永と申します。

私実は今の所属に異動したのが半年前の4月からでして、この発表のチラシを見たOBの人から、「吉永君、いつから海岸の専門家になったんだ」と冷やかされてしまいました。これまでどちらかというところ閉鎖性水域の水質関係のことをやっておりました。なので、ここで発表するのはいささか居心地の悪い思いをしております。ただ、お話自体は半年以上前にありましたので、長い時間かけて資料を作りました。少しでも皆さんの興味のあるお話を提供できたらいいかなと思っております。よろしく願います。

私が御紹介する内容は、沿岸域とか沿岸の背後地の農地となります。それで考えてみたキーワードが前に示しています。今回話題になっている気候変動、海面上昇、台風の強大化等です。あと沿岸域で問題になっている事象として、地下水の塩水化、地盤沈下ということ。もちろん都市住民との混住化が農村の中では問題として起こっております。一番最後は農政の問題になりますが、高齢化、担い手の減少、米政策というもので、住む人とか地域を担う人たちが減っているという現状があります。今日、話題提供するのは、この黄色に関連するものについて御紹介します。

発表のアウトラインですが、こんな感じのことを御紹介します。大きくは4つです。もともと私は沿岸の専門家でもないですし、森先生から、あり方委員会のことに関連するバックグラウンドに近いことを非常に詳しく御紹介いただいたので、4つ目は軽くて良いかなと思っております。沿岸の現状、気候変動による影響、関連する知見、研究事例等です。

こちらに紹介している写真は、柳川の低平地のと

ころです。知っている人は知っているかもしれませんが、このあたりに入学の競争倍率40倍というものすごく難しい競艇学校があります。

次に沿岸域の概要について御紹介します。こちらが大牟田の干拓地になります。これは典型的な干拓地で、この辺が干拓されていて、こういったところに潮遊びとか調整池をつくって一時的なバッファーとしています。ご覧いただくとわかりますが、これは非常に大きいです。上が淡水で、下に塩水が入っているので、表層と下層で密度が違う。風によって密度の界面が揺らいだりするので、ここは過去のいろいろな研究テーマになっていたところ。です。

皆さんにお配りしたテキストについて御紹介します。そもそも、日本における低平地がどんなものかという位置づけです。日本は4分の3ぐらいが山です。低平地の割合は物すごく少なく、例えば10mで区切ると国土面積のわずか6%しかありません。30mで区切ったとしても1割ちょっとです。

そこにどれぐらいの人が住んでいるかということ、10m以下ですと3割ぐらいの人が住んでおります。それを標高25m以下で区切ってしまうと、半分近くの人が住んでいることになっています。これが2017年の研究報告ですが、もう少し前のデータを使っているはずなので、低平地に住んでいる人の割合はだんだん増えているはずですので、人が住んでいる割合はすごく多くて大事である、と言えます。

一方、農業はどうかということで調べてみたのですが、残念ながらあまりいいデータが無い。理想としては、「生産性が高いとか、これぐらいの食料生産している」、だから「低平地の農地は大事だ」ということを言いたかったのですが、良いデータがなくて、標高別であるのは唯一集落の数だけしか出てこない。全体の13%が同じく10m以下の標

高にあるということです。

私の発表の資料ですが、いろいろなところから引用して作っておりまして、引用は下のほうに書いております。

次のページは農地海岸の延長についてです。日本全国の海岸線の延長が36,000kmありまして、地球1周にちょっと足りないぐらいの距離です。そのうち要保全海岸があります。農水省が管轄する部分が約1割の1,600kmになっています。1,600kmでピンとこなかったのですが、調べてみると成田空港から那覇空港までの直線距離がちょうど1,600kmでした。それぐらいが農水省が管轄する距離になります。

こちらが農地海岸の内訳になります。北海道に多く、あと石川。これは河北潟です。ずっと行って瀬戸内、有明海、八代海とかに農地海岸が非常に多い状況になっております。

3ページ目、農地海岸の状況はと言うと、非常に優良な農地として使われております。熊本県の八代ではトマトが非常に有名です。福岡県の柳川ではナスです。大分県の豊後高田市では白ネギになっております。「低平地の農地は生産性が高い」というデータがあるか探してみたのですが、意外と無いです。なぜ低平地の農地が良いかという、区画が広くて、機械が入れやすく、肥料は基本的に化学肥料で入れることが多いので、効率化が図りやすいのが要因ではないかという気がしております。

低平地の特徴としては、当然標高が低いです。プラス用水路と排水路が非常に複雑に存在しています。これらはゲートで操作管理されておりまして、ゲートの開け方によって水の流れ方が変わる状況があります。これは農水省系の土地改良区の管理組織が管理していることが多いのですが、少ない人数で管理されている場合が多くて、雨が降ると少ない人数で一生懸命水門の管理をして、地区から排水を行ったり、逆に農業用水として確保するという管理をされている実情があります。

下のほうに参考資料1と書いていますが、後ろの17ページに参考資料1が入っておりまして、こちらは農水省さんの資料で農地海岸の概要になります。農地海岸がこれぐらいあって、6割ぐらいが干拓地である。生産性の高い農業が行われている。例えば有明海東部地区の大牟田、柳川のところでナスの栽

培が行われています。次が熊本県の玉名横島干拓でイチゴです。私は中学校のころ横島イチゴマラソンに出たことがありまして、何か平べったいところをずっと走ったイメージがあります。「横島」と聞くと、もう「イチゴ」というのが紐付けられています。次が西国東で、これは先ほどお見せした写真と同じですが、白ネギが非常に有名になっております。優良な農地がつくられている状況です。

4ページに戻りまして、申し上げたとおり低平地は非常に低いので、必然的に災害に対してすごい弱いです。災害被害についてまとめてみました。農水省のホームページに災害被害額が載ってまして、地震と風水害とその他で分けたのがこちらのグラフになります。東日本大震災が当然突出しているのですが、ここ数年見ていると、オレンジが風水害による被害額ですが、非常に高いです。昨年度高かった理由は、平成30年7月豪雨による被害がとても多かったです。

今年度は皆様御記憶に新しいと思いますが、台風15号、特に19号が大きくて、ホームページが更新されるたびに数字がふえていっているのです、まだここで止まらないのではないかと思います。この数字を合わせるだけで3,000億円の被害額を超えてしまうので、今年度も風水害による農林水産関係の被害は大きいのではないかと、低平地が多く被害を受けているのではないかと考えられます。

