

第12章 地球温暖化に起因する気候変動への適応策に関する研究内容について

国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部長 大平一典氏

国土技術政策総合研究所は、昔は土木研究所と言っていたが、最新のテーマや河川やダムなどの技術の基準といった国が定めるべきものが法律にあり、国の行政と一体となった研究を行うために国の研究所として残っているものである。河川と水資源と海岸の研究を束ねて行っており、その中で気候変動の研究も行って欲しいとの要望に対して、水害と下水道と環境分野を入れて、気候変動本部を立ち上げて横断的な研究を行っている。

今日は七つの研究テーマについてお話させていただく。まず気候変動についてこういった現象が起きているかと言うと、昨今豪雨が多いと言われているが、現在のレベルでいう100ミリメートル以上の豪雨が、これからどんどん日数、回数ともに増えていくという予想がされている。しかし本当にそうだろうかというところを明らかにしていこうと思っている。

気候変動については、皆さん方は温暖化の影響が何となくあるかなと思っておられるけれども、実は本当に気候変動の影響というのは確認されているというところまでは、今のところ至っていない。

ここに面白いデータがある(資料1, P.292)。上のグラフはベニスの有名な広場の冠水頻度だ。このところ冠水頻度がずっと増えている。これは海水面が高くなっているからではないか。下のグラフは厳島神社の国宝の回廊である。よく台風の際に被害を受けるのだが、その回廊が海水に浸かる頻度がどれ位になっているのかを宮司さんから聞き取りをして作ったグラフだ。地盤沈下はほとんどない。2000年以降多い時は年間20回以上浸かっているが、これは一体何だろうかと言うわけである。地球温暖化で海水面が上昇しているのか、それとも黒潮の蛇行のために高潮が瀬戸内海に押し寄せているのか。その辺りは何とも言えないが、何か兆候があるなというところが見られるわけである。

気候変動の問題を理解するためにグラフを用意した(資料2)。気候変動は地球の温暖化の中で、気温の平均的な上昇と、それに伴う局地的な現象が頻発するという二種類の性格を持っている。このグラフは年間降水量を日数で割って、1日あたりどのくらい降るかということを示したものである。例えば1945年、終戦の年に突出している部分があるが、これはカスリーン台風の年だ。それから昭和34年は、伊勢湾台風の時だ。現在が2010年辺りなので、実は平均的に見ると、極大値的なものは昔の方が大きかった。従って気候変動は最近になって多くなっているわけではなく、昔からたくさんあったということになる。

このデータは地球シミュレーターで予測した雨を日数で割ったものだが、何となく平均値が上がっていったような感じがある。気温の上昇に伴ってこういった変化があるわけだが、問題なのは局地で結構大きい変動が予測されているということである。今まではカスリーン台風や伊勢湾台風を念頭に、さらに安全度を高めた国土の整備をしてきた。ところが今後も気候変動が進むと、我々が今まで整備を進めてきたレベルを遥かに超えるものが何回も出てきてしまう可能性がある。これに対してどう対応していくか。こういった局地の問題と、平均値が上がっていくことの問題。この両方に対応していかなければならないということである。

地球環境の変化に伴う影響を、環境を主にまとめてみると、気候変動で気温が上がっていく中で、動植物の生息する種類、鮎や鮭の遡上する時期、森林の植生等が変化し、都市のヒートアイランド現象といったものの平均値が上がっていく。一方で洪水と渇水に関しては先程の極大値のように大きな数字が出てくる。こういう問題に対応していかなければならないということになる。

1. 気候変動によって雨の降り方はどのように変わるのか？

まず研究テーマの一つとして、気候変動で雨の降り方がどのように変わるのかということがある。実は、気象庁の気象研究所が主に行っている研究に私共も参加しているが、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、当初地球を格子状に区切って、それぞれの気候モデルで、2000年から2100年までを計算してきた。第四次報告では、モデルによっては1辺が200キロメートルといった解像度のものもあるが、大体100キロメートルぐらいのもので計算が行われている。最新のものは20キロメートルまで小さくなってきているが、その20キロメートルというモデルの中で全球を相手にしたモデル（GCM20）では、円軸方向に60層に海と大気を区切り、上下のやりとりもしている。また大気と海を結合したモデルもあるが、全球を計算するのが大変なので、日本周辺だけを20キロメートルにしたモデル（CRCM20）との二つのモデルがある。

このモデルを使って、IPCCでは今後の地球はどのように動くだろうかというシナリオを作っている（資料3）。

一つは高成長型。エネルギーのバランスを重視して、発展しながら石油、化石燃料から原子力といったエネルギーにうまく転換を図って高度成長を図るというA1Bというシナリオ。これは現実的なシナリオなのではないかと思っている。

もう一つは、世界中を共産圏、アジア圏、ヨーロッパ圏といった形でブロック化して、それぞれが勝手に物事を考えていくというシナリオ。ヨーロッパが目指している持続発展型というのは、名前は良いのだが、要はうまく環境も保全しながら発展も両立させたいという、CO₂を大幅に削減するようなイメージのB1というシナリオである。

