

海岸に関わる気候変動予測研究の動向

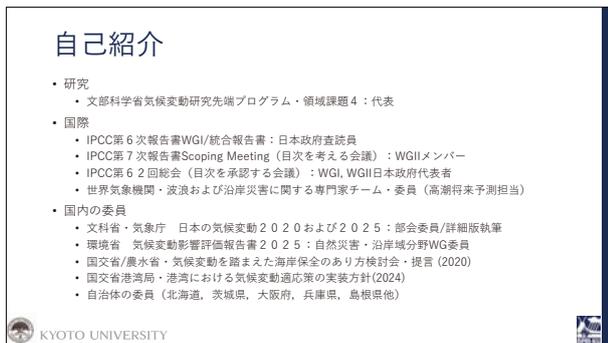
森 信人

京都大学 防災研究所 / 横浜国立大学 台風科学技術センター 教授

ご紹介いただき、ありがとうございます。京都大学防災研究所の森でございます。

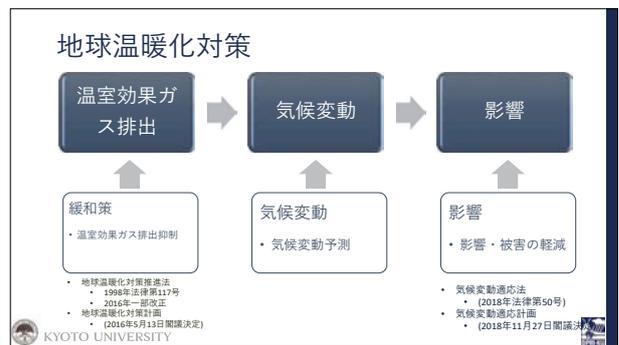


今日は、このようなシンポジウム、海岸シンポジウムにお招きいただき、ありがとうございました。ここにありますように、本日いらっしゃる皆さんは、気候変動を踏まえた海岸保全計画の見直しに関わっていらっしゃる方が多いと思いますが、そういう元データがどういうふうにならされてきたかというをご紹介しますと思います。よろしくお願いします。



いっぱい書いてありますが、これ、簡単な私の自己紹介ですけれども、これは何が言いたいかというと、ここ20年弱、私は、IPCC、気候変動に関わる政府間枠組みから始まりまして、あと文科省、気象庁のレポート、あと環境省の影響評価のレポート等の作成に関わってまいりました。さらに、国交省・農水省の——今日大きな、どの話題でも出てくると思いますが——気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会、並びに港湾局の適応策の実装方針の委員会にもメンバーとして関わらせていただいております。

私の専門は海岸工学なんですけれども、いろいろありまして、こういう形で気候変動に関わる分野で、最初から終わりに近いところを全体的に見てまいりましたので、今日は簡単にその知見を紹介させていただきたいと思います。よろしくお願いします。

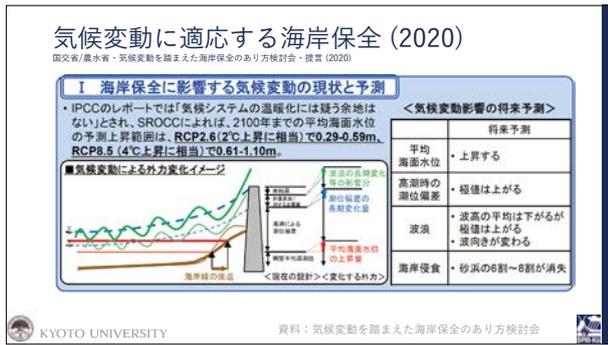


先ほど磯部会長からもございましたが、気候変動の、ここで言う地球温暖化の対策ですが、気候変動のまず予測というのが大事でして、これが将来どうなるかという描像を示していくわけです。

上がり過ぎるCO₂濃度や気温に対して、どう減らしていくか、影響をどう減らしていくかというのがいわゆる緩和策でして、これが皆さんご存じのとおり、温室効果ガスをどうというふうにならしていくか、特にCO₂ですけれども、CO₂をどう減らしていくかという問題になります。

一方で、温室効果ガスの排出削減というのは限界がありますので、残る温室効果ガス、排出削減できない分の影響が出てくると。それがいわゆる影響評価と呼ばれるものになります。影響評価では、特に海岸につきましては、どうというふうにならしていくかというのを評価していくと。さらにこの先には、それをどうというふうにならしていくかというところで、適応策があるというような形になっております。

日本におきましては、2018年に気候変動適応法が施行されまして、これを踏まえて、後で出てきますが、海岸の分野でも気候変動に適応する海岸保全というのが5年前に打ち出されたというような背景になっております。



今日、同じような図が何度も出てくると思いますが、2020年に国土省・農水省の検討会で議論したのについて、非常に簡単に最初にご紹介したいと思います。

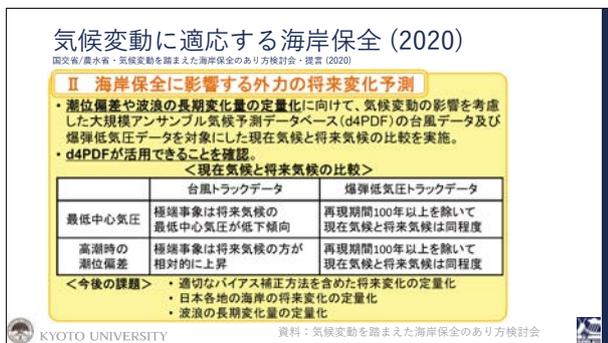
一つは、海岸保全に影響する気候変動の現状と影響というところで、基本的には3つの、物理的な量としては、水位についての物理的な量としては3つ変化があるだろうと。

一つは、平均海面が上がっていく。これがいわゆる海面上昇になります。

2番目が高潮ですね。特に高潮が起きるときの潮位偏差。天文潮位等を抜いた、純粋な高潮による水位上昇分というのの極値は上がるだろうと。

波浪につきましても、同様に極値は上がるだろうと。一方に、波浪については平均値は下がるだろうというような予測結果を基に、この提言ではまとめております。

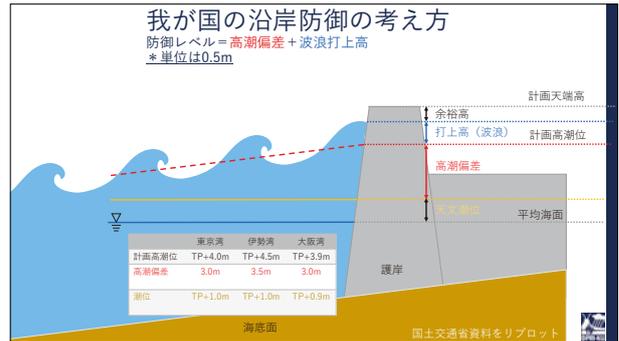
さらに、今日、私はあまり説明しませんが、海面上昇及び波浪の将来変化というのは、当然海岸、砂浜海岸に影響を与えますので、海岸侵食というものも加速するだろうというようなことがまとめられております。