東日本大震災のときに、ここが突出しているのが気になったので調べてみたら、ここは奈良とか和歌山で山崩れが起きて、山から流れ出た土砂とか木が川をせき止めて天然ダムをつくって、そこから被害を出した災害を御記憶があるかと思います。それによる被害が大きくて2011年は大きな額になっております。

平成11年台風第18号の高潮について詳しく御説明します。九州の真ん中に熊本県があって、ぼこんと左側に出ているのは宇土半島です。その北側が有明海で、南側が八代海になります。ちなみに私の実家は熊本県の天草でして、熊本市に遊びに行ったりするのにこの辺りを通ったことがあります。不知火町の松合地区が被害に遭いました。不知火というのは、火が消えたり消えなかったり神秘的な光が見えるところ。その中でも松合区はそれが非常によ

く見えるというので、ある意味有名なところですよ。

こちらの対岸は八代市になりますが、干拓地があります。簡単に御説明すると、ここまでが昭和初期にでき上がった干拓地で、その後さらに新しく昭和40～50年ぐらいだったと思いますが、後からでき上がった干拓地です。このあたりも農業被害が起きました。

結論から言いますと、12名の方が高潮で亡くなっています。堤防の高さが7mです。堤防の上を国道が走っていて、堤防は高潮に対して十分な防御を示したとされています。高潮は堤防を乗り越えなかった。ただ、昔ながらの町で、船溜まりが集落の中まで入ってきており、そこは国道の下をトンネルのような形になっています。そこが5.5mしか堤防の高さがなくて、そのトンネルから入った水が集落の中に流れ込んでしまって、ここの集落に対して被害を及ぼしたということです。

勢いのあるエネルギーの強い水が来たというよりも、じわじわと中から内水氾濫と言うと変ですが、水が来て急に水かさが上がった。亡くなった方の多くは、平屋で水が増す中でおぼれ死んでしまった。2階がある家とか、天井が破れば助かったということを知っています。今は水門が海側にできているので、これに対する対応策はできております。

この対岸が先ほど示した八代の干拓地でして、こちらにはすごい農業被害が起きました。第2室戸台風のとき以来38年ぶりに、国庫補助による塩害対策事業が行われたそうです。これはまれと言えば、まれなケースでした。台風がやって来てちょうど有明海のところで、具体的には八代の近くを通して被害をもたらした。

似たような規模の台風が平成3年に1回来ています。通称「りんご台風」と呼ばれるものです。何で「りんご台風」かと言うと、ずっと行って青森県のあたりで暴風雨が起って、りんごが落ちたんです。りんごがたくさん落ちたので「りんご台風」と言います。逆に落ちなかったりんごも幾つかあって、それは農家の人のアイデアで、受験生に対して「落ちないりんご」というので売り出したのがありました。私がちょうど大学1年生のときだったので、二浪していればこれ買っただろうと当時思っていました。これがりんご台風です。

それとほとんど同じような経路で、平成11年の台風がここにやってきました。これを詳しく数値解析でその成分を分離した例ですが、この塗りつぶしているほうが被害をもたらした台風です。台風による潮位偏差は2mないぐらいです。ところが、りんご台風のほうは3m近くあって、台風の規模はりんご台風のほうが大きかったのですが、りんご台風のときはたまたま干潮に当たっていて、この白抜きと白抜きを足したところで、そんなに高い潮位にならないんです。ところが運悪く平成11年の台風ときは満潮が重なってしまったので、ここの波とここの波が当たってしまって、結果的に潮位が高くなって7mぎりぎりぐらいまで、堤防の高さぎりぎりまで上がってしまった。堤防は地区を守ったのですが、先ほどの船溜まりの所から集落に水が入ってきたということです。運悪く満潮に当たってしまったという事例です。

まさかと思うのですが、満潮だからと油断したということは絶対ないと思うのです。私も小さいころ、うちは漁業とは関係なかったのですが、お年寄りの方が亡くなりそうになるといつも、「今引き潮だから危ないよ」とか。引き潮のときに人が亡くなるみたいなジメスが田舎にあって、みんなそれを何となく良く知っていたので、海辺の人が干潮・満潮を知らないということは無いと思いますので、ちゃんと備えがあったと思うのです。それよりも災害の規模が大きかったのではないかという気がしております。

逆に良い例を2、3御紹介します。富山県の例です。平成29年に既往最大の台風が来て、被害が出るかと危惧されたところだったのですが、しっかり防御施設ができ上がっていたので、浸水被害がなかった。平成20年に浸水被害を受けて整備した結果、守られたという例です。

あとは大阪湾の例があります。こちらも参考資料を後ろにつけておりますので、ごらんになってください。この辺は服部局長のお話とかなり重複するので省略します。

先ほどの富山の例では、浸水被害がゼロでした。大阪湾の例では、17兆円の被害を防げた。効果が17兆円に見積もられるのではないかという例です。

話は全然関係ないですが、東京駅と羽田空港の滑

走路、どっちが標高高いと思いますか。「国土地理院、標高」と打つと、標高が簡単にわかるサイトに当たります。いろいろなところを調べると面白いです。ここ、星稜会館は14mで意外と高いです。結論は、若干こっちが高いです。羽田空港が4mから5m、東京駅が3mから4mです。八重洲口とかあの辺の国道を調べると3~4mなので、滑走路のほうが若干高いです。それぐらい東京は非常に低いというイメージをお持ちになればいいかと思います。

それから、最近の気候がどんなものか。気象庁が出している「気候変動監視レポート」というのは非常に面白いです。とても詳しく書いてあります。台風が2018年は29個、今年は27個来ています。上陸数、強いとかの発生数は、サンプル数が少ないので何とも言えないようです。ただ、感覚的には最近では台風が強くて、よく来るなどというのは肌で感じる場所です。

これもかなり重複するので、はしょります。

これは全く別の話題提供ですが、私はICID（国際かんがい排水委員会）に所属してまして、会議があります。食料や繊維の供給強化を目的とする非営利・非政府の国際機関なので強制力がないんです。話し合っただけの意見交換するだけになります。逆にフランクに話し合えるという良い面もあります。その中で出てくるものとして、世界各国の共通認識として、「低平地は非常に重要である。農業だけでなく商工業、都市としても重要です、交通の拠点としても重要です。また、観光資源としても有望だ」と言われています。