それからもっと共存していくようないろいろなシナリオをIPCCは考え、それぞれにCO₂の

排出シナリオがあり、それに基づいて今の地球シミュレーターで検討がされたわけである。そういった中で、例えば、A1Bというシナリオで見ると、大体3度ぐらい気温が上昇するという予想になっている。平均値が3度、幅が2度から4.5度ぐらいである。一方で、こういった計算モデルは全部で17あるが、この17のモデルの平均値を取っていくと、例えばA1Bというシナリオであれば7度だ。北極も7度ぐらい気温が上昇してしまう。こういった予測がされている。

これに伴って雨の降り方が大幅に変わってきて、資料4はA1Bのシナリオだけを示しているが、大きく言うと中緯度地帯、オーストラリアや南アメリカ、ブラジル、それからヨーロッパ、中南米、アメリカで雨が減るといような予想になっている。ここから何が言えるかということだが、例えばオーストラリアはいま大干ばつだ。水がほとんどなくて、小麦もとれない。そのため日本でも小麦が輸入できなくなって小麦が高騰した時期がある。それをどこで補ったかと言うと、お気付きかも知れないが、スーパーに行ってパスタを買うと、昔はオーストラリア産小麦と書いてあったが、今はトルコやアルジェリア、モロッコ産となっている。こういった所で雨が少なくなるとどうなるかと言うと、食料生産が少なくなる。こうした事が言える。

一方で中国は、20%以上雨が增えることになっているが、インフラ整備が進んでいないので、恐らく大洪水が発生するのではないかと予想される。それ以外に、気温の上昇でヒマラヤの氷河が溶けるとインダス川の水がなくなったり、逆に決壊によって一時的にインドが大水害を受けるといった事も考えられる。これによって世界にいろいろな意味で社会的影響が出てくる。これにどう対処していくかが、今後課題になってくる。

その前に雨についてだが、資料5は先程のCRCM20という地域版モデルで、1980年から2000年までの年間降水量の20年間の平均値と、2080年から2100年までの平均値を比較し、変動率を見てみた。絶対値が必ずしも信用できないので、恐らくこんな傾向だろうということだが、これを見ると北海道がかなり増えて10%以上増加し、東北や南九州も増える。残りは大体同じ程度である。

実は北海道は、今まで大雨が降った経験がほとんど無い。九州であれば1日あたり300ミリメートル降っても、洪水はほとんど起きないが、北海道では大洪水になる。

もっと怖いのは降雪量だ。気温が上がるから当然なのだが、これは軒並みマイナスである。太平洋側を中心に大体5割から7割減ってしまう。そうすると実は東京の水がめの矢木沢ダムなどの上流域の山岳地帯で雪が非常に減ってしまう。水資源にも影響は出るだろう。また雪が減るだけではなくて気温が上がる。12月になるとよく青森の方では「どか雪」という言葉を聞くかも知れないが、今後は青森あたりでも「どか雪」ではなくて、12月に大雨が降って、冬に洪水が起きるとい可能性も出てくる。

次に日降水量がどのように変化するかということだが(資料6)、大きい方から並べて25%の値で比較してみると、軒並み10%ぐらい増えると予想される。一方で、この一雨の連続降

水量も、関東や中部では増える。それから今度は雨が降らない日数でみると、中部、関東といった我が国の中心地域、3大都市圏では、雨の降らない日数も増える。

これはどういうことかと言うと、気温が上昇するので空気中の水分量が増える。すると、雨の元になる水分がたくさん空中に蓄えられるわけである。それがあきかけで、例えば北から冷たい空気が流れ込むと、それが原因でドーンと大雨になって、そのあとカラカラの状態が長く続くという事になる。つまり大洪水が発生し、そして濁水が起きることが予想されている。

これについては、先程の地域気候モデルが20キロメートルでは台風の予測もできないので、今気象研究所と一緒に、20キロメートルの格子を5キロメートル、さらには1キロメートルにしようとしている。1キロメートルまで計算すると、台風の発生や成長、コースの予測まで何とか可能になる。20キロメートルではもう、本当にラフなことしかできないという状況なので、このシミュレーターのダウンサイジング、性能向上に力を注いでいる。

それから地球の雨が増えると、社会的影響がたくさんある。気候変動によって食料生産がどのように変わるのか。そして食料の大半を輸入している日本としては、日本の安全保障の観点から、どんな貢献をすべきなのかということも検討している。

2. 世界の水資源変化から見た日本の安全保障と貢献策

資料7は東京大学の沖大幹教授が気候変動を中心に河川の流量を予測したものだが、先程のようにオーストラリアや南米、アメリカ、それからヨーロッパは雨が減って、水が軒並み減るとされている。日本が海外に大きく食料を依存しているということは、食料を生産する水にも依存しているということである。日本の安全保障というのは、海外からの食料輸入が直接になるかも知れないが、実はそれを作っている水が重要だ。トウモロコシなどもそうだが、そもそも食料の生産は水に依存しているということで、バーチャルウォーターという概念を沖教授が提案している。水を見ていかないことには日本の安全保障というのは判断できないのではないかというわけである。

そこでどういう事をしたかと言うと、将来の水資源を予測して、そこから利用できない分を除いて利用可能量の水を出す。さらに生活用水、工業用水を先取りして農業にどれ位水が回せるかということをも算定する。この水でもってどんな生産ができるかを考え、作られた農業生産物は、先に自国で食べるものを先取りして、残りが輸出や在庫になったりしていくものとする。こういった部分がどのように変わるのかという事を水の観点から予測しようというものである。