さらにもう少し詳しいところでは、特に日本にとっては台風というのの影響は非常に大きいので、台風が将来どう変化するかということについても、ここでは非常に簡単にまとめております。

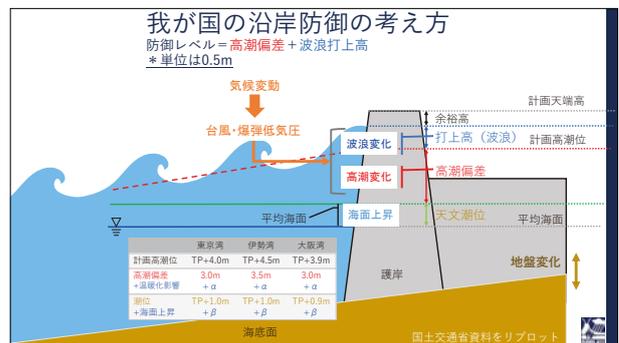
今日、私以外の発表でも何度も出てくると思いますが、ちょうどこの当時作った大規模アンサンブル気候予測データベース、d4PDFという日本の気候変動予測データを活用しまして、台風の中心気圧、これは将来少し下がるだろうということがまとめられております。

これ以外にもいろいろまとめられておりますが、非常に簡単に説明すると、こういう形になります。



我が国の沿岸防災、海岸保全の考え方ですが、これ現状ですけれども、皆さんご存じのとおり、平均海面がありまして、天文潮位があり、計画高潮位というのは、この天文潮位が朔望平均満潮になりますが、ついで天文潮位が加わり、それに高潮分の高潮偏差、さらに波浪分として打ち上げ高もしくは越波量というのが加算されるということになります。

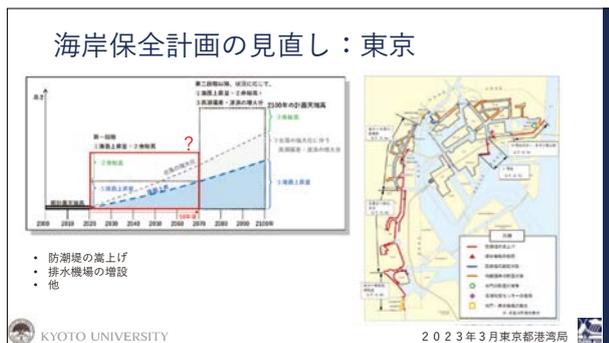
これ、当然皆さんご存じのとおり、湾もしくは海岸、区分ごとに値がそれぞれ違うということになります。



気候変動によって何がかわるかというところですけれども、基本的には、日本の場合ですけれども、台風と特に冬の低気圧がこのあたりに大きな影響を及ぼすと。今のところ、冬の低気圧はあまり将来変化する割合は多くないというふうに思っておりますので、主に台風の変化が多くて、日本の場合は台風の変化が多くて、特に台風の強さの変化

というのは波浪と高潮に影響を及ぼすと。

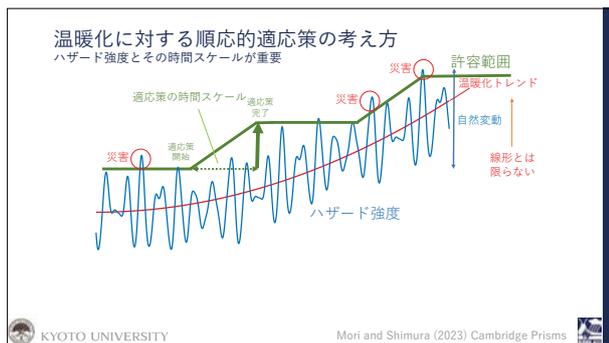
さらに、海面上昇ありますので平均海面そのものも上がるということで、三大湾だけではなくて、今日ここにいらっしゃる皆様、あと私以降の話題提供でも、これをどういうふうに各海岸で考えているか、考えていくかという議論に現在なっているということになります。



後で東京都のほうから佐藤部長がもう少し詳しい話しされると思いますが、東京都の場合ですと、もう海岸保全計画の見直し自体が終わっておりまして、この後、整備計画に多分移っていくフェーズだと思いますが、どういうふうにどこがどれくらい将来水位が上がっていくかというアセスメントが今完了しているというような状況かと思えます。当然この中に、海面上昇分がこの青い点線があって、その上に台風が強くなる影響、黒い点線があって、トータルの水位が上がっていくだろうというような予測を基に、海岸保全計画の見直しが東京都では完了しています。

ほかの都道府県でも今、皆様、やられているという最中かと思えます。

この海岸保全計画を見直していくところは影響評価というところで、さらにそれをどういうふうに整備計画に持っていくかということが適応策ということになります。海岸においてはそういう形かと思えます。



これ、私が勝手に描いた図ですが、ポイントとしましては、温暖化の進行に対して、できるだけ遅れなく適応策を完了させるというのが適応策では重要になってくるというふうに思います。これ横軸は、時間で、青い線が海の水位だと思っていただければいいと思います。緑色が堤防の高さをイメージしております。

現状でも、たまに強い台風が来ると、どこかで堤防の高さ、許容範囲を超えて災害が起きますが、気候変動が徐々に進行していく場合の、これイメージですけれども、この赤い線のようにゆっくり将来変化していくと、現状の許容範囲、堤防の高さでは対応できなくて、緑の線がずっとこのまま延長していくと非常に厳しい将来が待っているという概念図です。

一方で、皆さんご存じのとおり、仮に堤防をかさ上げするというふうにしても、そんな1日、2日でできるわけではありませんので、適応策を考えて、工事が完了するまでにはかなりの時間がかかるということになります。

なので、この図の言いたいところは、うまく予測情報を見ながら、ここまで適応策の検討を始めないと必要な時期に適応策が完了できない、非常に厳しくなった段階で適応策を開始しても、特に海岸保全の場合は、全然間に合わないという将来があるというようなことをイメージした図になります。