こちらのイメージが、これからの沿岸域の開発をどうするか。いろいろなステークホルダーがいる中で、誰を優先してどこをどう調整していくかというのは今の話題になっております。一方で、気候変動に対するリスクが大きいということがあります。

これは台湾の例ですが、台湾も台風が強いので、防災マップを作ったり、備えをしたり、訓練するというのが紹介されております。

これは若干違うのですが、気候変動で海面が上がると他に、地盤沈下も気にしたほうが良いというのがこちらの図です。途上国を中心に水資源の開発で地下水をくみ上げているところがたくさんあります。年間数センチのオーダーで地盤沈下が進むと、80年

経つと当然海面の上昇よりも早いスピードで地面が落ちていきますので、それはそれで課題になっていきます。そういったことを議論しております。

簡単にまとめますと、海岸のそばの低平地は、農地に限らず、地域として非常に重要であるのですが、さまざまな災害のリスクがあって非常に脆弱である。いろいろな要因がありますが、低平地の視点から立つと、海から来る脅威なのか空から来る脅威なのかというのはありますが、いろいろな脅威にさらされている。それから地震も場合によってはあります。

これはイラストサイトで「災害」のキーワードで探すと、竜巻、雪、火山、隕石まで出るのですが、この辺は余り関係ないだろうと思っています。大昔、火山に近いのは1例あります。先ほどの宇土半島の有明海側で雲仙が爆発したときに、火山性の地震が起こって、雲仙の山が崩壊して津波を起こして、熊本県側ともう1回返し波があって島原のほうでやられて、「島原大変肥後迷惑」というフレーズが残っているのが1個ありますが、それも可能性は低いでしょう。要するに水災害とか逼迫する水資源への備えが必要でしょうというのが簡単なまとめです。

これから知見を御紹介します。東日本大震災のときに農地が海水をかぶりまして、どのように復旧したかです。除塩は、基本は雨でかなり回復できます。プラスかんがい排水があると良いです。日本の場合は降水量が少ないところでも1,500mm、多いところだと2,000mmを超えるぐらいの降水量があります。蒸発散量が年間で700とか800mmぐらいのはずなので、差し引きすると1,000mm近い水が余っていると言うと変ですが、1,000mm分は貯留されます。それが下に沈んでいくとその分一緒に溶質も移動しますので、1年たつとかなり塩分を含む土壌水は下に抜けることとなります。

暗渠、地中に排水管を入れると、これを促進することができます。さらにフレッシュな農業用水があると、それを供給することで短時間での除塩が可能になります。これが東日本大震災の後です。これは除塩の最後の段階として、表土をきれいにするために、積極的に水を入れてどんどん捨てているような状況になります。ただ、例外がありまして、先ほどの干拓地とか標高の低い農地や、地震の後に地盤沈

下が起こってしまうと、鉛直方向に水が抜けないので、それは課題になります。

これは全く別の研究成果で、地下水関係の研究室の研究成果です。地下の透水係数を調べるときに、2カ所の井戸からその水位変化をはかることで推測するものです。一般的な方法として、井戸を掘ってその水をくみ上げて、その水位がどのように回復するかを調べるのが基本的な方法ですが、そもそも塩水浸入の影響を受けたところでそれをやると、塩水まで引き込んでしまうので不適切です。この方法は2カ所の井戸の水深を連続して測るだけで良いです。測って、その2カ所の波を数学的な処理をすると透水係数を推測できます。

この研究成果のメリットは、非常に厳密な数学的処理をしているにもかかわらず、表計算ソフトでできるというものです。よくありがちな研究成果として、表計算ソフトで処理できるが、この辺とこの辺の条件は無視している場合が多いのですが、これは条件を無視せずに、表計算ソフトでできるのがメリットとなっています。今適用されているのは沖縄の離島で、地下水開発のためにこの手法で透水係数を計算して、水資源開発の役に立っているそうです。

これはうちの研究室でやっている研究で、今年が研究の最終年度です。海岸を対象としていないのですが、海岸の一手手前の低平地を対象にした研究です。初期画面で気象関係の防災画面が出てきて、そこから進むことで、リアルタイムで予測を行うシステムです。1個目のリアルタイムは、排水機場の水位予測を行います。現在までの水位と雨量、あと天気予報の雨量を入れることで、未来の水位を計算しようというものです。一応「AI」と言っていますが、ニューラルネットワークモデルなので、知っている人は知っている古くからある手法です。これを使って水深のリアルタイム予測を行うのが1つです。

もう1つは、低平地の水路の水深を次元モデルで計算してリアルタイムで行うものです。これによって、どの水路のこの辺が危ないということをリアルタイムで行うものです。

もう1つはおまけ的なものですが、データ参照機能がありまして、より詳しい計算結果を表示したり、UAVで撮った画像を重ねたり、浸水面積を計算したりということが出来ます。

もう1つ、これがまだ始まったばかりの研究ですが、水門の水深とゲートの高さをデジカメで撮って、それを管理者に送ろうという研究をやっております。これが立ち上がった経緯は、東日本大震災のときに、水門の操作に行かれて亡くなった方がいらっしゃいました。また、沿岸域の水門が津波で破壊された後、各省庁が管理する水門が多数あって縦割りになっている状態で、どこがどう管理されているかよくわからないというものがありません。このため、4省庁の水門を一元的に管理するシステムを作るのが目的です。うちは農水担当なので農水系の水門についてこういった研究開発をやっていきます。昨年度からの大きな研究プロジェクトです。4省庁で東ねるところまでがこの研究の最終ゴールですが、それだけだと物足りないので、できれば沿岸域の低平地の排水路を水理解析と一緒に管理できるといいなと思って、研究に取り組んでおります。

こちらは先ほど森先生があり方委員会の議論についておっしゃっていましたが、十分過ぎるほど御説明いただいたので、私から追加で申し上げることはないと思っております。

最後に、先ほどの不知火海の台風の被害を細かく調査した人がいて、その人から資料を頂いたので御紹介します。今、農工研にいる人ですが、当時は九州の試験場にて、たまたま八代のイグサの畑から出る栄養塩の研究をされていました。台風が試験場のある西合志のあたりも直撃しましたし、八代の自分の調査フィールドもやられたので、翌日に調査に行かれた結果です。お手元の資料には学会誌の引用をしておりますので、詳しい情報はそちらにあります。