将来の水需要量については、GDPをベースに一人あたりの原単位を出している(資料8)。例えば生活用水の需要量とか工業用水の需要量、それから農業用水の需要量、さらには穀物需要量。これらは粗っぽい分布の中で行っており、まだまだ正確ではないが、これを全世界、各

国別に行っている。

結果については、2050年をベースに予測しているが、現在よりも人口が1.65倍、GDPが8倍といった値を与えていくと、結果として水需要量は現在よりも1.6倍、そして穀物の必要量は2.79倍になる。主要4品目というのは、小麦とトウモロコシと大豆と米だが、これだけの食料が必要になってくる。にもかかわらず、水はわずかしか増えない。生産量から見ても、この4品目では1.36倍となり、ここでも水が足りない。つまり食料が不足する。農業に利用できる水を分子に、必要な分量を分母にして、これを水ストレスと名付けて、どんな国がストレスが大きいかというのを見ると、ヨーロッパが大きい。意外なのが中国で、水ストレスは小さい。これは雨がたくさん降るからである。ところが話は単純でなく、中国がダム等いろいろな投資をしたとしても、あまりにも国土が広くて使える水の量を確保できないのではないかという懸念がある。先程申し上げたように、ドバツと降って、残りがカラカラの状態になるので、中国やインドという国がこれからどのような政策を取っていくかという事が非常に大きな問題になり得る。いま1年目の結果を示したが、さらに精度を高めていって、何ができるかを考えていこうと思っているところである。

3. ゲリラ豪雨対策

最近よくゲリラ豪雨という言葉をお聞きだと思うが、テーマとしては、まずゲリラ豪雨の発生を早期にとらえるということがある。それは10分、20分のオーダーである。積乱雲というのは、10分、20分で大きく育って、それから30分ぐらいで動きながらドーンと雨を降らせて、また消えてしまうという性格がある。これをどうとらえるかということである。

二つ目は、ゲリラ豪雨がどう成長して、どこに移動していくかということと予測する。それをベースに河川での急激な増水や市街地の浸水に対して警報を出す。例えばご記憶にあると思うが、去年(2008年)神戸の都賀川で子どもたちが流された。それから豊島区の雑司ヶ谷では下水道工事の方が亡くなった。こういった事を防ぐシステムを作ろうということで、ベースをX(エックス)バンド・マルチパラメーターレーダというものにした(資料9)。

主として気象庁のレーダがテレビに出るのでご存じないかも知れないが、実は我々もこういったレーダを持っている。全国を26基でカバーをしており、雨の観測をして、河川の洪水流量の予測をして、そこから水位を予測し、警報を出している。Xバンドは既存レーダより波長が短く、雨を直接観測できるのが特徴で、いま何ミリ降っているかが観測できる。それに二重偏波とドップラーレーダを使って、雨粒子の形や風の方向を観測したり、また面白いのは縦波と横波を雨粒に当てることで雨粒がどれだけ変形しているかということと計ることができる。さらにこの雨粒は何ミリに相当するかというのが分かるというレーダだが、2008年のゲリラ豪雨を受けて、補正予算で全部で11基の予算が付いており、現在工場で作成中である。関東で2基、中部で3基、近畿に4基、そして北陸も豪雨があったので2基導入するが、この合計

11基を2009年度中に据え付けて来年度完成になる(資料10)。さらに今度の経済対策で広島と福岡に7基入れるので、全部で18基の観測網ができるようになる。

このXバンド・マルチパラメーターレーダで、1分間でどれくらいの雨が降っているかという絵が描ける。Cバンドという、今運用中のものは1キロメッシュだが、Xバンドレーダは250メートルから500メートルメッシュなので精密な絵が描ける。ということは、今のレーダよりも精密で、かつきめの細かいデータが取れるので、いち早く捕まえることができるし、10分間なら10分間の値を入れることで予測ができるというわけである。これらレーダの監視網を3大都市圏プラス政令指定都市を念頭に置いて作っていかうとしている。

これをとらえた後に、1時間後にこの雨域がどこまで移行していくのかというような予測をするわけだが、やや情報が足りないというか、技術的な限界があって、移動先は分かっても、そこで何ミリ降るかまではなかなか予想ができない。いずれはそこまで予想できるようにしたいとは思っているが、現在のところは今の雨域がどこまで、あるいはどこに移動するかを予想しようとしている段階である。

さらにそれを使って、下水道と都市地域での雨がどこで溢れるとか、どこの川がどれくらいの水位で氾濫するかといったリアルタイム浸水予想のモデルを今作っている。そういったものを雨の情報や浸水の移動の情報、あるいは予想の情報をデータセンターを通じて都道府県や市町村、場合によっては必要とする方に提供するシステムを作ろうということを考えている。

ただ機械的にはできるのだが、30分というオーダーで、人間がそれに対応できるかどうかというところが非常に問題になっている。というのは利根川や淀川などの大河川だと、下流まで洪水が来るのに1日か2日かかる。ところが都賀川や、去年事故のあった下水道だと30分で勝負しなければならない。この間に人間を介在させて果たして対応できるのかどうか。

