

<特集>第46回環境保全・公害防止研究発表会

特別講演：座長 中村 豊

(全国環境研協議会会長：公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所長)

気候変動への適応策・将来の湖沼水環境の予測

岡田 光正

(環境省環境研究総合推進費プログラムディレクター、放送大学理事・副学長)



1. はじめに

今日、私が皆様方に申し上げ、お願いしたいことを一言で申し上げますと、適応の研究に挑戦して欲しいということです。私自身は、水環境の研究者です。今日後半でお話する湖沼の適応については、この9年くらい、環境省の水環境課と一緒に仕事をして参りました。それで分かったのが、地球環境、それから気候変動の緩和策、気候変動の防止は、いわゆる地球の環境の専門家の仕事です。しかし、適応策の研究というのは、私もそうですが、今日ここにいらっしゃる多くの皆様方、つまり水環境、大気環境の研究者の出番であるということです。水、大気、生態系、場合によっては廃棄物も含めて、地球以外の研究をされていた方でない、適応策に対応できないということをは是非申し上げたい。

各都道府県の環境研においては、今までずっと研究をやってきました。適応の話は地球の話ですが、それは地域の問題です。ですから、今こそ地域の研究者である皆様方に、頑張っていただかなければ、適応策が推進できないということを、最初に申し上げます。

15ptあき

2. 適応策の推進と考え方

適応をめぐる国際情勢

パリ協定：2015年12月、COP21において採択、翌2016年11月に発効

- a. 工業化前からの世界全体の平均気温の上昇を2℃より十分下回るよう抑える。また、1.5℃までに抑える努力を継続すること。
- b. 気候変動の悪影響に適応する能力と気候に対する強靱性を高め、温室効果ガスの低排出型の発展を促進する能力を向上させること。
- c. 資金の流れを低排出及び強靱な開発に向けた経路に適合させること。

適応をめぐる国際情勢としては、パリ協定があります。aは平均気温の上昇を2℃くらいまでに抑えましょうということ。今日お話しするのは、bのところにあります気候

変動の悪影響に適応する能力、それから気候変動に対する強靱性を高めるということです。要はここに適応策の話が明確に出ているわけです。

世界と日本の気温がだんだん上がっていくと、例えば日本ですと100年当たり1.2℃上昇しますが、1.2℃は大したことではない。水環境を考えると、平均的に上がるくらいだったら大したことないだろうと思われるかもしれませんが、今日これからお話しするのは、平均の話ではありません。気候変動は長い期間の変化ですが、50年100年、気象は毎年違うわけです。ですから、今年はずごく雨が降ったけど、来年は降らないかもしれない、その次の年はまたもっと降るかもしれない、続けてくるかもしれない。こういう我々が直面するのは、平均的な状態ではなくて、この間みたいに大雨が降るという、その極端な現象があるという問題なわけです。我々の守らなければならない環境というものにも、平均的な話もあるのですが、それだけではなくて、10年に1度とか何十年に1度で大きな問題が起こった時、「しょうがない」とあきらめるわけにはいかないということです。そういう意味で、重要なのは、変化ということこれから頭の中に入れておくということだと思います。

気候変動の影響で、水稲、生態系、それから熱中症・感染症対策、この辺はどちらかというと、基本の問題です。異常気象災害というのは、必ずしも気温のみの問題ではなくて、雨の問題もあります。後でお話する水環境は気温も重要ですが、むしろもっと重要なのは、雨がどう降るかということです。短期的に豪雨が降るのがだんだん増えていることも、実感しています。こういうこと、つまり、気象の変化があることに対して我々は今まで何を主に考えてきたかというと、緩和策、つまり温室効果ガスを出さないようにしましうでした。これも絶対必要です。ただ、温室効果ガスを今まで我々は出し続けてきたわけですから、止めたからと言って急に止まるかということ、地球というのは大きなシステムですから、今炭酸ガスを出すのを完全にやめても、気候変動、温暖化は続くということが分かっています。となると、この

気候変動が起きてしまったことに対する様々な影響は避けられません。従ってそれに対して我々はどう適応していくかというのを考えなきゃいけないというのが今日の主題になるわけです。よく言われるように、緩和策、それから適応策、これは気候変動に対する両輪であるということになります。緩和策というのは温室効果ガスの話ですが、適応策は、地域によってみんな違う条件ですから、今まで地域の環境問題に頑張ってきたのが、今度は別の形で適応を考えていく、対応していくということだと思います。