ご紹介するのは、ほとんど写真だけになります。この写真の向こう側が海で、ここも潮遊びで、こっちに水が来た。ここに土嚢を立てて防ごうとしたのだけれども、だめだった地点です。この写真は不知火干拓地の中でまだ引いていない状況です。これも同じく、水が引いていつている様子です。近くに停めてあった車が落ちている。

これがよくわからなかったのですが、恐らくこっち側が干拓堤防ですね。ハウスが被害に遭った様子です。これは高潮が堤防を乗り越えてきて、ここはえぐれてやられている状況です。こちらと同じく氷

川の堤防が壊れている。農地が被害を受けている状況です。こちらも湛水している状況です。ここに用水のパイプラインで通っており、ところどころ壊れているような状況です。

ここに住宅がありますが、床下ぐらいまで浸かったようです。農地が被害に遭っている様子です。これも同じくハウスが被害に遭っている様子です。電信柱が傾いている。これは直後ではなくて、しばらくたった後です。稲がやられている。先ほど申し上げたとおり、1年たてば多くの場合は塩が抜けることが多いのですが、干拓地なのでそうはいかないでしょうね。

これが排水機場のところで被災した様子です。これは御本人が撮ったわけではなくて、役場からもらったとおっしゃっていました。排水機場のここまで海水が来たという跡です。家も壊れている。申し上げたとおり、被災対策として国庫補助で38年ぶりに除塩対策の事業が行われました。実は東日本大震災のときに、関連する除塩対策の文献を農地関係の人が探したのですが、ほとんどなくて、結局、この八代での知見をもとに当時は東日本大震災のときのマニュアルをつくったとおっしゃっていました。除塩対策です。これも同じです。

これは、たまたま飛行機に乗ったとき撮ったらしいのですが、この辺の干拓地と、松合地区はこの辺になりますが、被害を受けたところです。これが衛星写真で、このあたりがイグサを盛んにやられているところで、そこが被害を受けた。

これで最後になります。とりとめのない話になってしまいましたが、ありがとうございました。

兵庫県の海岸における平成30年台風第21号の影響と 災害激甚化を踏まえた今後の対応

兵庫県県土整備部土木局長

服部 洋平

兵庫県県土整備部の服部と申します。どうぞよろしくお願いたします。

本日は、このような場で発表する機会を与えていただきまして、ありがとうございます。また、日ごろ国土交通省、農林水産省及び関連する公共団体の皆様におかれましては、本県の社会基盤整備の推進に御支援、御指導を賜っておりますことを、この場をかりて御礼申し上げます。

今日の私からの話は、先ほどまでの先生方の非常に学術的で高度な発表の後で大変恐縮でございますが、極めて行政実務的な話となります。本日のテーマである「気候変動」という部分はなかなかございませんが、昨年9月に本県を襲った台風第21号による高潮被害の概要と、その対応についてお話をさせていただきます。

兵庫県ですが、個性豊かな5つの地域になっております。海で申しますと、日本海、瀬戸内海、大阪湾、太平洋と性格の違う海に面しております。海岸延長は約850km、うち半分が海岸保全区域に指定されています。先ほど言った4つの海岸がこういう形で分布しています。

こちらは兵庫県を襲った過去の大きな高潮災害です。これを写真で見てくださいと、このようになります。戦前では、昭和9年の室戸台風です。室戸岬の上陸時の気圧が911ヘクトパスカルということで、大阪の隣にある尼崎市では、市域の3分の2が浸水被害に遭ったということです。昭和25年のジェーン台風ですが、地下水のくみ上げによる地盤沈下の影響も相まって、こちらも大きな被害となりました。この台風が本県の本格的な高潮対策の契機となりました。その後、昭和36年に第2室戸台風がまいりました。これはジェーン台風後の対策が功を奏しまして、人的被害は減少することができまし

た。

以降はこれと言った大きな台風もなく、昨年台風第21号を迎えることとなります。これは大阪湾では昭和36年の第2室戸台風以来、約50年ぶりの浸水被害となりました。こちらについては後ほど詳しく御説明します。

これまでの本県の高潮対策の歴史、経緯ですが、ジェーン台風を契機とした昭和25年からの高潮対策で、日本初のパナマ運河方式の閘門となる尼崎閘門を始めとした、尼崎から芦屋にかける第一線の防潮ラインの整備、それから地盤沈下対策等がありまして、昭和40年代から4次にわたる5カ年計画ということで、平成のかけかりには大阪湾の高潮対策は概ね完了しました。

ここからは台風第21号の被災状況について御説明します。まず台風の概要でございます。徳島県に上陸した後、9月4日の14時ごろ神戸市に再上陸しました。そのときの気圧は955ヘクトパスカルということですが、第2室戸台風と非常に酷似したコースであったこと、それから上陸時の台風自身のスピードが55kmから65kmという比較的速いスピードで通過したこともありまして、昨年、関西空港の被害がニュースでありましたように、これまでの記録を更新するような非常に強い風が吹きまして、神戸市内でも最大瞬間風速が45.3mを記録するという特徴がございました。

高潮の状況でございます。このグラフは尼崎検潮所での潮位変動のグラフで、上が潮位変動、下が風向・風速のグラフでございます。尼崎検潮所では、既往最高潮位の昭和36年第2室戸台風時のT.P. + 2.96mを約50cm上回る、T.P. + 3.53mを記録しました。このグラフを見ていただきますと、青い矢印のところ、約35分間で潮位が2.5mと急激に上昇し

たということ。それと下のグラフと見ていただきますと、この潮位の上昇のタイミングと風速のピークが重なっていること。少し見づらいのですが、この青い矢印が風向きをあらわしておりまして、それまでの東風が南西方向に切り替わった時からと、このピークが合致しているということで、風の影響が非常に強かったということでございます。

この図が台風第21号のコースと、これまでの大きな台風のコースの比較でございます。非常に類似したコースとなっております。最低気圧とか最大風速の数字を見ても、ほぼ同規模のレベルであったことが読み取れます。大阪湾は、大阪湾の西端を通る台風のコースが非常に高潮被害につながるということでございます。大阪湾は地形的に南西方向に開いた、奥が深くて比較的水深の浅い湾ですので、日本でも有数の高潮襲来地域と言えらると思っております。

次は高潮の浸水被害の状況でございます。これはお手元にはつけておりません。少し拡大した写真でございます。高潮の浸水があった場所は埋立地が中心でしたが、今見ていただいている写真は芦屋市の宮川という県管理河川でございます。河川からの溢水、堤防の高さが足りなかったところからの越流被害が、この宮川であると神戸市の高橋川で発生して、それぞれ10ha、13haの浸水被害が発生しています。