具体的には、じゃ、どういうふうにこういう青い線、海の水位とかが変化していくかということを紹介したいと思います。

温暖化レベルと温暖化予測シナリオ

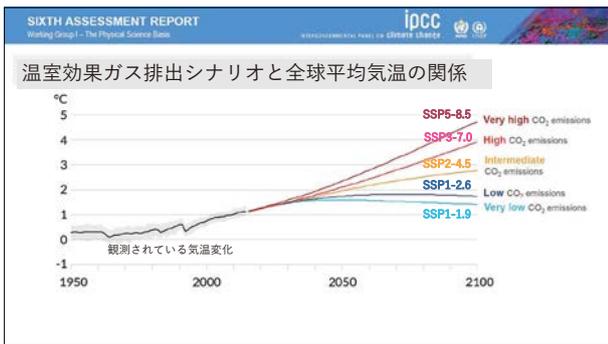
- 温暖化の進行の度合い（温暖化レベル）は、これからの温室効果ガスの排出予測（温室効果ガス排出シナリオ）に依存
- **2度上昇シナリオ (SSP126/RCP2.6)**
 - 世界平均気温が、工業化以前と比べて0.9~2.3° C (20世紀末と比べて0.3~1.7° C) 上昇する可能性の高いシナリオ。
 - ➡ パリ協定の2° C目標が達成に相当。
 - ➡ 日本の（当面の）適応策の目標、おそらく実現は難しい？
- **4度上昇シナリオ (SSP585/RCP8.5)**
 - 21世紀末の世界平均気温が、工業化以前と比べて3.2~5.4° C (20世紀末と比べて2.6~4.8° C) 上昇する可能性の高いシナリオ。
 - ➡ 現時点を越える追加的な緩和策を取らなかった世界であり得る気候の状態に相当。

※ 20世紀末：1986~2005年の平均、21世紀末：2081~2100年の平均

その前に、温暖化の基本的な話を簡単にさせていただきますが、基本的には今、日本が取っている緩和策・適応策の目標は2度ということになっております。パリ協定は1.5度ですけれども、基本的な日本のシナリオ、ターゲットシナリオ、2度上昇になります。表記としてはSSP126とかRCP2.6

という表記になっています。このあたりのSSP126とかRCP2.6という表記は2度シナリオというのを意味しております。

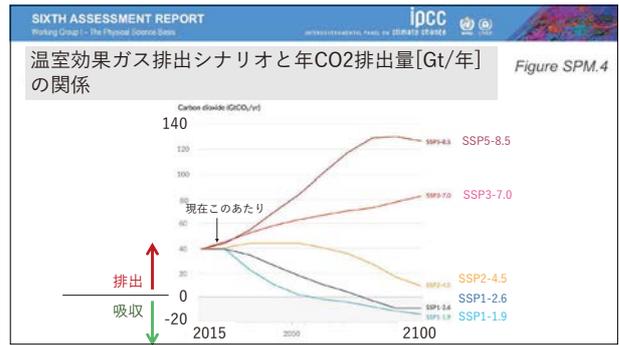
一方、現実的ではないというふうに今言われていますが、今のまま排出を続けていくと2度では収まらなくて、4度というシナリオも当然考えられておまして、これについて、日本の予測、影響評価コミュニティではこの2つをベースに、これまで議論してきました。



この2度とか4度というシナリオはどういう意味を持つかということですが、これ、地球全体の平均気温の観測と将来の予測になります。この前半が観測されている地球全体の平均気温になります。2020年以降の色のついた部分が将来の予測になります。

異なる色が異なる将来であり、温室効果ガスの削減を頑張った場合が、大体このSSP126、119と呼ばれる2度シナリオ、1.5度シナリオになります。なので、2度シナリオを実現するためには、もうそろそろ、直ちに温室効果ガスを削減始めて、2040年から50年にはもう一定にしないとイケないと。これ基本なので、基本を一定にするってことは、排出量をもう固定しないとイケないということになります。後で出てきますが。あと、4度シナリオぐらい、3度、4度というハイエンドシナリオになると、このままずっと線形に上がっていくということになります。

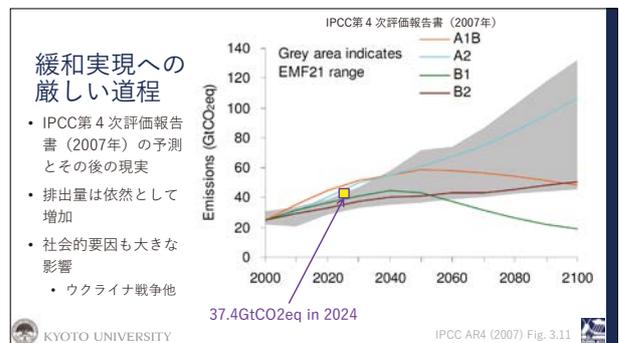
この実はカーブは結構重要でして、今日、私の最後のほうに出てきますが、どのシナリオを取るかということによって地球の平均気温が変わります。平均気温のこのカーブは何を意味するかっていうと、シンプルに言うと、台風の強度にかなり強く関係します。どのシナリオを取るかは、台風の強度がどこぐらいでピークを迎えるかということと関係します。



同じ図を温室効果ガスの排出シナリオで書き直したのがこれになります。同じような図なんですが、縦軸が排出で、ゼロよりプラスが排出、ゼロよりマイナスが吸収です。CO₂の吸収になります。

2度シナリオと先ほど紹介していたSSP126の場合は、直ちに削減を始めて、もうずっと削減していったら、2070年、80年にはマイナスなので、吸収に持っていけないといけないということになります。考えていただければ分かりますが、やっぱり削減も大変ですが、吸収にいくってのはさらに大変というシナリオが2度になります。

何もしないシナリオだと、このまま出し続けるようなシナリオが、この辺の4度、4度弱というシナリオになります。



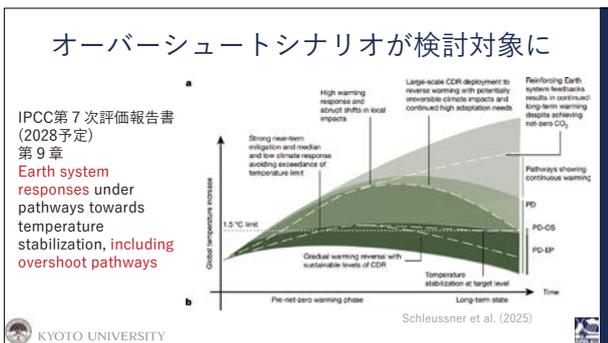
現実はどうかということですが、この図は、似たような図なんですが、2020年に作られた図ですが、その当時の予測の図になります。縦軸は先ほどと一緒にCO₂の排出量になります。

この当時、25年ほど前に作られた図では、何本かやっぱり将来の排出シナリオがありまして、先ほど紹介したような3度とか4度のシナリオがこの水色の線になります。削減シナリオが緑になっていくわけですが、25年、24年かな、24年たった去年のCO₂の排出量は約37ギガトンCO₂、等価CO₂ですので、世界全体ですけれども、この二十数年前に作ったシナリオのほぼ一番上のほうにい