気候変動適応法ができたということをご存じだと思います。その中で、農林水産、水環境水資源、自然生態系、その他7つの分野について適応策を考えていこうということです。地域によって気候変動の影響は違います。となると、日本全体で適応策はこうだというわけにはいきません。例えば北の方の湖と南の方の湖と山の中の湖と平地の湖は全く条件が違います。こういうことを考えると、やはり地域での適応を強化しなければいけないということで、これが気候変動適応法になっています。

重要なことは、科学的知見に基づいて適応を推進することです。この言い方、一見するといいですが、見方によっては今まで科学的知見に基づかず、政策を推進してきたのかと揶揄する人もいるわけです。ここでいう科学的知見は、基本的に気候変動の影響のことですが、気候変動においては将来何が起こるかかわからないことが余りに多くあります。わからないことが多い場合、方法がわからないから何もしないということもあります。でも、環境の場合は、わからないから何もしないというのは、多くの場合、後悔することになるわけです。ですから、わからなくても進めることが必要です。政策を進めるためには、常に科学的根拠を得ることと裏腹になりながらやっつけていかないといけないというのが、大きな特徴だと思います。

当然、地域の話が非常に多く出てくると思います。変動の影響はあらゆることに関連します。大気、水、生態系、それから我々の健康、都市、非常に大きなところに、多くの分野に影響を与えます。よく言われている一例ですが、今まで農業というのは、今の気候、これまでの気候に対して適応するように、対応するように発展してきました。でも、これからは気温が上がるかもしれない、雨の降り方が違うかもしれないと考えて、それに合うような農業の仕方をしないといけないということで、様々な適応策を行う必要があるということになります。それらは、地域の地形や、社会経済状況によっても様々です。要するに一定ではない訳です。したがって地域の特色、特徴に応じたきめ細やかな適応をして行かざるを得ないということです。具体的には、各都道府県単位とかそう

いう形で作っていくことになります。

実際に気候変動、地域の業務の適応計画というのを組むにあたって、重要なことは、多様な気候変動に適応するために、全体の整合とか、地域における優先事項が違うはずだということです。当然のことながら、中長期的、30年先を考えるのか、50年先考えるのか、100年先考えるのかも重要です。私自身も適応研究を始めたときには30年というのを考えました。ところが、多くの人が100年後、要するに21世紀の最後まで、と言いますから、21世紀の最後にはどうなるかを想定してやりました。今から考えると、100年はどうせわからないという言い方もあり得るわけです。社会自体がどうだというのは、私は当然生きていませんし、日本の人口だって経済状況だって随分変わるかもしれません。20世紀の初頭である1900年最初と、今の21世紀初頭である2019年、随分社会が違うわけですから、無理かなあと思うのですが、いずれにしても、近いところだけ見てやるわけにはいかないし、遠いところだけ見てやるわけにはいかないという、この辺が適応計画の大変なところであると思います。いずれにしても地域のことでですから、都道府県、もしくはその都道府県の集まりというところで適応計画を作らないといけないということになってきます。

その次に重要なのは、科学的知見に基づき気候変動適応を推進するということです。これは非常に、ある意味で大変なことです。将来がわかっていたら、我々が十分な情報を持っていたら、30年後、50年後を予測すればいいですが、その我々の予測がどのくらい正しいかということです。もちろん今まで、例えば環境行政でも、私に関わったもので言えば、閉鎖性海域、東京湾なり伊勢湾です。そこでは将来水質がどうなるかという予測はさんざんやっています。しかし、コンピューターシミュレーションを使って、いろんなことをやってきて、そのシミュレーションモデルがどのくらい正しいかということになると、なかなか難しいところがあるわけです。ちょっと細かい話ですが、例えば伊勢湾の流域、例えば、三重県の山の方から降雨によって、栄養塩がどのくらい流れるか、工場からどのくらい栄養塩なりCODが流れるかなどは比較的簡単に把握できますけれども、降雨によって、畑、森林、市街地からどのくらい栄養やもしくは汚濁物が流れるか、いわゆるノンポイントソース、これについては、本当に確立されたモデルはありません。このように、単なる水質予測のモデルですら難しいわけですから、気候変動がどうなって、さらに水質がどうなるかって予測は極めて難しい訳です。となると、例えば、最初は、ある予測をもって計画を作ると、計画は5年後を目指しますが、実際にそれでやってみたらなかなか思い通りにいかないということもあります。思ったよりも

気候変動の影響が大きくなるかもしれませんし、小さくなるかもしれません。そうしたら適応計画を見直して、また、5年後にもう一度、予測をし直してまた見直す、とこんな面倒なことをやらざるを得ない。ここで予測して適応策を作ったものが、30年後まで本当に正しければそれでいいですが、残念ながら我々の環境に対する将来予測技術はそこまで信頼性はありません。でも、やらざるを得ないわけですから、常に予測して、5年後、10年後、何か違うと思ったら、その予測は直す、モデルも直すことをやっていく。昔の台風の進路予測は外れることもありましたが、最近をよく当たります。あれは、台風がどこまで来たかという情報を入れてモデル計算して、予測して、台風が少し進んだらまた情報を入れて、計算を繰り返しているわけです。だから合うようになった。同じ発想でやらざるを得ません。