こういう武器ができると、間に合わなかったとか、分からなかったとは言えなくなる。問題なのは、大河川は国が管理しているが、都賀川にしろ下水道にしろ、これは都道府県管理であることだ。つまり兵庫県なり東京都の管理である。折角我々が良いものをつくり、使ってもらおうとしても、余計に管理が大変になってしまったと言われる可能性もあり、これに人間の行動を組み合わせた予測警報システムのようなものも今研究の対象に加えている。これによって来年(2010年)の4月以降は、かなり豪雨の監視体制が強化される。

4. 海岸の防護対策

四つ目の研究テーマが海岸である。気温が上がることによって海面が上昇する。それと同時に台風も凶暴化する。そうすると日本は島国なので、海岸の防護施設は本当に大丈夫かということ判断しなければならない。それから3大都市圏のゼロメートル地帯をはじめ日本の海岸線を守るためには何をしなければならないかということが問題になるわけである。

先般ニュースを見ていたら、ツバルではないのだが、南の島で既に海岸線が大幅に後退して

いるという話が出ていた。この数年で上昇したのは、たった10センチメートルから20センチメートルぐらいだが、それだけで海岸線が大幅に後退する。今のIPCCの予測の中のA1Bで言うと、MAX48センチメートルと言われているが、先般『ネイチャー』という雑誌に、どうもIPCCの予測は小さいのではないかと、すなわちもっと上昇するのではないかとというような論文も載っていた。しかし、ここには局地の影響が入っていない。グリーンランドがどれだけ溶けるかとか、北極がどうなるかということが、このモデルにはまだ入っていないのである。今後、IPCCの予測もこの辺りの影響も含めて公表されるのではないかと考えている。21世紀末における世界海面水位上昇量は、現在の予測では平均で40センチメートルぐらいである。

IPCCの資料によれば台風の凶暴化を予測しており、カテゴリー4、5の強い台風の発生の比率が最近増えてきている。今後これがさらに増えるだろうと予想されている。実際に、私共は駿潮場の潮位と衛星の観測状況を見ているのだが、衛星と現地観測の傾向は大体合っている(資料11)。ところが潮位が上がっているという兆候までは、まだ断言できるほどはない。従ってこれは非常に微妙なところで、無理矢理、年間2ミリ、3ミリ上がるかなという線は引こうと思えば引けるが、必ずしも有意ではない。ただ平均値としての上がり、局地的な上がり、高潮などの回数は増えている。これをどう見ていくかということである。もし海面が上がるとどうなるかという、これは理想的な砂浜なのだが、現在の海岸線を中心に、安定勾配で海岸がつくられていく。ということは、海面が1メートル上がったら、そこでの安定勾配になるので、試算によると100メートルぐらい海岸線が後退してしまう。日本の海岸は今でも砂浜が足りない。そういう中で、さらに砂浜が後退してしまって、防護施設がない所では被害が起きるというような事が当然考えられるわけである。海面が1メートル上がると砂浜の後退距離が100メートルの所で浸食面積が90パーセント程度になってしまう。

資料12は関東地方と関西地方に人口と資産が集積している図である。実は東京は埋め立て地ばかりだ。ご存じだと思うが、大阪もそうだ。こういった所に我々は高度な文化を築いているのだが、これを守っているのは、この高潮堤防の薄皮1枚である。隅田川の堤防を想像していただければいいが、このような危うい所で我々は文明を築き、生活をしているわけである。

もし、例えば59センチメートル海面が上昇したとするとどうなるか。このゼロメートル地帯の人口は1.5倍になるということが予測されているが、ここで十分な対策が取られているかというところではない。では我々は何をやっているかという、将来「波」という外力がどうなるか、あるいは施設の性能がそれに耐えられるかどうかということをも想定して、強化、新設といったプロジェクトを一つ一つやっているわけである。

波によるどんな破壊があるか、施設の性能はどうか、それに対して許容がどうかというようなことで、この判定の手法を作っているわけだが、実際のところはなかなか海岸については予算も不足しており、進んでいない。一方台風の進路図についてはたくさんのシミュレーションを行っており、東京湾に入ってくる台風の進路を予測したり、最大級の台風が来た時に、それ

それぞれの点でどれくらい波が高くなるか、あるいは波の打ち上げ高があるかどうかを予想している。そして海岸構造物がもつかもたないかという計算をして、それでは、どこから補修していいかといった計画を策定している。

海岸の話をする、実は海岸線を守っているのは海岸4省庁と言って、昔の建設省と港湾をやっていた運輸省、それから農水省の中に農地を守るための構造改善部門と漁港部門がある。この4つが仲良くやっているつもりだが、基準や物をつくる考え方が意外とばらばらだ。これを早く統一しようとしているのが現状である。河川堤防もそうだが、伊勢湾台風の起きた昭和34年を契機に、高潮堤防を一気に造った。隅田川は地震対策で高潮堤防が強化されているが、強化されていないぼろぼろの堤防が日本全国にたくさんあって、少しずつ補修はしているが、これは現状の補修でしかないわけである。気候変動の外力が増えた時に、こういった補修ではなくて、大々的に直さなければならぬと思っているのだが、なかなか追いついていないのが実態である。