るといことになります。

なので、言えることは、頑張っ、日本もはじめ、頑張っCO₂を削減ずっとしているんですけども、それでも結局トータルとしては、依然として過去の予測のかなり上のほうに今現実が位置しているといことになります。

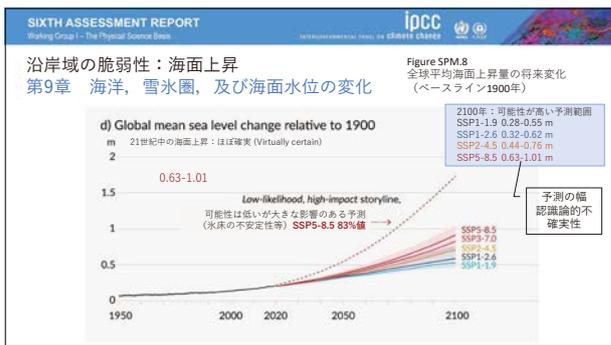
こういう現実を踏まえて、先ほど磯部先生からもありましたが、先週のCOPでもなかなか緩和が進まなくて、政府間の合意も取れないという現実がここ数年浮き上がってまいりました。



そこで今、IPCCでは、議論しているのは、オーバーシュートシナリオというものが議論されています。

ちょっとややこしい図ですが、簡単に言いますと、2度目標は維持すると、だけど、それは今世紀の中頃には達成できないだろうというものです。達成する目標は、世紀末、2100年ぐらいに2度目標が達成できるように頑張るんだけど、一時的には2度を超えた状況も考えざるを得ないと。その後、頑張っ削減して、2100年に向かって2度に下げていくとい。一時的に2度を超えて3度ぐらいまでいくのはやむを得ないといのがオーバーシュートシナリオといふうになります。

これがかなり今現実的に議論し始められているといのが研究コミュニティの状況になります。2度とい目標はキープしていくべきだと思っんですが、これを先ほどの今世紀半ばに達成するとい目標は厳しくなりつつあるといことで、こういうオーバーシュートシナリオといのが研究では議論されてきているといのが現実的になります。

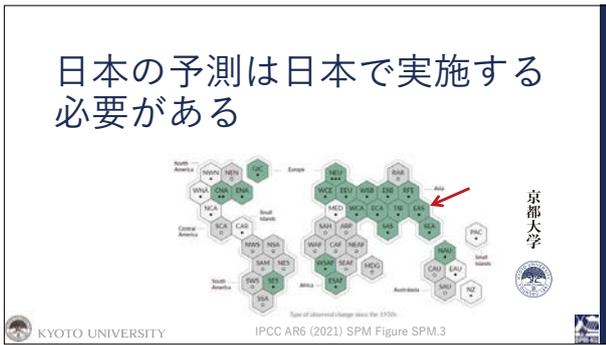


国の政策としては、現状では2度で海岸保全計画は考えてくださいといふうになっておりますが、今日は2度と4度の将来はどういことを海岸のエリアに影響を及ぼすかといところを、簡単に紹介したいと思っます。

海岸保全計画の見直しで何度も見られていると思っますが、これは全地球の平均海面水位の変化になります。いわゆる海面上昇の将来変化になります。先ほどと同じように、水色、青が2度シナリオでして、赤系が4度シナリオになります。

2度のシナリオでも今世紀末には40センチから50センチ、4度だと平均で80センチ、プラスマイナス20センチ以上の不確実性を持ちながら将来上がっていくと。海面上昇につきましては、どのシナリオでも、ほぼ一定に上がっているといことが分かると思っます。やっぱり大気の暖まり方と海の暖まり方は時間のスケールが違いますので、海のほうがゆっくり暖まる分だけゆっくり上がっていくといような特性を持っています。

先ほどの気温の図ですとこういうふうになっていなくて、気温の場合は2度シナリオでCO₂の排出を安定化させた、一定になった状況、大気中のCO₂が一定になった状況で気温もほぼ一定化するんですが、海面のほうはこうなってなくて、2度で一定化させてもずっとゆっくり上がっていきます。このピークは大体2200年から2300年ぐらいです。海面は二、三百年ずっと上がり続けますので、海面上昇の上がり方と気温の上がり方、もしくは台風の強度の上がり方は、1対1にならないといのが重要な点です



じゃ、こういう全球、地球全体のことをどういうふうにするかというのが次のポイントでして、我々もこれについて研究開発を進めてまいりました。

これ、IPCCの図で、ちょっと分かりづらいですが、世界の地図でして、IPCCでは、このEAS、ここにあるのが東アジアですので、日本・韓国・中国を一くくりにした評価になっています。IPCCの評価ではこれが一番細かいスケールの評価になるということで、レポートとしては非常に包括的で世界全体の様子分かるわけですが、日本はどうすればいいのかっていうと、このスケールまでは議論しないというのがIPCCのスタンスになります。



なので、重要になるのは日本のための予測は日本でつくらないといけないということで、これは後で気象庁の経田室長から中身は紹介あると思いますが、日本では、文科省と気象庁が共同で、こういう日本の気候変動レポートというのを5年置きに作っております。2025年レポートが今年の3月に出ておまして、海岸保全に関わる場所としては7章、9章、10章という章になります。私自身も10章には大分関わってまいりました。

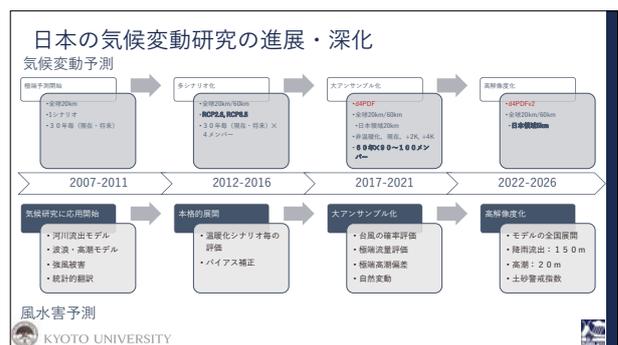
こういうレポートが、皆さん、インターネットですぐ見られますが、どう作られているかというのはあまりご存じじゃないと思いますので、簡単に紹介したいというふうに思います。



先ほどありましたように、IPCCというのは大体7年から8年に1回レポートを出していきます、この一番上のオレンジ色です。

こういう日本の気候変動のレポートの中のコンテンツ、どこの気温がどれくらい、何県の気温がどれくらい上がるかとか、海面上昇が日本海側で何センチとか、そういうものにつきましては、基本的には気象庁内部の活動と、それに加えて、文部科学省が5年ごとにアップデートしてきました気候変動の予測研究プログラムというものがござります。これがかなり深くリンクして、日本の気候変動のレポートと付随するデータセットをサポートしてまいりました。