あと一つ重要なことは、気候変動にどう適応するかということです。一つは今までの施策をそのままやるというもの、もう一つは今までの施策を強化する、今の施策に新しい施策を追加して適応をする、対策する、もしくは全く違うやり方をするというものです。今までやっている施策の中に気候変動という要素を一緒に入れて考えることが大切です。例えば湖沼の水質汚濁対策を考えてみると、今までは排水管理、排水をどうするか、ノンポイントどうしましょうかという話でしたが、それに気候変動を加えて考えていくとなると、今まで全く考えなかったような施策もあり得るといえるのがこの考えです。そのために、地域の気候変動適応センターというのが、今、想定されています。東京とか京都とか大きな大学が研究するという発想ではなく、地方の環境研究所、地方の大学で、地域が自分の周りをよく知っているところが中心になるというのが最大のポイントです。ということで、地域の状況をきちんと把握してやらないと、一般論で適応策を考えて対応するのは無理があるということです。同時に、各地域だけでやるのは大変ならば、国立環境研究所がお手伝いすること、これは今までの国環研の任務には、まずなかったものです。昔は、水の研究、私ですと霞ヶ浦の水質汚濁の研究をすれば結構といわれた時代からすると随分違って来た印象を持っています。多くの地域で既に適応センターが設置されていますが、茨城大学を除いてすべて各地の研究所となっています。茨城大学も地域の大学で、地域の環境研究所がかなり主体であるということですから、これは最初に申し上げたとおり、気候変動の影響については、本当に様々な分野、健康、水、大気などの分野、各機関の得意の分野、今までやってきたことをベースにして、調査研究を始めていただきたいということです。

これは気候変動適応計画で中環審の報告の中に書かれ

ていることですが、例えば、水ですと、気候変動によって水温が、水質が変化します。それから、流域からの栄養塩等の流出特性が変化することが想定されます。こういうことを実施し、今までの皆様方の水なり、大気なり、それから保健に関する、研究の延長というか、その中にあるということをご理解いただきたいのです。

これは私の、別の意味での、本日のミッションなのですが、環境省の環境総合推進費、年間50億くらいの予算が計上されています。環境問題対応として募る研究費用に年間3~4000万で3年間、これはかなり大きな額が配分されています。今まではずっと国環研とか大学です。今年から戦略として、各地の適応策をお手伝いするという目的も含めて、来年から5年間、適応に関する気候変動影響予測、適応に関する総合研究というのがスタートしております。今年はまだ募集は終わりましたが、来年に向けてぜひ適応研究というのを地域を中心に進めていただきたいと思います。また、環境研だけでなく、例えば農業試験場なり、水産試験場なり、そういうところと一緒に結構ですから、是非出していただきたいというのが一つのお願いであります。

3. 適応の研究の進め方

環境省の水環境課が、平成21年くらいから、気候変動による水質等への影響解明調査というのをやってきております。私がたまたまこの調査の検討委員会の座長を依頼されたということで、9年間行ってきました。最初の平成21年度にですね、気候変動の研究をやるといわれたとき、私は、地球は全然やったことないし、困ったと思いました。そのとき一つお願いしたのが様々な研究者に入ってもらおうということです。例えば、専門が環境でなくても、気候変動によって例えば豪雨や洪水がどれくらい起きるか、国土交通省がやっているようなことに関する研究者です。それぞれに色んな分野の様々な研究者が、すでにいろんな形で研究を始めております。しかし、気候変動については、どんなモデルでどうしていいかは私自身全く分からなかったです。ですから、気候変動の専門家にかなり近い先生に入ってくださいました。お名前申し上げますと東北大学の風間先生からいろいろなことを教えていただきながらこの研究調査を進めてきました。これから気候のモデル等の話をしますが、たぶん専門の方はあまりいらっやらないと思います。ですが、あまり気にしないで、他の分野のヘルプを得ながら、自分の専門である大気、水というようなところの知見を活かしていただくというのが重要になると思います。