特に3大湾を中心にきちっとした問題点の洗い出しをして、補強対策を提案していこうと思っているが、海岸4省庁がばらばらだということもあり、また予算もないということもあり、古い施設数は増えていっているにもかかわらず、なかなかうまくいっていない。

資料13にハリケーン・カトリーナによるニューオーリンズの浸水状況を示しているが、一旦事があるとああいう状況になってしまう。もちろん日本ではアメリカのような事にはならないとは言われているが、昔ロサンゼルス地震で高速道路が倒れた時にも、日本は耐震の規制が厳しいので絶対に高速道路は倒れないと言われたが、神戸でももの見事に倒れた。だからかなり気をつけてはいるが、日本で起こらないという事はない。アメリカの場合、地震対策には2,200億円あればよかったのだが、実際はできず、代わりに被害額が14兆円に上ってしまった。こういった事が日本でも起き得ると思う。我々はいろいろな制約の中で、一つ一つ問題点を明らかにして、対策を取ってきてはいる。しかしながら、なかなか手が回っていないのが現状だ。例えば、オランダなどはご存じの通り国土の大半が海面より低いので、堤防で国土が守られている。この防潮堤は、実は1997年、今からもう10年以上前に50センチメートル海面が上昇するという予測の元につくられている。気候変動が大きな話題になったのは、ここ2、3年だが、実はIPCCは今から20年前に既にスタートしているわけである。第一次報告、第二次報告と出ている、今回が第四次報告だったわけだが、いろいろ対策を取っている国々も多々ある。

それからもう一つ問題なのは砂浜だ。この砂浜というのは、対象が砂で脆いため、この砂浜を増やしたり守ったりするのは非常に難しく、特に外力が今のように大きくなると、一気に100メートル減ってしまう。この砂浜をどのように守るかという事が先ず大事で、同時に砂浜の生物環境を守ってやらないといけない。この砂浜をどう守るかという研究も行っている。例えば砂浜を守るために従来は小さい砂を入れていたものを、粗い砂を入れて、できるだけ海の方へ持って行かれないようにしようとか、ハマグリが生息状況はどうだとか、こういった地道

なことを研究している。

砂浜というのは実は見えない部分である破碎帯にあるサンドバーというちょっと高くなった所が大事であり、ここがなくなると砂浜がなくなる。このバーを戻すための条件設定をどうするかという事を、我々は研究している。

因みに砂浜がなくなったのはダムができて土砂を止めるからだというような事をおっしゃる方が結構多いのだが、例えば鹿児島県の指宿という砂蒸しで有名な温泉場でも砂浜はどんどん減っている。しかし、あそこにはダムはない。それから石川県の渚ロードという鳴き砂で有名な、車で走行できる砂浜があるのだが、あそこもどんどん後退している。あそこにもダムはない。九十九里にも、鹿島灘の砂浜にもダムはない。そもそも流れ込む川がない。そういう所で後退しているのである。

これはなぜかと言うと、ダムの影響がないとは言わないが、大半が自然につくられた海岸に、漁港や突堤や大きな港湾を造ったりと、人間が手を加えるからである。こういう事で海岸線の砂の流れを邪魔するため、後退する。ここはいつもマスコミの方も誤解して、ダムのせいにしたがるが、ダムは影響がないとは言わないまでも、大方の原因は人間のそういった活動によるものである。

そういう中で、砂浜を更に守っていくというのは大変な技術であり、大変苦労している。悪評高いダムだが、現状は新しくできるような状況ではなく、今あるダムを最大限有効に活用しようとしている。そのために何をやっているかと言うと、先程のゲリラ豪雨の予測にも使うつもりだが、WRFという気象モデルがあって、これによって1キロメッシュの細かいところで48時間ぐらい先まで雨を予測する。そうするとダムの上流域にどれだけの雨が降るかという予測ができる。これによって、今ポケットにどれだけあるから満杯に貯めるにはどういう操作をしたらいいかという事がすぐ分かるようになる。現在のダムの操作というのは、どれくらい雨が降るか分からないので、決まった操作しかできない。従って水が溜まらなかったり、逆にパンクしてしまって、川の水量が増えているところに放流してしまい、ダムのおかげで洪水が起きるとまで言われている。しかし現在はこういった予測ができるようにまできている。

まだ精度の問題があって、予測が当たらないところもあるが、こういう予測ができるようになれば、ダムの洪水調節の容量を増やすために、24時間前にどんどん放水してポケットを空けておくとか、満杯になるような調節の新操作ルールを決めるといったことが可能になる。現在こういう気象モデルもダム操作に有効に使うという事が行われている。

5. 河川河道の適正な維持管理

それからもう一つ大事な事は、洪水が流れる河川をちゃんと管理するという事である。これはどういう事かと言うと、土砂が堆積しないような河道をつくるとか、堆積する土砂をコントロールするといった事である。それから流れの障害となる樹木を計画的に伐採するというよ