これが後ほど御説明します芦屋市の埋立地である南芦屋浜の浸水状況です。ここでは堤内地の住宅浸水被害で、床上が17棟、床下が230棟ということで一般住宅への被害。堤内地での被害が発生したことが特徴でございます。それ以外にも、市の公共下水処理場、県の流域下水処理場も浸水被害に遭っております。

ここから少し動画を見ていただきたいと思います。こちらが南芦屋浜のちょうど海岸の防潮堤の側から内陸側、住宅地側を見た画像でございます。駐車場のところを越えて越流した波が、低いほうに向かって流れ込んでいる状況でございます。

同じ場所からですが、今度は海側のアングルです。非常に大きな波が立っている状況が見えていただけます。これはちょうど芦屋市の消防の車が現地を待機しておったときに撮った画像でございます。

こちらは少し場所が変わりますが、陸地側の下水処理場の2階から撮った画像です。大きな高波が押し寄せる状況です。これは瀬戸内海の波ですので、2階の窓まで到達するような大きな波が発生しております。

これは西宮の河川を波が遡上しているところでございます。直接ここからの越波、越流はぎりぎり回避できたような状況です。

以上、見ていただいたような状況ですけれども、兵庫県では25年前に阪神・淡路大震災がございました。以降、洪水については平成11年、16年、21年、23年、26年と立て続けに大きな災害があったこと、それから平成23年の東日本大震災を踏まえ、南海トラフ地震に備えた津波対策、そういった治水対策や津波対策には重点的に取り組んでまいりましたが、正直、高潮というのは対策が一定完了したものということで、我々の側にも油断があったのではないかと思っております。

ここからは施設被害の状況になります。これもお手元の資料にはございません。拡大写真です。これは埋立地の防潮堤の陸側が破壊した状況です。これは高波によって漂流した船舶が県の防波堤を損壊した状況の写真です。これは防潮堤の破壊状況です。

これは少し特殊なものですが、関空連絡橋に船がぶつかったというのは全国的に大きなニュースになりました。実は兵庫県の中でも同様の事例がございました。見えているのは阪神高速大阪湾岸線の本体で、その側道の部分が県管理の県道となっております。この県道の部分に漂流した土運船が衝突して、橋桁が水平方向に約40cmずれて通行止めとなる被害が発生しました。

これは余談となりますが、こちらは現場の施工条件から、損傷した橋桁の部分を切断して、台船で受けて一括して撤去するという形です。逆に工場で新設した桁を同じようなやり方で、台船で一括して架設したという特殊な工法をとりまして、ちょうど1年後の今年の9月4日に供用開始したところでございます。

これは風によるクレーンの倒壊状況でございます。

これらの被害を受けまして、国交省近畿地方整備局様におかれては、発災後わずか2週間後には「大

阪港港湾等における高潮対策検討委員会」を立ち上げていただいて、本県も参画させていただきました。委員長は大阪大学の青木先生、先ほど御発表いただきました森先生、国総研様、港湾技術研究所様、気象庁様にも御参画いただいております。

県の方は、その下部組織として「尼崎西宮芦屋港部会」を設置しまして、被害状況の把握、被災原因の究明、高潮対策の見直しについて協議、検討していただきました。昨年度末には委員会として取りまとめを行ったところですが、この内容については後ほど御説明いたします。

ここから、取りまとめの中のハード対策の対応について御説明します。これがハードの施設整備の考え方ということで、左側が現行のもの、こちらが台風第21号でどうであったかという表でございます。お手元にはございませんが、少し見えにくいので絵にしてみました。

この左側です。これは被災した南芦屋浜の階段護岸の防潮堤の断面で説明します。左の部分が既設の考え方です。まず朔望平均満潮位にこの偏差ですが、この条件については、伊勢湾台風規模の台風が室戸台風コースを通ったという条件で算定した計画偏差2.7mに、先ほどの朔望平均満潮位を加えた設計高潮位としてT.P.3.6mという設定をしております。これに高波による必要高さということで、ここでは50分の1の確率波で、ここの堤前波でいうと波高2.01mというものを使っております。許容越波量等から計算して、必要な防潮堤高はT.P. + 5.2mという計算でした。

これに対して台風第21号ですが、これは今回の部会の中で行った再現シミュレーションに基づく偏差でございます。2.7mに対して2.59mということで、実測潮位は赤の3.11mということで、こちらについては計画規模におさまっていたところがございます。高波については波高3.26mということで、50分の1確率の波を大きく上回ったという結果が出ています。その状況は先ほど動画でも見ていただいたとおりでございます。

これらのことから、浸水の原因については、設計を越える高波での越波であること。これはCADMASを用いた越波流量を計算して浸水シミュレーションを行ったものと、実際の浸水実績を重ね

合わせておおむね合致しましたので、そこらのことはおおむね立証できたと考えております。

こちらが部会の中で行っていただきました、このたびの高潮の再現期間の評価でございます。高潮の偏差については50分の1ということですが、高波は方向別でSWが80分の1、右側はSSWの方向ですが、こちらは130分の1ということで、先ほど申しました50分の1の設計を大きく上回ったことは、こちらからも確認できたところです。

これらを受けまして、本県として今後の高潮対策、ハード対策については、上の方の丸ですが、堤内地の浸水した地区については、このたびの台風第21号災害と同規模の高潮・高波が来ても浸水被害を生じさせないという、再度災害防止を行うのを1つの方針としました。

それから下の方ですが、潮位は越えなかったわけですが、高波が大きく越えたということもございませぬ。こちらについては浸水した地区以外、これを全県に広げた「兵庫県高潮対策10箇年計画（仮称）」を現在策定しているところでございます。現在使っておる50分の1の確率波は、使用している元データが平成17年度までのものでありましたので、以降のデータ及び昨年度の台風第21号のデータを加味した、新しい50分の1の確率波に見直す作業を現在進めているところでございます。

ここからは緊急対策の内容についてももう少し詳しく御説明します。赤で書いているところの埋立地を中心とする海岸では6地区、それから先ほど申し上げた内陸の河川被害の遭った2地区、これらの8地区については、一番被害の大きかった南芦屋浜の南側については、来年の台風シーズンまでの完成を目指して進める。それ以外の地区についても、令和3年度末までの完成予定で対策を進めてまいります。