例えば、非常にきれいな水環境があったとすると、わが国の場合には、健全な水利用をするということが、一つの大きな眼目になります。その水利用ができないという

ときの問題は何かというと、今までは、いわゆる排水が入ってくることによる汚濁でした。このときには水利用上の被害、もしくは問題が発生します。例えば人の健康被害と生活環境について環境基準として定められて、我々が、水環境、湖沼なり、海なり、川で守る目標として定められました。これがこれまでの普通の話だったわけです。これに気候変動、これももちろん人間活動の影響ではあるわけですが、排水が入ってくるとは全く違う、この新しいインパクトが与えられたときに、これがどうなるか。水環境、湖沼環境を保全していく環境基準という目標は基本的には変わりません。それにどういう影響があるかということ、環境を担当するもの、もしくは研究者が第一に考えなければいけないということになります。他の事を検討することは勝手ですが、ある意味でボトムラインであります。最もひどいのは、水を使わない、放っておくという方法です。ただ、基本的に我々は水を利用することが大前提ですから、水利用にどんな問題が出るかを考えないといけません。最低限としては、例えば湖沼に関する環境基準です。pHやCODが目標です。この目標の数値がなぜ出てきたかということ、利用目的、水産一級とか、水道一級とかありますが、この辺がまずボトムラインとして、排水によってこの利用目的が阻害されるかということを考えてののです。排水は今まで通り処理しないといけないのですが、気候変動によってどんな問題が起きるかということも考えていかざるを得ない。気候変動によってもっと問題が大きくなるとすれば、排水処理を場合によってはもっと強化しなくてはならない。いろいろ大変な問題になるわけですが、そういうことも必要になると思います。

同じように今までは、いわゆる有機汚濁ですが、富栄養化で窒素、リンの目標が定まっています。これも様々な水利用の点から、定義されているわけです。今までの気候条件において、この水利用を担保するためには、全窒素、全リンはこの濃度でよいと科学的根拠もあります。ずいぶん昔に議論して、ようやく作った数字ですが、もしかしたら気候変動によって変わるかもしれない。そうすると大変ですね、環境基準を変えようといっても、本当に大変で、場合によっては、環境基準そのものの目的は変えなくてもいいですが、気候変動に適応するために、基準値は変えないといけないということもあるかもしれません。これをあくまでも水の専門家がやはり判断していくしかないとなると、この基準値を変えるとか、あてはめを変えるとかいろいろな適応策を考えることと思います。

通常の問題は多くの場合、今問題があるから何とかしようとしてやっています。ところが、地球環境の問題、気候変動とか適応策の問題は将来どうなる、今のま

まで温室効果ガスの排出が続く、もしくは排出を少なくして、うまくいって気温の上昇を2℃に収めたとしてもどんなことが起きるか。それに対してどうやって適応していくかということです。今までの問題は今の問題ですから、何とか方法を考えますけど、地球の問題は予測とそれから解決策、両方あるわけですからダブルで考えないといけないということで極めて難しいといえます。例えば将来どうなるか、我々が一生懸命努力するというシナリオもあります。あまりやりたくないという国もいろいろあるわけです。例えば今まで通り温室効果ガスを出し続けるに近い場合から、一生懸命削減してあんまり問題が起きないように努力する。5年、10年、20年の間我々が温室効果ガスをどれくらい出すか誰もわからないです。計画ではいろいろ言いますが、本当に実行できるかわからない。そうすると、適応策を考える場合、一本ではいけないわけです。すごく減らした場合はこうなりますよ、でも減らさなかったら気温がどんどん上がりますよ、こういうことを考えないといけない。これにより、我々の行動をどうするかです。

もう一つつらいのが、複数のモデルがあるということです。要するにあるモデルによればすごく高い気温になる、別のモデルだとあんまり上がらない。ということは、モデルにもいろいろなものがある、そこをきちんと考えないといけないというのは、この適応策を考える上で非常に重要なことです。

将来どんな問題が起きるかというのがAR5の報告書に8個上げてありますが、青で書いてあるのは全部水に関係するところです。頭に留めてほしいのは、水に関係するものが多いということです。ですから気温の影響も重要ですが、水関連のリスクが大きいと言えると思います。