うな植生管理である。木がいっぱい生えていて、こんな川で大丈夫かと思われていると思うが、きちんとチェックが行われている。

気候変動によって雨が仮に1.1倍ぐらいに増えると、当然ながら川の流量が増える(資料14)。いま整備しているキャパシティよりも大きな洪水が来る可能性があるわけである。例えば、荒川が決壊した場合の浸水想定図があるが、現状のまま置いておくと、雨が増えた分だけ能力を超える洪水が来る回数がどんどん増えるということになる。そうすると治水の安全度が当然低下する。要するに、危険性が増すわけである。100年に1回ぐらいの洪水が100年の間に5回、6回と来るような状況になってしまう。

河道を流れる流量だが、断面積とそこを流れる洪水の流速のかけ算で流量が決まる(資料15)。従って砂が溜まって流水の断面積が小さくなると、それだけ危険になるわけである。せっかく河道を掘ってきれいな流れやすい川をつくったのに、砂が溜まってしまうというのは、非常に困った状況だ。木がどんどん生えてしまうと、流れにくくなり、分母の係数が大きくなってしまっているので、抵抗をなくさなければならない。しかしただ取ればいいというものではない。環境からの配慮も行わなければならない。真っ直ぐな川をつくって洪水を防ごうとしたら、逆に環境が悪くなって魚も住まないひどい川をつくっていると怒られてしまうことにもなりかねない。

今は環境面からも、「インパクトレスポンス」(インパクトというのは、我々が工事をすることとだけ思えばいいと思う)と言って、工事に対して環境がどんな反応をするか、例えば鮎の生息はどうかとか、瀬の産卵する場所がどう変わるか等といったことを研究する事が行われている(資料16)。

例えばダムができる前に土砂がたくさん流れていたとする。ダムができると、土砂の流量は減り、川に供給される量も減るといった状態になる。また、砂をいっぱい流せばこういう方向に進み、こういう川になってしまうといったことを、材料ごとに研究を進めており、インパクトレスポンスを出せるようになって来ている。また雨によって海岸線まで砂を流すといったことをプロジェクトとして研究している。平面二次元という河床変動計算があるが、例えば川をこのように改修したらどのように変わるかという計算をする。上流から砂を入れて水を流してやると、どの部分が掘られ、どの部分に砂が溜まるかが、計算できるようになっている。これによって、どこに砂が溜まるから、どういう河道の掘り方をしたら良いかというような事を検討できるようになっている。

もっと面白いのは、所与の洪水のパターンで1年間、2年間流しても、その間洪水がほとんど起きない時がある。そうすると水が溜まった所に草が生えるというモデルになっている。といっても、あまり面白くないかも知れないが、我々の世界では非常に画期的な話である。それがまた洪水で流されるということで、川がどう変わっていくかということも予想できる。いま一所懸命砂を流すような対策も取っている。もちろん海岸線のためでもあるが、川の中の環境

をもっと多様化したいという思いもある。

もう一つ、上流域でどれだけ土砂が生産されるかというのも、実は大きなテーマである。要するに木材価格の低迷や林業者の減少で、いま人工林がものすごく荒廃している。一応、植林の杉の木は立っているが、洪水や台風で一旦倒れたりすると、誰も手を加えない。だからどんどん荒れていく。さらには、今の植生はどちらかという針葉樹の植生であり、気温が3度上がると、どんどん変わっていってしまう。つまり杉が生きていくには辛い環境ができてしまうのである。従って人工林はばたばた倒れていって、いずれはブナといった広葉樹のものになる。ただ移り変わる時に山が大変荒れる。また、集中豪雨のようにドーンと雨が降ったら、当然山が崩壊するし、崩壊して溜まっているものが一気に下流に押し寄せるといった事が起こる。そこで荒廃地面積がどれだけ増えるかとか、植生がどう変わるか、降水量がどう変化するか、こういったキーワードに対して山での土砂生産を推定する事が、我々の世界では重要になってくる。

実は今、その研究の途中にある。資料17の式は私の要求水準を全く満たしていない土砂生産式だが、植生や雨の流量を考慮していないという問題はあるものの、それでも従来から使っているものに比べれば、だいぶ良くなった。この辺りまでくると、例えば、今あるダムがどれくらい経つと砂で埋まってしまうかという予測もかなり立てやすくなる。大きく精度が上がってきていることが分かるが、まだ気候変動に対応できるところまでは至っていない。このような地道なことを日々積み重ねているのが、実態である。

6. 水関係解析ソフト共通プラットフォーム

今日、一番お話ししたかったことはCommonMP（水関係解析ソフト共通プラットフォーム）の話だが、なぜ気候変動とこれが関連するかと言えば、一つは気候変動というのは社会現象まで含めた複雑な現象をシミュレーションしないと問題点を明らかにできないし、対応策も検討できないからである。ところが、現状いろいろな予測をするプログラムというのはみんなばらばらにできている。従ってこれを組み合わせて実行できるような土台をつくる必要があるということと、今ばらばらに作られているプログラム自体の精度といったものも現時点では確認する方法がないので、そうしたプログラムを同じ土台で動かすことで信頼性を確認することができるというメリットがある。それからプログラムの開発をばらばらにやると時間もお金もかかるのだが、同じ土台の上で動くプログラムであれば、ある部分は他の人が作ったプログラムを使えとか、あるいは保守についても、一つだけ保守しておけば良いといったように、保守や時間やコスト、手間といったものを飛躍的に軽減させることができる。