現在今動いているのは気候変動予測先端研究プログラム、通称「先端プログラム」というものでして、私が影響評価代表を務めておりますが、こういう5年ごとの研究プログラムを通じて様々なデータと知見を蓄積してまいりました。



専門的で、かつ字が小さいので、簡単に説明いたしますが、これ、2002年スタートでして、今、第5フェーズで先端プロというのが動いております。

海岸保全に関わるところで、非常に簡単に説明いたしますと、最初のほうの2010年前後まではあまり、こういう海岸保全基本計画に使えるようなデータというのはほとんど存在しておりませんでした。しかし、2017年から21年のフェーズのとこ

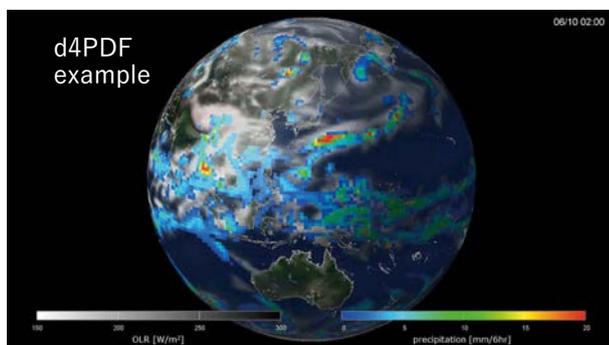
ろで、あと、先ほども紹介しましたが、d4PDFという、大アンサンブルデータというのを作成しました。これがかなり大きな変化点でして、これによって、後で紹介しますが、台風もしくは高潮のような極端な現象がようやく日本スケールで評価できるようになったということになります。

2022年からの今の先端プロというフェーズでは何をやっているかっていうと、さらに、今日はご紹介できませんが、高解像度化と、あと、10年ごとの変化が分かるような新しいデータセット、d4PDFバージョン2というのを作って、今作っている最中ですが、完了したら公開していくというようなフェーズになります。

なので、5年ごとにモデルが細かくなったりアンサンブルが増えたりして、海岸保全基本計画に使えるようなデータが徐々にできてきてきたというような経緯がございます。ここに至るまでは、ほぼ20年間かかっております。研究コミュニティとしては非常に頑張って、風水害の予測まで持ってきたということになります。



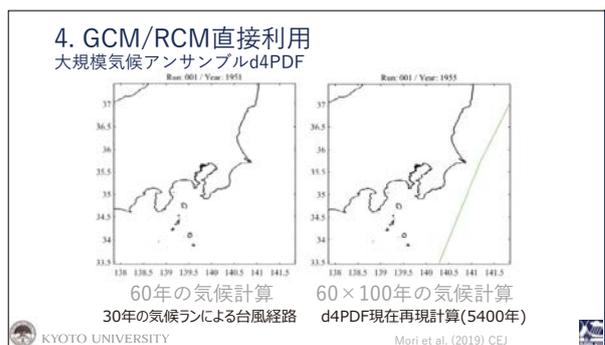
具体的に、どのような予測が得られているかというのを簡単に紹介したいと思います。



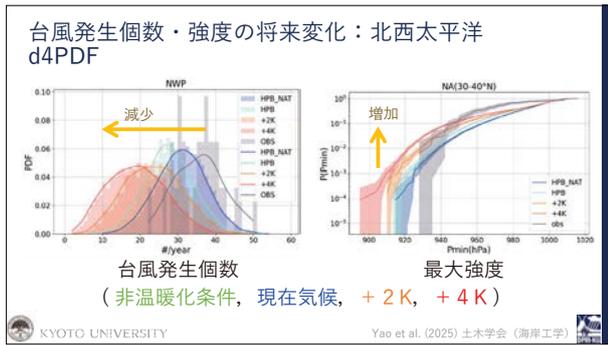
これが先ほどからご紹介している d4PDF というデータセットですが、これは、地球全体を解くモデル、全球モデルというものと、あと日本の周りだけを解く、ダウンスケーリングした日本領域モ

デルという、2つが同時に動いております。これを60年を1回として、これを90回から100回、同じ条件で繰り返すことによってデータ量を増やすというようなことを行ってまいりました。

これ、模式的に表すとこういうアニメーションになりますが、日本周りは、全球モデルだけだと粗いので、今、ズームインした細かいメッシュの結果が見えていると思いますが、こういう日々の天気予報みたいなものを長期間積分することによって、気候の将来予測が見えるようになるというようなものになります。今、水平解像度60キロ、20キロ、5キロのダウンスケーリングの結果を見ていると思いますが、5キロぐらいまで落としてみると、もう線状降水帯みたいなものが見えて、かなりリアルなシミュレーションになっているというのが分かると思います。



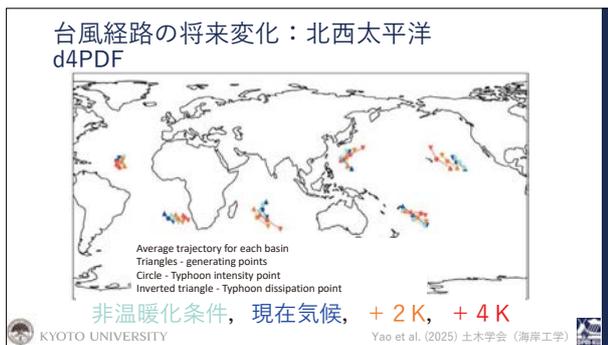
こういう大規模アンサンブルデータセット、d4PDFを使うと何がいいかっていうことですが、60年1回の計算では、東京湾の辺りを見ていただくと分かると思いますが、東京湾の上を通過するモデル上の台風は4つか、3つか4つぐらいしかありませんので、これで極端な高潮の評価をしましょうといっても、ほぼできないということになります。それで、我々はd4PDFを作るときに、これを90回から100回、同じ条件で繰り返すことによって、今見ていただいているように、ある特定の湾を通過する、シミュレーション上の台風ですけれども、十分なサンプルを得られるようにしたというのがこのデータセットの大きいところになります。なので、このデータセット使うことによって、極端な現象の強さと頻度、どういう強さの台風が何%来て、何割、年何個の割合で来て、それが将来どうなるかというような評価ができるようになったというのが大変大きなところかなというふうに思います。