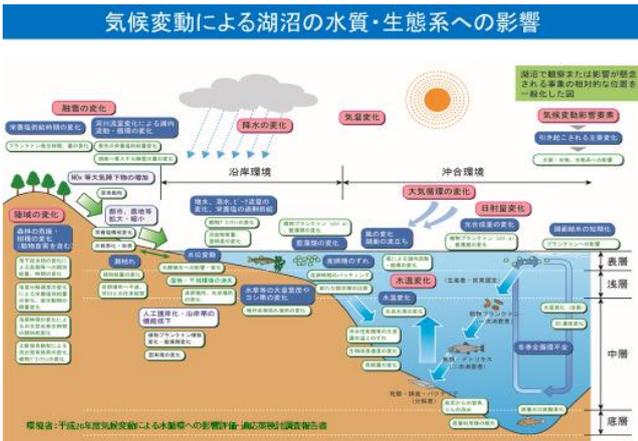
複数の分野地域に及ぶ8つの主要リスク

- ①海面上昇、沿岸での高潮被害
- ②大都市部への洪水による被害
- ③極端な気象現象によるインフラ等の機能停止
- ④熱波による、特に都市部の脆弱な層における死亡や疾病
- ⑤気温上昇、干ばつ等による食料安全保障が脅かされる
- ⑥水資源不足と農業生産減少による農村部の生計及び所得損失
- ⑦沿岸海域における生計に重要な海洋生態系の損失
- ⑧陸域及び内水生態系がもたらすサービスの損失

- 水関連のリスクが多い
- 気温上昇よりも水関連のリスク

IPCC (2018) AR5 第2作業部会報告書

4. 将来予測の一例



気候変動によって湖沼の水質や生態系がどうなるかということ、琵琶湖を念頭にすると、ざっとこんなにくさがあります。今までの、例えば排水が流れたら湖がどうなるか、というふうに変化していくか、というような発想がこれの中にほとんど全部入っているとのお考えいただければと思います。一番簡単に、最初に何を研究したかということ、湖の水温が上がるという非常にシンプルな質問に対してやってみたらですね、多くの湖は、今まで過去36年間で、夏と冬の水温が上がってきているということ、やはり気候変動というか地球温暖化の影響が表れています。ところが、逆の例ですが、1980年から2000年までの長い間、水質はそんなに変化していません。

設定した気候モデルの基本的事項

名称	NHRCM20	MIROC5	GFDL-CM3
水平解像度	20km 日本周辺(211x175)	大気:約150km, 海洋:約100km	大気:約200km, 海洋:約10kmの二様グリッド
鉛直層数	鉛直40層	大気:40層、海洋:49層	大気:48層、海洋:50層
モデル	地域気候モデル (日本周辺)	大気海洋結合モデル(全球)	大気海洋結合モデル
積雲対流スキーム	Kain-Fritschスキーム	Prognostic AS-type、オリジナルスキーム(Chikira & Sugiyama 2010)	(調査中)
開発者	気象研究所	東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構による共同開発	National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
時間解像度	1時間	3時間	3時間
(主な)提供気象データ	気温、降水量、風向風速など	気温、降水量、地表前線深度、地上気圧、海面水温、放射量など	気温、降水量、雲量、潜熱フラックス、風速、地上気圧、放射量など
備考	IPCC-AR5向け Watanabe et al.(2010)	IPCC-AR5向け Watanabe et al.(2010)	Griffies et al.(2011)
日本周辺での予測結果について	夏を中心に正バイアス、冬には全日本に負のバイアスが見られるが、全国平均では1.5℃に収まっている。降水量では正のバイアスがある。	21世紀後半に4℃上昇する傾向がある。降水量は他のモデルと比較すると中層から高層の傾向がある。後半に上昇する傾向がある。	21世紀後半に6℃上昇する傾向がある。

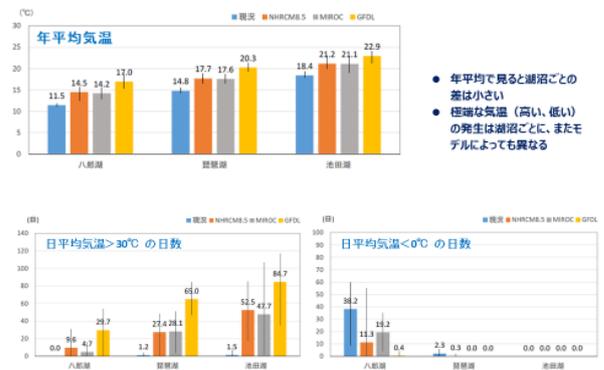
まず様々な気候モデルを使って予測をしました。一番気になるのは、水平解像度が20キロや150キロ、200キロとなっているところです。一つのメッシュが例えば200キロだと、200キロの範囲が全く同じように気温、水溫が上がり、雨が降るわけではありません。非常にきめが粗いということになります。例えば、伊勢湾でやろうとしても、伊勢湾は200キロの中に全部入ってしまいます。そうなると、全部平均して考えると、例えば、三河湾の側からいろんな汚濁物が出てくることとか、名古屋の街の方から出てくること、一緒になってしまうということですから、伊勢湾の細かいことをやるためには、もう少し