これが南芦屋浜についてのもう少し詳しい図面でございます。これは動画を見ていただいた住宅地のあった地区でございます。ここは少し特殊な事情がございまして、地元の方の関心や要望が非常に強い地区でございます。といいますのも、この埋立地は平成8年竣工ですが、県企業庁が開発した戸建ての住宅地となっております。護岸や地盤も高く、南海トラフを想定した津波の浸水想定でも、県が水防法に基づかない独自に作ってございました高潮浸水予測

区域図でも、南芦屋浜のエリアは白地というか、浸水しないエリアとなっております、住民の方いわく、その分譲者も津波や高潮でも大丈夫だという説明をされていた。私たちは海が見える環境を気に入って、だから家を買ったんだという方が多数おられる地区でございます。

もう1つ状況が悪くなったことがございまして、県が任意で平成19年に作っていた高潮浸水予測区域図というのがございます。今回の被災後色々な過程の中で、平成17年、図面の作成当時に用いた現況護岸高の測量高さに誤りがあったということが判明して、本当に真っ白だったのかということで、県に対する不信感を持たれてしまいました。このことはマスコミでも取り上げられまして、一時ワイドショーでも話題になった状況です。そういったことが地元の住民感情を、より悪化させた要因となってしまいました。

そういう背景もありまして、県としては誠意を持って非常に丁寧に地元に応えてまいりました。本日その現場で担当している人間も来ておりますが、10月、11月、2月と全体の説明会を繰り返しまして、4月以降も地元の代表でつくられたプロジェクトチームと深夜にわたる協議を何度も重ねまして、復興のための工法案案についても議論しました。

上の方の案1ですが、防潮堤の高さを単純に嵩上げするというので、この場合現在の防潮堤の高さ5.2mが7.9mということで、こここのところに直高約3mのコンクリートの壁ができてしまうということで、これは地元には受け入れられるものではございませんでした。

この案2が採用案になります。緩傾斜の護岸の形状を利用して、中段に波返しをついたフレア護岸を採用しまして、これによって越波量を軽減することで、後ろの壁の高さを低く抑える構造を採用しました。結果的にこの壁の高さは1.5mということで、大人の目線よりも下に持ってくる。なおかつ眺望に配慮して、8mピッチでコンクリートの間にはアクリル製の透明のパネルを設ける。ここに窓を設けるという案で、この9月、10月によく地元の合意を得たところでございます。

ここについては、こういったフォトモンタージュの資料とか現地に実寸大の模型を置いて、それを

オープンハウス形式の説明会で実際に見ていただきながら、体感していただいて御判断いただいたという方式をとっております。

こちらの工事ですが、国交省様の予算の御配慮もいただいたおかげで、9月、10月には延長1.5km、総額25億円にわたる護岸工事を発注することができまして、11月から工事を着工したところでございます。来年度の台風シーズンまでの完成を目指して工事に取り組んでまいります。

今のは被災地域での緊急対策でございましたが、次に10箇年計画についての御説明をいたします。この10箇年計画は、台風第21号の被害を踏まえて新しい50分の1の確率波を用い、それによって必要となる対策箇所を抽出しチェックした上で、10箇年の対策計画を策定しようとするものでございます。これまでの県の高潮施設、防潮施設は整備の歴史も非常に古いこともありまして、特に埋立地では経年沈下が非常に進んでおります。また、施設の老朽化も進んでおります。

この計画の策定に当たっては、まずは県下全ての防潮堤の既存の高さを再測量しました。それから、見直した沖波を用いて必要な防潮堤の高さを設定します。その高さの不足の程度であるとか、老朽化の度合い、背後にある土地利用を勘案して、優先度を決めて計画を作っていくと考えております。

ただ、この計画を作るに当たって課題としては、全体の要対策量がどれぐらいのものになるのか。恐らく10年で収まらないと思いますので、その予算フレームとの兼ね合いで、10年の目標整備ラインをどのように設定するのか。さらには、そのときの優先度の考え方を県民の皆様にもどのように御説明するのかということが課題でございます。

それから、先ほど森先生のお話にありました、将来の気候変動への対応をどう考慮するかも大きな課題でございます。今後は国交省様の御指導もいただきながら、年度末までに策定したいと考えております。

ここからは、もう1つの重要な課題であるソフト対策についてお話をします。計画規模を上回る災害に対しては、適切な避難行動が重要でございます。ところが台風第21号の時点では、地元の市では高潮時の避難勧告、避難指示の発令の明確なトリ

ガーを定めておりませんで、対応が後手後手に回ってしまったということです。ここに赤囲みで書いてありますが、高潮に限らず避難のためのリードタイム、例えば2 km 先の避難所に逃げていただく場合でも、やはり1時間は見ておく必要がある。先ほど御説明した35分でこれだけ上昇することを考えますと、高潮の場合は実測潮位をトリガーとした避難勧告は、間に合わないというのが現実の課題でございます。

そのためには気象庁様におかれましては、確度の高い気象予測情報の提供をいただきまして、それを受けた海岸管理者である県が、その予測情報を踏まえて越流・越波の可能性を計算して、それを市に伝える。市のほうの避難判断を支援することが大事かと思っております。このように国、県、市で連携して、住民の避難を支援するような仕組みづくりが非常に重要になってこようかと思っております。

そのためのツールとして、本県では「高潮危険度予測システム（仮称）」を現在作成中でございます。こちらは気象庁様からの台風情報をもとにまず潮位の予測をして、それをもとに沿岸ごとの堤前波を県で推算して、越波流量を定め計算して、地域ごとの危険度を地図上、画面上で表示するアウトプットを考えております。

これまでは気象庁以外の事業者が、高潮の予報業務を行うことは気象業務法により認められておりませんでした。この12月中旬からは高潮の予報業務許可制度が開始されると聞いておりますので、できればそういった制度の活用もさせていただければと思っております。スケジュールとしては、令和2年夏ごろまでに開発を終えまして、試行期間を経て、令和3年度から本格運用開始ができればと考えております。

次は水防法に基づく高潮浸水想定区域図についてでございます。本県も、高潮被害のある前の平成29年から作業を進めておりました。高潮被害を受けて作業を前倒して、本年8月には阪神間、9月には神戸ということで、まず大阪湾エリアの浸水想定図については作成・公表を終えております。