実は日本のプログラムは、海外では全く使われていない。なぜかというとはらばらだからである。それを使うためのデータのセット等も全部ばらばらだ。ところがこの土台を作って、その上で動くプログラムを使えば海外にも広めることができる。こうした背景には、各社がソフ

トをばらばらに持ち、データもばらばらであるという現状がある。大学の研究者もそうだが、他のソフトウェアを使うことがないとか、他のモデルと組み合わせることができないとか、データのフォーマットが違うので、データの再利用ができないといった具合に、「できない」、「非効率」という現状の中に、日本の学会や我々河川管理者は置かれている。

水文研究開発は低迷しているという話があるが、低迷しているのは事実だと思う。河川技術者の方も、その辺りのところをちゃんと使いこなせていないということも、その原因ではないか。このような複雑系生物モデルや物理モデル、経済モデル、地球環境モデル、海洋モデル等を一気に計算できる土台を作ろうということで、CommonMPと名付け、水・物質循環解析ソフトウェア共通プラットフォームを作ろうとしている。

具体的に言うと、例えば雨の予測計算といって、雨が山から洪水となって出る流量を計算するプログラムがある。それが川に入って、川の中をどう流れていくかを計算する河道の計算プログラムもある。一方それが流域に氾濫してどう被害を起こすか計算するプログラムもある。これらは極端な話、別々に計算をして、結果をファイルに落として次に受け渡すといったことをやっている。これを一つの土台の上で一気に計算をする。さらにはこの計算ソフトを入れ替えて、計算したり、あるいは河道についても入れ替えるという事も行う。モデルの交換、追加、削除を自由にできれば、あまりプログラムを知らない人でも、いろいろな解析が行える。要するに誰かが作ったものをどこから持ってきて、我々の作るCommonMPという中にインストールすれば動くというようなことが可能になるわけである。つまり大元の一つを替えることで、CommonMPで動くモデルも替えることが出来るわけである。

私共は全国150カ所ぐらいに河川担当事務所を持っている。そこで使っているプログラムは極端な話だが、150全部がばらばらである。それぞれ違うプログラムを使っていると思っていただければ結構である。これからはそれを我々の研究所で一つに統一すれば、すべての事務所がダウンロードできるようになるので、開発コストが何十億円という単位で安くなる。

実は海外ではもう既にそういった事が始まっており、デンマークやイギリスのソフトがいま世界を席巻している。アジアのODAなどのプロジェクトでは、こういった「ヨーロッパのソフトを使った計算結果じゃないと使いません」と仕様書に書かれている。そういう現状の中で、さらに使い勝手が良いように、新しく出たソフトも使えるような共通プラットフォーム、すなわち今説明したような概念と同じオープンMIというものが既に動き始めようとしている。アメリカでも同様な形で動こうとしている。

こうした動きは、海外に売り込むということもあるが、開発コストにどこも四苦八苦していて、いいところをお互いに使って、開発コストや時間を減らしていこうという発想が中心になっている。どういう事をやるかと言うと、いま全国で我々は洪水予報のセンターを作っており、ここで使うソフトを一本のソフトにする。それをCommonMP上で流すのだが、使うデータもそこで全部自動的にサーバーから呼んできて、計算結果を自動的に県などに伝えるようにな

る。ここでもソフトを一つにすることで、ソフトの開発コストがほとんどかからない。実はこの洪水予報のソフトを私共の研究所で作って、それをみんなが使うので、地方整備局は開発コストは不要であり、導入コストはコンピューターだけになる。訓練も要るが、ソフト開発は要らないという、仕事の仕方を根本から変えるようなものがこのCommonMPである。

平成21年度にバージョン1ができ、これについては極論を言えば、どなたでもダウンロードして自分のパソコンにインストールができる。すなわちオープンソースで行く。なぜこんな事を言っているかということ、お遊びではありませんという事を申しあげたいからである。数億円を掛けて、ウィンドウズのVistaやXP、Mac等と同じような本格的なものを作っている。GIS(地理情報システム)にもこれを組み込んだりするので、世の中のいろいろなシステムがこういうものを使うことで、恐らく画期的に変わるだろうと思うし、国土交通省は全事務所にこれを入れるので、仕事の仕方が変わる。逆に言えば、今までプログラムで商売をしていたコンサルタントは、商売ができなくなってしまうという状況だ。

さらにはGISを組み込んで、氾濫のアニメーションみたいなものも作ることができるようになる。資料18は国土技術政策総合研究所のホームページだが、土木学会やコンサルタント業界、それから下水道の業界等いろいろな方が参加して、こういったものを作っている。今後どのように世の中が変わっていくかはある程度予想はできるが、まだ導入されていないので、こういった動きがあるという事をぜひ記憶に留めていただくとありがたいと思う。「あの時に聞いた話か」という事が多分出てくるはずである。

7. 「土木国防？」

最後に土木国防のお話をさせていただきたいと思う。緩和策と適応策は車の両輪であるが、実は今までずっと話してきたのは適応策の事である。緩和策というのは、CO₂の削減である。気候変動の原因となるCO₂を削減すれば、温度が下がる、あるいはこれ以上上がらない。だから極端な自然現象が起きなくなる。従って対策も減り、被害も少なくなるというストーリーがある。