ダウンスケールを考えなければいけないということです。

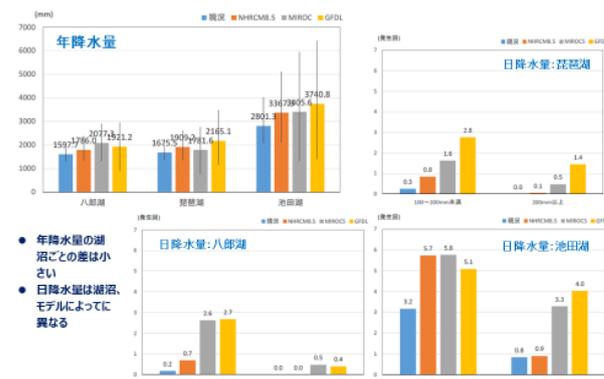
今回は、八郎湖(秋田県)、琵琶湖(滋賀県)、池田湖(鹿児島県)を用いました。琵琶湖も大きいですが、数十キロですから、いずれにしてもダウンスケール、細かい変化をきちんと入れてやらないといけません。モデルもいろいろありますから比較するため、また、シナリオも二つを比較してみてもどのくらい違うか、2100年くらいを目途に、気候でモデルのデータを集めて、将来どうなりそうかをしてみました。例えば、年平均気温、ちょっと増えていますが、重要なことは、すべて違うモデルの結果だということです。NHRCM20, MIROC5mid, GFDL-CM3と違うモデルを使っています。重要なのは、日平均気温が30℃以上の日数です。これにどういう意味があるかというと、例えばその湖にある特定の魚が住んでいて、その魚が30℃以上だとあまり増えなくなると、年平均気温はいつでもよくて、30℃以上の日数がどのくらいになるかが大切なのです。これが随分モデルによって違うわけです。逆に、0℃以下の日数、湖に氷がはるかどうかを考えますと、現在、八郎湖では年間40日くらい0℃以下の日がありますが、将来ほとんどなくなります。こういうそれぞれの湖に我々がなにを期待しているかということを考えて、予測しなくてはなりません。

雨になるともっと極端です。モデルによって降る、降らないがありますし、琵琶湖の場合、モデルによれば将

日平均気温: RCP8.5将来気象



年降水量、日降水量: RCP8.5将来気象



来すごく豪雨が降るようになることがわかりますが、八郎湖の場合、必ずしもそうではありません。池田湖もかなり増えますね。こういうふうに違うということが、将来、気候がわかったとしたら次に何をするかという、水質モデルです。これは、今まで全国の湖でも、湖沼水質保全計画か何かで様々なモデルを使っていますから、同じようなモデルを使います。当然のことながら、流域のモデル、畑や森林からどうやって栄養塩や汚濁物が出てくるかも考えないといけません。同時に、湖の中の水質がどうなるか、窒素やりん、クロロフィルなどの水質項目についてもモデルを使って予測することになります。

このモデルを作る場合、どのくらい合っているかを考えます。その数値を再現し、概ね合うモデルを作ります。ただ、その概ね合っているモデルを作ってやってみたところ、大変な失敗をやらしたことがあります。琵琶湖の例ですが、30年後、2030年くらいに、琵琶湖の水の循環が悪くなります。上から下まで循環しているのが、その3年間は循環が非常に悪くなるということ、琵琶湖の水質が極端に悪くなる可能性がありますとモデルで予測したわけです。あるモデル一つで予測したわけです。モデルとして計算は間違っていない。ただ、これは本当かと不安でしたので、公表はやめましょうといいましたけど、今時そういうのは駄目である、ということで出しました。委員会の中において、琵琶湖や滋賀県の方もいらっしやいましたから、しょうがないかなということを出しましたけど、結構問題になりました。別のモデルで計算してみました。全然循環が悪くなりません。これは最悪でした。ただし、計算して将来を予測するということがあり得ます。ですから、変な結果なり、危ない結果が出たときにどう公表するかということも場合によっては考えていく必要があります。こういう経験があったものですから、いろんなモデルを使って、いろんなケースで予測をするということをやっつけていかないと危ないのではないかな。今はモデルが進歩していますから、もう少し気にしなくていいかもしれませんが、所詮コンピューターシミュレーションのモデルはこういうことがバックグラウンドにあり得るということは知っておいていただく必要があります。ですから、5年計画を作って、適応をやってみてうまくいかなかったら、5年後にもう一度やり直すという、適応法のアイデア、考え方、科学的知見に基づいて5年後に変えて、5年ごとに進歩させていくというのが必要だと思います。