そのときの条件ですが、国の平成27年7月の手引きに基づいて、台風の中心気圧については910hPaの台風は減衰せずによってくる。一番大き

な偏差をもたらす台風の経路を、幾つかの平行移動をしながら最悪のコースを探す。台風の移動速度については、伊勢湾台風並みの時速73kmという条件で算定しました。

こちらが阪神間の最大浸水想定区域図でございます。この部分です。少し画面は見にくいかと思いますが、尼崎市においては、実に市域の4分の3が浸水する結果になっております。土地勘のない方には少しピンと来ないかもわかりませんが、尼崎や西宮はゼロメートル地帯が分布しておりまして、場所によっては5m以上の浸水がある地区が、このあたりを中心に約1,400haの結果となっております。

これはお手元の資料にはございませんが、県が独自に行ったその与条件として、堤防や施設が破壊しない場合の浸水想定図も合わせて作って、公表しております。ただ、見ていただいても分かるように浸水面積は多少下がっていること、浸水の深さは抑えられている結果もございしますが、想定最大規模の台風に対しては、防潮施設による防護効果は一定限定的なものだということで、やはり逃げていただくことの重要性がこちらの結果からも言えると考えております。

こちらは神戸市域での最大浸水想定区域図でございます。海岸管理者である県からこういった情報を出したわけですが、今後は地元市において、これを用いた避難計画の策定、ハザードマップの作成を進めていく必要があるわけですが、非常に大きな課題がございします。この着色している尼崎、西宮、芦屋の浸水エリアでも、区域内人口が約60万おります。これについては避難場所の確保をどうするか。避難のための移動手段をどうするか。要援護者の移動を特にどうするか。それからゼロメートル地帯があるということで、その浸水継続時間が非常に長くなることが予想されております。現在計算中ですが、4週間以上も可能性としてはあるという結果になっております。

したがいまして、津波を想定した津波避難ビルを指定しておりますが、垂直避難した人をどう助けるのかという救助体制、助けた後の生活支援、受け入れ先をどうするかということもございします。

一番悩ましいのは、避難に非常に時間がかかることから、避難開始のトリガーを何にするのか。それ

は誰の責任で行うのか。学校とか企業の休みについて社会的コンセンサスをどのように得ていくのか。また、尼崎のようにこれだけ浸かってしまうと自市の中では収まらないということで、行政界を越えた広域避難体制も作っていく必要がございます。これをどうしていくのか、市の担当部局の方は頭を抱えています。その気持ちはよく分かります。

そういったこともございまして、県の防災部局が担当ということになりますが、大規模水害避難対策検討委員会を 10 月末に立ち上げました。これには森先生にも御参画いただいております。明日また第 2 回があります。非常に大きな難題に今から挑もうという状況でございます。年度末までの取りまとめということでしておりますが、できるところから一つずつやっていきたいと思っております。

まとめでございますが、台風第 21 号被害を契機としまして、兵庫県としては、ハード対策として被災地域での緊急対策、県下全域における 10 箇年計画をつくって、適切に対策を打っていきたいと考えております。ソフト対策としては、避難支援ツールとして予測システムを開発するとともに、浸水想定区域図を使って実際の住民避難に活用できるように、防災部局や市町など関係機関と連携して取り組んでいく必要があると考えております。

結びになりますが、今日の先生方のお話にありましたように、台風による外力はこれからますます強力なものになっていくと予測されます。兵庫県も低平地には人口、資産を非常に多く抱えておりますので、高潮対策は非常に重要なものであると考えております。国交省で取り組んでいる「国土強靱化」ということでございますが、事前防災に対する投資を進めていくことは、その事後の復旧・復興から経済再生のための費用を抑えることができるということもでございます。また、命を守るための適切な避難行動、支えるためのソフト対策、先ほど言いました予測システム、広域避難の検討まで含めると、まだまだ課題は山積しております。

引き続きまして国交省様、農水省様におかれましては、ハード・ソフトの対策に必要な予算の確保と技術的な御指導、御支援をお願いしまして、私からの発表を終わらせていただきます。御清聴ありがとうございました。

全国海岸事業促進連合協議会 会長・高知工科大学 学長

磯部 雅彦

本日は4人の先生方、横木先生、森先生、吉永先生、服部先生、大変貴重な御講演ありがとうございました。また、聴衆の皆様、最後まで御参加いただきありがたい限りであります。まとめになるかどうかわかりませんが、4人の先生方のお話を少し復習してみたいと思っています。

きょうのタイトルは「気候変動」ということでありました。特に海面上昇等を踏まえて、今後の海岸行政及び海岸保全施設について考えようということがメインテーマでありました。

横木先生には、特に IPCC の動き、それから御自身の御研究を含めて、気候変動の全体像について科学的知識を含めて御紹介いただきました。最初に気候変動と海面上昇の予測の中で出てきたお話で、この気候変動、全体に100年オーダーという長いスケールではありますが、その中でも二酸化炭素濃度のようにすぐに上がるものから、気温のようにそれに従ってその次に起こって来ること、そして最後に海面上昇のようなものは、海水温の上昇が非常に大きなファクターでありますので、さらにまた遅れるということで、何10年か遅れて起こる。したがって、私たちの目には実はまだ最終的にどこまで行くか見えていないことがあるし、また、見えてきたときにはなかなかとまらないという御注意を受けたと考えています。

また、その対策としての適応策ですが、事後的と予見的対策というものがあって、何か起こって困ったなどと言って何かしようというのと、それから困る前に事前に準備しておこうという予見的対策、この2つの組み合わせでいくものである。必ずしも全て予見的対策をしなくてはいけない、全て事後に回してもいいということではなかったかと思います。適切に分けて考えていくということであったかと思います。

そういうことを背景にして、御自身の調査研究の中で、海面上昇に影響される人口であるとか被害額、あるいはそれに対して適応する場合の費用についても御紹介いただき、ある部分については予見的な対策をしたほうが経済的であるというお話もいただいたかと思います。

2番目に森先生にいただいたお話の中では、我が国の沿岸防御の考え方ということでありますが、特に海象の変化を詳しく御説明いただきまして、平均波高については将来、モデル計算すると下がるという結果を得ているんだけど、最大波高とか、10年確率波高とか、大きな波高で言うと増大する傾向にあるというお話がありました。つまり平均値は小さいけれども、それを超えるような非常に極端に大きな波が起りやすくなる。そういうことで自然災害も当然ながら厳しくなってくるということがあったかと思います。