これ、一例ですけれども、北西太平洋。東アジア全体を見ると、台風の発生個数が左、右が中心気圧を書いたものになります。

ちょっと分かりにくいですが、黒が観測で、青が温暖化が起きていないと仮定した今の気候条件、緑が今の気候条件で、オレンジ色が2度、赤が4度というふうになっています。見ていただくと分かるように、今の気候条件に対して温暖化が進んだ、2度、4度と進むと左にシフトしていますので、台風の発生個数はどんどん減っていくと。一方で、現時点でもし温暖化の効果がないというふうなシミュレーションすると増えるということで、基本的には温度に依存して台風の発生個数はかなり変化すると、減るといことが分かります。

中心気圧のほうは逆でして、例えば920ヘクトパスカルを見ると、これ、 10^{-4} とかなので、1万個に1個ぐらいしか、この領域では、現在気候、緑色は発生しないわけですが、2度、4度というふうには、数倍から10倍ずつ確率が上がっていきますので、非常に強い台風の発生頻度は上がるということで、両方、プラスとマイナスの影響がありまして、台風の発生個数を減るんだけど強さは上がるというようなことが、温暖化の気温に応じて生じるということが分かってまいりました。

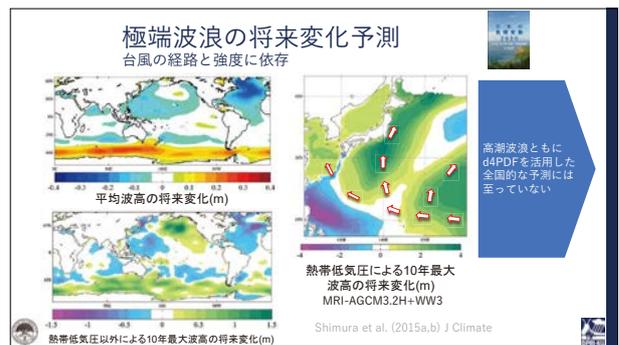


この一部は海岸基本計画に、今いろんなところで入れられているというふうに思っております。

一方で、あまり今議論されていないのは経路の変化になります。

これ、分かりにくいですが、台風の発生とか発達的位置がどうなるかというような我々の予測になります。アメリカは西海岸のほうの方が分かりやすいので紹介しますと、現在が緑で、2度がだいたい色、赤が4度ですので、温暖化の影響が進むにつれて、アメリカ西海岸だと北西のほうに進んでいく。北にシフトするとともに、太平洋の真中のほうにシフトしていくというようなのが平均経路の予測になっています。日本周りは、北上とともに、東側にシフトするというような結果が出ております。

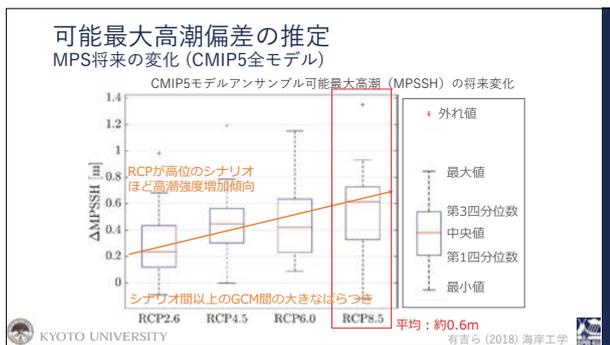
まだここは研究を進める必要がありますが、強さだけでなく経路の変化も起きてくるだろうというような予測になっております。



同様に、こういう結果を用いて、我々は波浪の将来予測というのを行ってまいりました。

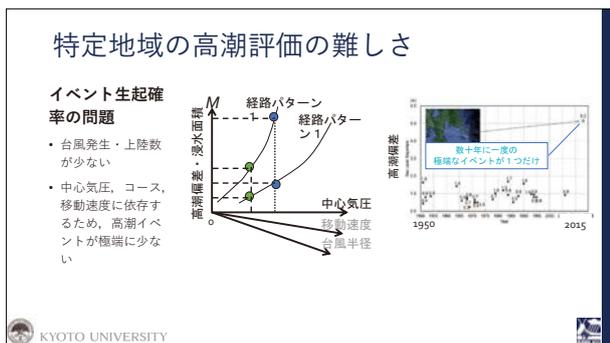
時間の関係上、非常に簡単に紹介いたしますが、左上が年平均波高の将来変化になります。赤系が増えるほう、青系が減る傾向です。この結果は、前の2020とそのレポート、データセットに載っておりますが、基本的には、日本周りは水色ですので減るといことで、平均波高が減ります。量的には5%から10%ぐらいですけれども、減るといような予測になっています。

一方で、この真ん中辺りの、この図ですが、緑色が増えるところでして、これは10年に1回の極端な波高の将来変化ですが、ここは数メートル単位、1メートルから3メートルぐらい増えるだろうという結果になっております。この要因はほぼ台風依存ということで、先ほどお見せしたような将来の強い台風が増えることによって、特に太平洋側で極端な波高の増加が予測されているというのが我々の結果になっております。



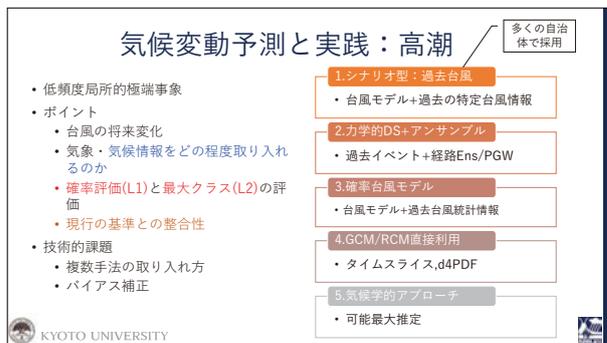
一方で、高潮のほうも並行して進めていまして、これ、大阪湾の例ですが、大阪湾の将来の高潮の偏差がどれくらい増えるかって増分量だけ見ても、一番左が2度、一番右が4度になります。大体温室効果ガスの排出量に従って20センチぐらいから60センチぐらいまで、大阪湾の場合ですと、将来の高潮偏差が増えるという結果になります。

20センチから60センチというのは、想定される日本の海面上昇量の6割から7割ぐらいを占めます。なので、海面上昇だけでは足りなくて、高潮の偏差を考慮すると海面上昇掛ける1.6倍ぐらい見ないと対応できないというような結果です。当然シナリオ依存しますので、どういう温室効果ガス、2度なのか4度なのかで倍・半分変わるといような結果になっております。