5. 研究事例紹介

どんなことをやったか。いくつか紹介しますが、例えば、窒素の年流入負荷量はモデルによってほとんど変わりません。ところが、りんはモデルによって全然違いま

す。何が違うかという、負荷量が多いモデルは雨がすごく降ると予測しているわけです。雨で湖に入ってくる非点源負荷の負荷量というのは、河川流量によって非常に大きく左右されます。窒素の場合、多少雨が降ってもあまり変わらない、ところが、りんの場合はちょっと雨が降ると負荷量がどっと大きくなるということで、雨の降り方をきちんと予測しないとダメです。もし、流入負荷量が大きくなるモデルが合っているとしたら、将来は大変な負荷量になりますから、工場の排水を管理するよりも、非点源負荷を管理しないとダメです。行政がやっている水の研究では非点源負荷って一番よくわかりません。省庁によって原単位が違うようなことが起こるわけです。そのぐらい難しいことを、私が数十年前に国立公害研（環境研）にいたとき非点源負荷の研究をすることがちょっとあって、一生懸命やりましたが、その後あんまり研究する人がいなくなりました。これからはひょっとしたら非点源負荷の研究を本当に一生懸命やらないと、適応策はきちんとできないということになるかもしれません。

あとは、雪がどのくらい降るかですが、将来だんだん暖かくなると、あまり降らなくなります。そうすると、春の負荷量、春に八郎湖に入ってくる負荷量がどんどん減ってきます。湖の状態が変わってしまうということを行っていることになります。

それから、気候変動とともに、気象変動もあります。平均的なところを見てみるとあまり変わらないように見えますが、モデルによっては変動幅がすごく大きくなります。雨が降ることにより、りん濃度が上がる年があります。すべてではないですよ。通常我々が将来予測をする場合、5年後10年後にどうなるかという、5年後10年後の平均を考えるわけです。ところが、ここで言いたいことは、10、50年後の平均はあまり意味がなくて、50年後のすごく雨が降る年と降らない年、台風が来る年、来ない年、というような気象の変動を考えて、将来の10年間のうち、3年は大きな問題が起きるけど、残り7年はあまり起きない。その問題が起きる3年に対して我々はどうするか、ということを考えていかざるを得ないと思います。これがポイントです。

これも、気候変動と気象変動の話ですが、八郎湖で現在ですと、例えばクロロフィルが最大でも70 μ g/Lしかないのに、将来は70を超える年がいっぱい増えるということです。最大値の年が多くなるということはそれなりの対応が必要だということになります。

八郎湖はワカサギの生産量がかなり多いということが知られています。八郎湖で表層水温が30 $^{\circ}$ Cを超える日がいっぱい増えてくると、将来ワカサギが取れない年がたたくさん出るでしょう。それから、日平均気温が0 $^{\circ}$ Cを下回

る日数が将来どんどん減ってきます。となると、ワカサギを氷の上から釣る、ワカサギ釣り、観光はできなくなる可能性があります。

琵琶湖ですと重要なのは循環が変わるということです。水温の鉛直分布、循環がどうなるかという、将来循環が止まる可能性があります。そうすると、いつもではありませんが、底層の溶存酸素がゼロになります。10年のうち起こる年が今まではほとんどないものが、10年のうち2回とか出てくるという予測になります。そうすると、何が重要かという、琵琶湖には重要な固有種のイサザが住んでいます。何が問題かという、湖の中で貧酸素の面積がどれくらい増えるかを計算して、モデルによって違うわけですけど、貧酸素の面積がどんどん増えるということは、イサザの生息環境が将来悪くなるということを推定しているわけです。適応策として何が重要か、湖の底に酸素を送るのは、田んぼなんかではできませんが、琵琶湖はそうはいかないわけですから、場合によっては、イサザが住むような水域をどうやって別の形で守るか、諦めましょうとか、そういうことを考えざるを得ないということになるかと思えます。

オリンピックをするので、東京湾で結構問題になっていますのは、大雨があったときに起こる下水のオーバーフローです。今までと違う大雨が増えると下水のオーバーフローの確率が当然増えますから、問題となります。

アメリカの五大湖では、気候変動に対してどう考えているのか。答えは簡単です。日本と同じことを考えています。湖沼の水位、氷は張るのか、異常気象、当然ノンポイントで窒素、りんが入ってきます。あとは水の循環、成層している期間が今まで135日ですけど、これから225日に増えます。この期間が増えることは、生態系にどんな影響を与えるか、この視点は今まで我々の研究の中にはあまり明確に入っていないですが、変化していきます。我々が今まで湖でずっと研究してきたのと同じようなことをアメリカでもやっています。

適応のためにどうするか、完全な情報を持つのは無理です。ですから、不十分な情報でもやらないといけません。5年ごとにやるしかないが大変です。過去のデータに基づいて、将来のために現在実行する。このように我々は適応策をやらないといけません。パラドックスといえそうですが、今までやっていることは、大体そんなものであるというふうにお考えいただければ、普通の事だと思えます。