先般15%の削減を日本は提案したが、京都議定書の6%という目標は全然達成できなかった。ただ日本は真面目なので恐らく削減できるかも知れない。それからアメリカも本気になってやればできるかも知れない。西ドイツも今年(2009年)の秋に住民投票があり、原子力に戻すのではないかと思っているが、ヨーロッパも石炭から原子力に戻せばできるかも知れない。しかし先進国が減らした分、恐らく中国やインドなどの発展途上国がその分増やしてしまうと思う。従って私は、緩和策だけでは気候変動は防ぐことは難しいと思っている。

そういった意味では、適応策をきちっとやらないことには、3大都市圏だけに止まらず、日本の国土が守れないのではないかとと思う。日本の国土を守るためには、地道な技術開発と対策を進めることが必要だが、昨今の直轄負担金や地方分権の問題がクローズアップされる中で、

なかなか困難な面があることは否めない。

昭和10年頃の土木学会の会長で青山士という方がいらっしゃったが、この方はパナマ運河の掘削に参加した唯一の日本人で、パナマから戻ってきて、当時の内務省に入省し、ずっと土木行政をされた方である。土木学会長当時、軍部の国防に対して、「シビルエンジニアリングである土木も国防をやっているよ」ということを、これは軍拡に対比させて言ったのだと思うが、その時に「土木国防」という言葉を使った。気候変動を防ぐ事が困難なのであれば、この国土をどう守り、どう発展させていくのかということ、いろいろな方々に真剣に考えていただく必要があるのではないかと思ひ、ここでは「土木国防」とさせていただいた。

昨今二重行政の問題が指摘されているが、いろいろな対応策の研究、技術開発も国だからできる部分というものもあり、その辺りの我が国のガバナンスなり「国防」をどう考えていくかということは非常に重要な問題ではないかと思っている。

本日は、『縄文海進』と地球温暖化に関する一考察」という資料（ご参考資料，P.298）をお配りしている。ご存じの方もいらっしゃると思うが、5千年前には今より海面が5メートルから10メートル高い時代があった。つまり内陸までずっと海が進入していた。この資料の図-7は、地球の過去1万年間の気候変動を表したものだが、ちょうど8千年前から7千年前に、2度くらい今よりも気温が高い時代があった。これは太陽放射が原因のようだが、この時代に大陸の氷河やグリーンランドの氷が溶けて、こうした縄文海進をもたらした。そこからどんどん冷えていって、水がまた南極やグリーンランドなどの氷河に戻って行って水が引いたわけである。IPCCは59センチメートルの海面上昇と言っているが、この縄文海進のように5メートルも海面が上昇するような事が起きるのか起きないのかという事が、本当の意味での気候変動の問題点、あるいは驚異だと思っている。

蛇足だが、ここに青森県の三内丸山遺跡の事が書いてあるが、あの当時、海が内陸に進入したせいもあるが、気温が高くて青森県の辺りでどんぐりが採れた。つまりあそこに縄文の一大集落があった。だから私はいつも言うのだが、2度くらい上昇したら東北がもっと豊かになり、それはそれで良い事ではないか、何も気にすることはないのではないかと。ただ洪水が増えるので困る面はあるが、北海道も食料がいっぱい採れるようになるし、そんなに気にする必要はないのではないかという事だが、問題はそこで止まるかどうかである。

ご参考資料の中の「10.最近100年間の気温変化」に、氷が溶けるとどれくらい海面が上昇するかという表がある。ヒマラヤや山岳の氷河が溶けるだけだと大体35センチメートル程度だが、グリーンランドの氷が溶けると7メートルも上昇してしまう。ただ、今のIPCCの予測では南極の氷はどうも溶けそうではなく、逆に増えていくようだ。つまり縄文海進の時に溶けた氷河の水は、蒸発して北極のグリーンランド、それから南極大陸に積もってしまった。つまり増えた水は南極に行ってしまうというわけである。南極はまだまだどんどん氷が増え

ていく。つまり大きな氷の塊なので、雨は降るのだが、どんどん凍って溜まっていく。ところがグリーンランドは本当に溶けている。先日見たドキュメンタリーでは、氷の上に溜まった湖が一晩でなくなってしまっていた。どういう事かと言うと、底に穴が空いて、湖の氷が下に抜けてしまうのだ。こういった事がグリーンランドでどんどん起きているようなのでちょっと心配だ。ただ、今のIPCCの予測では、グリーンランドが全部溶けるとは言っていない。それで海面上昇が59センチメートルなのである。ところが科学者によっては、後戻りできない限界点を超えてしまうと、本当にグリーンランドが溶けてしまうと警告している人もいる。そうなる、こうした縄文海進みたいなことが起きてしまう可能性があるということを警告している方が多々いらっしゃる。その臨界点が5度なのか7度なのか、そこはよく分からないが、ただ、縄文海進の時に2度の気温の上昇で、5メートル海面が上昇している。そうすると、このままCO₂がどんどん排出されて、気温が上がると、グリーンランドが溶けて縄文海進になる可能性も無きにしも非ずだと思っている。そういった事を読み物風にしたものがこの資料なので、是非読んでいただければと思う。