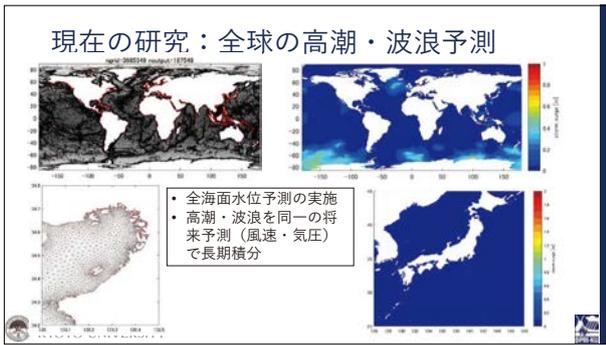
こういう形でやってきましたが、高潮の将来予測というのはやっぱり一番難しいというのが我々の研究ベースでの印象になっております。これはどういう、なぜかといいますと、説明変数が多いということです。高潮が生じるためには、極端な高潮が生じるためには、例えば東京湾だったらAというあるコースが決まっていますので、それに従う台風が来ないといけません。さらに、ある高潮、極端な高潮を起こしそうなコースに強い台風が来て、かつ速い台風、移動速度が速い台風というの

が高潮を起こしますので、その3つの条件を満たさないといけません。さらに、台風の大きさ、半径も結構高潮の偏差に影響及ぼしますので、説明変数が非常に多いですから、ある場所の高潮の評価を確率的にやるというのはかなり難しいということになっています。

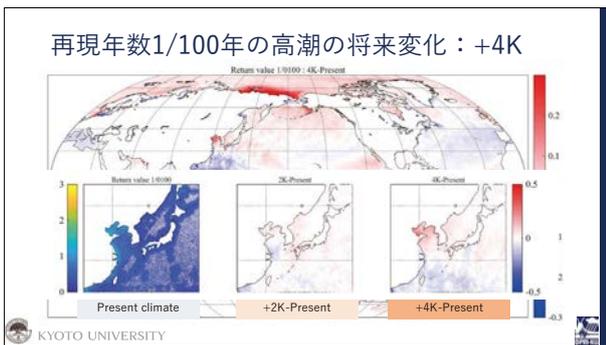


結果としまして、現状として多くの自治体では、幾つか高潮の現状、現在と将来の変化を推算するときに、ここで言う1型、シナリオ型、過去の台風に対して中心気圧を強くして、どういうふうな変化が起きるかというようなシナリオ型のアプローチが非常に多いかなと思います。これは現実的には一番やりやすいアプローチで、しょうがないかなと個人的には思っています。一方で、先ほど紹介した我々が作っているd4PDFみたいなデータセットをそのまま使うというのが一番直接的ですし、また、ほかの幾つかのアプローチもありますが、一長一短あるわけです。しかし、現状の一番上のシナリオ型だけというのは、気候が持つ複雑なシステムの中のごく一部だけを見ているので、足りないかなというふうに思っています。

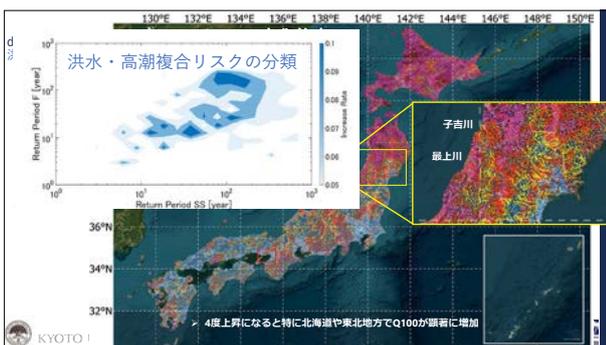
特に高潮については確率評価ができていないという現状があります。L1、L2というのが、L2は水防法で今検討されていると思いますが、L1、100年に1回の高潮とか、その間のシナリオとか全然ありませんので、今後、どういうふうに気候情報・気象情報を取り入れて高潮の確率評価をしていくかというのが我々研究者側での課題でもありますし、できるだけそういう知見を自治体・国の方に提供して、使っていただくかというようなことを今考えているということになります。



今、我々は何をやっているかっていうところですが、一つは、先ほどからアプローチが足りないんじゃないかというようなことを勝手に言っていますが、言うだけではまずいですので、実際、我々は今、地球全体の高潮と波浪を長期間シミュレーションし、日本だけじゃなく、アジア太平洋の高潮と波浪の将来変化の確率と強度を、両方予測できるようなシミュレーションというのを行っている最中です。



一例ですけれども、100年に1度の高潮は、4度の将来暖かい条件でどうなるかというようなシミュレーションの結果です。できたばかりなのであまり精査していませんが、基本的には、北半球の30度より北側の中緯度では増えると、赤道域では減るというような結果が出ておまして、まとめ次第、どんどん公表していきたいなというふうに思います。



同じような解析は、実は我々の研究チームでは河川とか土砂災害でもやっています、これは河川の一例ですけれども、4℃の将来の気候条件では、河川一本一本の将来変化を解くと、大体、東北から北海道に向かって将来の変化が得られていまして、こういう高潮と合わせていくと、河口域の高潮と洪水の複合氾濫のリスクとか、そういうのが評価できるんじゃないかということで、今解析を進めているということになります。



現在、こういう状況をまとめてみますと、今、海岸保全計画の見直しで皆さん苦勞されていると思いますが、レポートベースでは、台風、高潮、波浪というのは、海面上昇も含めて、大体レポートはそろっていると。

一方でデータそのものは、海面上昇はIPCCのデータを拾ってくる。それ以外は、台風は気候変動データ2022、特にd4PDF、これ入っていますが、ありますが、ほかが多分ほとんどなくて、皆さん独自で計算されているというようなのが現状かなと思います。



我々としては、これを2030年までに、台風、高潮、波浪について、日本全国のマッピングをちゃんとして、皆様が自由に使えるようなデータにして、公開していきたいというようなことを考えております。2030年を目標に今やっているということになります。

まとめ：海岸保全と気候変動

気候変動予測	研究の展望
海岸保全に必要な外力の予測が進展中 ・平均海面 ・継続的に上昇（既に検知） ・高潮 ・台風依存するが海面上昇量に近い量で将来増加の予測 ・波浪 ・平均波高は低下するが極端波高は増加の予測 ・地盤変化	・高度な予測情報の創出 ・極端現象、10年毎の変化の予測 ・台風、全海面水位（海面+高潮+波浪） ・高潮の確率評価 ・全国DB、バイアス補正 ・影響評価から具体的な適応策へ ・嵩上げ以外のオプション ・その他 ・行政と研究コミュニティの連携 ・海岸保全計画見直しでは、文科省プログラムは、行政（水防海岸室・港務局、国総研、港空研）とは長期的に意見交換を進めてきた、世界でもレアケース

KYOTO UNIVERSITY

そろそろ時間が来ましたので、まとめたいと思いますが、海岸保全と気候変動について非常に簡単に今日ちょっと紹介しました。基本的には、平均海面は継続的に上昇していきまますし、これからも止まることなく上昇していくと。もうこれ自体は既に、後で経田室長からあると思います、既に検知されているような現状、観測されているということになります。