6. まとめ

最後に、今までの緩和策、いわゆる地球温暖化対策、最近では温暖化と言わずに気候変動という言葉を使うようになってきております。温暖化ということではなく、気

候変動が大きな問題であるということですが、やはり地球の環境問題であることに対しては、温室効果ガスをどうするかということです。ところが適応策は違います。これはまさに環境対策で地域の環境問題です。ということで、何をしなきゃいけないかという、湖の例でお示しましたように気候の変動に伴って湖内がどう変化するか、それを予測すると同時に対策をしないとイケません。簡単に言えば、これまでの調査研究の延長であるというか、それをさらに深めていただくことが重要であると考えております。ぜひ今までの水、大気、生態系の専門家の方が、もしくは専門家の方からこそ、適応策の研究に邁進していただければ、日本の各地域の適応策が推進されると思いますので、御協力をお願いしたいと思います。

質疑応答

千葉県環境研究センター 中田氏

適応策の話の中で、いろいろなモデルの話ですが、環境省や我々環境部門がやっているようなモデルもあれば、土木もモデルを持っています。結構今までは仕事ごとにいろんな対応をするため、気象モデルなりをいろいろやっていたのですが、これはある意味、地球の温暖化については、みんなで、一つのモデルでやって、起きた現象の適応策を考えていかなくちゃいけないと思います。例えば、国の方で、今回の適応策の関係の中で、国土交通省とか、環境省とか、いろいろ違いますけど、そういう人たちがどう連携をとっていくのか。我々が相談する先は国環研になるわけですけども、国環研がどう音頭を取るのか。また、自分たちを振り返るなら、各都道府県には土木部局があったり、農林部局があったり、我々がいて、それがどううまく連携していくのかなということを考えます。何か知見がありましたら教えていただきたいと思えます。

講師

一番重要なお質問で、私自身も正確な答えを持っておりません。例えば、土木の先生と相談すると、土木のモデルは、例えば10年20年の気象の変化ではなくて、50年洪水とかですねいろいろ考えますから、土木は土木なりのモデルがあります。それを例えば湖にそのまま当てはめていかどうかという、土木の先生もう一んと言います。私自身がこの湖の研究調査をやるときに、環境省地球環境局の方も当然来ていますから、モデルどうしたらいいですかと、我々はとりあえず三つやりました。シナリオはRCPに4つあります。12個やった方がいいに決まっていますが、12個やる予算がないわけです。仕方ないからいくつか選んでやりました。何度もしつこくモデルどうしたらいいですかと言ったのですが、非難するわけで

はなく、地球局の担当の方もあまり答えられません。そういう意味ではいつも議論していて、今のところ明確にこうですというのは申し上げられません。国環研に聞いたらどうなるかということも、何とも答えられませんが、多分、分野に応じて、一つのモデルにするということは、必ずしもやらないかもしれません。わかりません。これから三村先生（茨城大学）の大きなプロジェクトが走ります。その中でも多分議論されると思いますので、その間にいろいろ出てくると思うのですが、5年待てないですよ。ですから、多分一番いいことは、我々はベストのモデルは用いられない、そもそも何がベストかわからない、ということですから、例えば農林分野の方とされるのであれば農林分野のモデルでもいいですし、水資源の話になりますと、水関連部門のモデルになります。両方あるということを知ったうえで、今の流れでやる。急に新しいモデルを作って、全部やり直すと、すごく大変です。数年かかってしまうそのものが正しいかどうかとも検証できないので、今まであったものを使いながらやってみて、うまくいかなかったらまた直して、5年刻みでやるしかないと思います。本当に一番重要な議論だと思っているのですが、答えられません。

千葉県環境研究センター、横山氏

先生のお話を聞いて一番思いましたのが、気候変動ですね、一番は水質関係ですけど、特に湖沼の関係でいうと、浅い湖ですと水の循環の話はあまり関係なくなっちゃうので、おそらくノンポイントソースが一番効いてくる。そういう意味でこれが全体的に共通しているものとのことでよろしいでしょうか。

講師

はい。私は個人的にノンポイントソースの研究者でもありましたので、好きなことは事実ですけども、やはり工場排水では生活雑排水って言った時代から、ノンポイントソースの話は、分かっているけども詳しくやらなかったです。手つけられないので。でもこれからはやっぱり手を付けざるを得ないと思います。ですから同じような意味で下水のオーバーフローがありますね。あれも国交省で管理されていますが、今まであまり表に出さないでやってきた面もありましたが、これからはきちんと対応せざるを得ないだろうということで、ぜひそのような研究を推進していただければと思います。