また、それとともに高潮という潮位が上がってくる現象で、日本の場合で言いますと、台風が来て潮位が上がるとい現象です。最後の服部先生に御報告いただいたことと直接関係するわけですが、その長期予報については、台風の予測精度が非常に重要なファクターになってくるというお話をいただきました。

最後に気候変動適応に向けては、順応的適応策を打ったらどうだろうかということで、わかりやすいグラフを用いていただいて、時間とともに。時間と言っても年とともにと言うのでしょうか、10年、20年という長い年とともに、どのように順番に適応していかなくてはいけないのかというお話をいただきましたか。

森先生と横木先生のお話を総合しますと、横木先生のお話の中で事後的と予見的というのがあります。森先生のお話の中では、海面上昇もありますが、海面上昇にも不確かさがあって、もっともそれらしい値はあるけれども、それよりももっと大きな値を出すモデルもあります。そういう意味で海面上昇の一番ありそうな値に対して、そこからの変動もある。それから台風に至っては大きくなるか小さくなるかということも余りよくわからないという意味で、不確か性があるというお話があったところです。これを予見的、事後的と組み合わせると、気候変動と言っても、気候変動の沿岸域に対する影響と言っても、いろいろな場合分けができます。

恐らくあるであろう最もありそうな海面上昇という1つのこともあるし、それが予想よりももっと大きくなってしまったらどうかという意味の偏差的なものもあります。それから台風が今と同じだったらということもあるし、それに対して台風が大きくなったらどうなるのかということもあります。

いろいろな気候変動に伴う外力の諸現象を、どのようにどこまで予見的に準備していくか、適応していくのか、そして残りのものについては事後的に対応していくのかという場合分けもあります。行政の方もここにはたくさんおられると思いますけれども、予見的と言うほうが設計マニュアルに取り入れて、海岸保全基本方針、海岸保全基本計画のもとにある、海岸保全施設設計の手引きに従って設計していくということにかかってくると思います。そこにどれだけの部分の要素の外力を入れていくのか。

残りについては、事後的というのは、行政の言葉で言えば災害復旧事業にかかってくると思います。これも1つの私たちの知恵でありまして、全て100%防災していく、防護していくのは、効率的とは言えないというので今までやってきたはずなので、どこまでを予見的に入れどこまでを事後的に入れるのかというのは非常に大きな課題であり、出発点として整理しなければいけないということがお二人の御講演から読み取れたことではないかと思っています。

3番目の吉永先生については、農林水産業、特に農業を中心にして、沿岸域農業の現状についていろいろな御報告をいただきました。沿岸域に農業という産業が集中していることも、私たちは非常にクリアにわかったわけでありまして。また、ICIDという国際かんがい排水委員会での議論なども御紹介いただきました。

また、もし海面上昇が起こる、気候変動全般が起こるといったときに、使えるようないろいろな技術について御紹介いただきました。除塩技術を初めとしてここに書いたような技術を御報告いただき、こういうものを使って、ある部分は先ほど言うところの事後的というところに軸足を置く技術なのかもしれませんが、たくさん知識を得ることができたということかと思っています。

最後に服部先生には、兵庫県での昨年の台風21号の生々しい被災状況について御報告いただきました。特に台風21号の高潮・高波の検証をしたところから出てきたことが、恐らく瀬戸内海のような閉鎖的な狭い海域での波浪推算というものが、今までの波浪推算法で正確に推算ができていたのだろうかということを研究者に対して問いかけることであったのかと思います。通常は波浪推算と言うと非常に広い海で、一様な風が吹いたときに、どんな波が起こるかということから始まっていますので、狭いところで台風のように、ちょっとの場所の違いでも風速がまるで違うというところは、基本的には対象にできなかったということがありますから、その辺の検証を求められるようなことであったというのを問いかけられたと思います。

その中で再度災害防止のための緊急対策ということで、県の立場、国の立場があるとともに、また県民の方々と話をし、技術的なところを真摯に受けとめて、技術的な解決をしてきたというところを御紹介いただきました。私が伺った範囲ですと、ようやく県民の方々の理解も得られて、事業を進める段階に来たことに深く敬意を表したいと思います。

一方で、再度災害防止というのを気候変動という側から考えてみると、ここのスペシフィックな場所ということではなくて、ここから一般論として考えてみると、再度災害防止というのは、従来やってきた既往最大の外力に対して耐えられるように海岸保全施設を整備しましょう。既往最大を越えたものが来たら、やはり災害が起こるかもしれませんという既往最大の従来の考え方に近いものであるわけですが、気候変動ということを見ると、それが通用しなくなってくるということであると思います。

それがあがるゆえに、また最初の2つの御講演に戻って、予見的な対策、物によっては事後的な対策に回していくということ整理しながら、気候変動を念頭に置いて、既往最大にとらわれないような対応をしなければいけないのだということがわかったのではないかと思います。その辺を踏まえて、御存じの方も多いかもありませんけれども、国のほうでもいろいろな動きを始めてくださっているということで伺っています。

河川の関係で言いますと、ことしの10月には気候変動を踏まえた治水計画のあり方の提言がなされ、そして海岸についても、気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会の第1回が開催されたということで、こ

ういうものを踏まえて今後の気候変動の具体的な方向性を議論されるということなので、私としてもぜひ進んでいただきたいし、また応援もしたいと考えています。その中で海面上昇、潮位偏差、波浪の取り扱いというところで、どこまで恐らく予見的に扱い、どこから先を事後的に扱うのかという考え方も入ってくるのではないかと思ったわけであります。

そして、その出てきた結果というものに基づいて、海岸法の中に書き込まれている海岸保全基本方針を変更して、それのもとで各沿岸に対してつくられる海岸保全基本計画を変更していく方針であると伺っていますので、きょうのシンポジウムで提案されたようなことがこの中で生かされていくのではないかと期待しているところであります。

ということで、それぞれ皆さん出身の母体はおありかと思えます。気候変動はこれからますます深刻な状況に入っただけですので、対応が遅過ぎた、乗り遅れたということにならないように、それぞれがそれぞれの力を合わせて安心・安全な沿岸、海岸をつくっていきたいと思います。きょうは長時間にわたりまして、御清聴いただきましてまことにありがとうございました。

全国海岸事業促進連合協議会構成員

- 全国農地海岸保全協会
- 全国漁港海岸防災協会
- 港湾海岸防災協議会
- 一般社団法人 全国海岸協会