台風と波浪については、まだ検出はされておられません、将来予測ははっきり増加するということが分かっている。波浪については、ただ、平均波高は減るだろうというようなことがあります。

研究としましては、2度と4度っていうの分かっているの、間の10年ごとの変化はどうなっているんだとか、先ほど紹介したような日本全体のマッピングというのがないので、そのあたりをやっていききたいというふうに考えております。

さらに、研究成果をちゃんと皆さんに使っていただけるように、行政の皆さんとコミュニケーションを取って、できるだけ研究成果を実務に使っていただけるようなことを進めていきたいと思っています。

もう一つ重要なのは、こういう影響が分かってきた後にどういうふうに適応策、皆様の場合だと海岸整備計画に、どう反映するかというのが次のステップかなと思います。

今取りあえず、かさ上げ高の将来変化というのをいろんな都道府県で議論されていると思いますが、適応策で、かさ上げだけというのは多分あり得なくて、かさ上げ以外のいろんなオプションを提示して、できるだけコストエフェクティブに、かつ手戻りがない適応策をどうつくるかっていうのが多分海岸工学としては必要だというふうに思いますので、かさ上げ以外のオプションが何があるかというのを、ぜひ皆さんと共に検討できればなと

いうふうに思います。

まとめ：長期的観測の重要性

気候変動に適応する海岸保全 (2020)

国土交通省・気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討会・提言 (2020)

【今後5〜10年の間に着手・実施すべき事項】

- 調査や海岸地帯のモニタリングやその結果予測、モニタリング、適応といった、海岸保全における気候変動の予測・影響評価、モニタリングを推進し、継続的に更新し、適応策の策定に活用する体制の構築を推進。
- 地域の実情に基づいて、迅速かつ適切な観測や利用の観点もあて、実証的かつわかりやすい地域に情報提供するとともに、関係機関が連携し、気候変動にも適応し、取組の推進を推進。

茨城沿岸計画外力・高潮浸水想定検討委員会 (第2回)

KYOTO UNIVERSITY

最後、まとめです。もう一つ、保全計画立てる中でかなり問題になっていると個人的に思いますのは、地盤変化が大きい問題かと思っています。特に日本の、これ、茨城県の例ですけれども、地震等が起きますと平均地盤がんと落ちたり上がったってしまして、これが海面上昇の観測をかなり分かりにくくするというところがあります。なので、やっぱり地盤データと海面上昇のデータをセットで整備しないと非常に分かりにくいデータになりますので、このあたりは各都道府県もしくは海岸4省庁の皆様頑張っていたいただきたいというふうに思います。

まとめ：考え方の変化

- これまで
 - 高潮は殆どが既往最大
 - シナリオベース (伊勢湾台風等)
- これから (経年的見直し)
 - 高潮の確率評価
 - 観測データ+気候データ
 - シナリオ不確実性
 - 気候予測不確実性
 - 気候研究との連動
 - 気候変動の時間スケールの把握
 - 例) 気温(台風・高潮)と海面上昇の時間変化
 - オーバーシュートシナリオ等2度以上の目標
 - 日本に適した沿岸の適応策
 - 例) 越波量を下げる工法

KYOTO UNIVERSITY

最後、これまでは、海岸基本計画では既往最大とかシナリオベースでやってきたと思いますが、今後は確率評価に進んでいくということが一つ、気候変動のデータを使うことによって、あると思います。

またさらに、最初のほうに紹介しましたが、2度目標達成というのはなかなか現時点で苦しくなってきたので、一時的に2度を超えて3度ぐらいいまでいくオーバーシュートシナリオというのも研究では考えていけないというふうになります。

さらに、2度目標ベースでも、台風・高潮の将来変化と海面上昇の変化の、こういう時間カーブ

というのは大分違いますので、それぞれの特性に合ったカーブをちゃんとつくっていくというのが大事かなというふうに思っております。

私からは以上で終わりたいと思います。ありがとうございました。

—— 質疑応答 ——

質問者 先生、ありがとうございました。国交省の海岸室長のトダでございます。

特に最後のところなんですけれども、分かりにくいというか、見通しが立ちにくいものだからこそ、今年度末までに計画を見直そうということは言っているものの、外力を確定的にさせる、あるいは計画を確定的、計画というか整備メニューを確定的にさせるよりも、少しそういう先の見通しが不確定だという前提の計画というんですかね、何か整備メニューの考え方というのか、そういうのにしたほうがいいんじゃないかなって個人的には思っているんです。過去のように既往最大あるいは被災がはっきりしたところでの計画の立て方は違って、今後はどう動いていくか分からないということを少しにらんだ計画にしてもいいんじゃないかなと個人的に思っているんですけれども、どうお考えになるかをお聞かせいただけるとありがたいと思います。

森信人氏 ありがとうございます。

まさに私もそう思っております。

国土交通省ができるのかどうか分かりませんが、研究ベースではやっぱり、まず、いろんな不確実性ですね。2度なのか3度なのか4度なのかという、将来のシナリオがそもそも確定的ではないですし、同じ2度の将来って決めても、そこにははっきりと幅がありますので、平均的な2度でいいのか、それともちょっと安全を見た上のほうの2度の確率がいいのかとか、コストで考えると下のほうがいいのかという、いろんなバリエーションがありますので、少なくとも外力については、設計する上では非常に難しいと思いますが、幅を当然持たせるってのが大事で、その幅をどこで吸収するかっていうのは、やっぱり皆さんのお知恵が大事で、例えば、アップグレードができるだけ簡単にできる何か構造物とかシステムを考えてあげて、そういう外力のばらつきをどこかで吸収するというような仕組みを考えていくというのが大事かなと思います。

私もその意見に同意いたします。

質問者 ありがとうございました。

多分、そういうことをやっていくうちに、海岸の保全施設の考え方も少し変えたほうがいいんじゃないかなと個人的に思っています。これまでは、保全施設造ったら、そこで完全にL1対応を守るんだって言っていたんですけれども、L1に揺らぎがある、揺らぎがあるって言うていいかどうか分からないんですけれども、今後不確定なんであるならば、どこまで守るのかという考え方を、少し柔軟にしたほうが多分整備メニューのバリエーションが広がって、そのほうが手戻りが少なくなるんじゃないかなという気がします。

一方で、今いろんなリスク評価、L2をやり出してから、出してから、沿岸でL2は、特に激しいところからは、少し人口の重心が沿岸部から内陸部に動いているようなところもあり、そういう人口動態も含めながら考えてもいいんじゃないかなんてことは個人的に考えていますので、またご指導いただければありがたいと思います。よろしくお願ひします。ありがとうございました。