特別講演

「気候変動に伴う世界の水問題とバーチャルウォーター」

講演者

東京大学生産技術研究所　教授
沖　大幹氏

プロフィール
1987年東京大学工学部土木工学科卒業後、東京大学生産技術研究所助手、講師を経て1997年に助教授、2006年に教授となる。専門は地球規模の水循環、バーチャルウォーターも考慮した世界の水需給アセスメントなど。平成20年度科学技術分野の文部科学大臣の科学技術賞の表彰を始め、平成19年度日本学士院学術奨励賞、日本学術振興会賞、土木学会の環境賞、水工学論文賞、IAHS(国際水文科学会)のTison Awardなど国内外において多数の表彰を受賞。気候変動に関する政府間パネル(ＩＰＣＣ)の第4次報告書の主要執筆者(lead author)として第2作業部会第3章を執筆。監訳に「水の世界地図」(丸善、2006年)、共著に「国土の未来」(日本経済新聞社、2005年)や『里川の可能性』(新曜社、2006年)など。

1km以内に水源のない人が世界には10億人以上

日本にいると、あまり水問題を考える機会がありません。しかし世界では、ここ数年の間にいろいろな水問題が注目を集めるようになりました。

その一つは、なくてはならないはずの、「安全な飲み水へのアクセス」です。これは、WHO（世界保健機関）の定義によると、1人1日当たり20リットルの水を1km以内からアクセスできる（取れる）こと。つまり自分の家に水道がなくても、集落のすぐ近くに井戸がなくても、1km以内に水源があれば、その人は水へのアクセスがあるとされています。それすらない人たちが、世界に11億～12億人もいます。人口の約5分の1です。

ただし、これは水資源の有無ではなく、社会資本の未整備によるのが実情です。

安全な水へのアクセスがないと、安全ではない水を飲んで、体を壊し、死ぬ恐れもあります。あるいは、毎日何時間もかけて水を取りに行かなくてはなりません。

水へのアクセスが容易になれば、今までは、生き永らえるためだけに使っていた労働時間を、生産的なことに振り向けられます。子どもだったら教育を受ける時間に、母親だったら農作業や家内制手工業をするなどです。

水へのアクセスの確保は、マイナスをゼロにするだけではなく、ゼロからさらにプラスにする効果があります。ADB（アジア開発銀行）の報告によると、水への1ドルを投資すれば、8ドル相当のリターンが得られるとされています。

日本政府としても水問題解決への貢献をてこにしてODA（政府開発援助）をすべきと考える人もいます。

途上国の経済発展や人口増加が水問題を深刻に

次に、農業や工業生産用の水の問題があります。農工業の生産活動は個人の利益目的ですが、社会を支える基盤でもあります。必要な水の確保は大切です。

今後の経済発展と人口増加によって、世界の総取水量はますます増えていくでしょう。仮に河口から海に水が1滴も流れないとしたら、それは貴重な水資源を人間が最大限有効利用したという見方が20世紀にはあったかもしれません。

しかし、21世紀では、環境への配慮、生態系への影響を考え、人間が使いたいだけ水を使ってはいけません。農工業生産による過大な取水は、生態系にダメージを与えます。これは将来の話ではなく、日本を含め世界で既に起きている問題です。

アジアのメガシティは、今後、ますます都市化します。仮に温暖化が起きなくても、都市化が進めば洪水・渇水の被害が深刻化するのは明らかです。アジアだけでなくアフリカでも経済発展による生活用水の需要増大が見込まれています。こうした水の問題が国際的な紛争の引き金になると危惧する人もいます。

先進国の水問題は気候変動が大きな課題

国内に目を向けてみましょう。日本では、生活用水の１人当たり使用量が、減りはじめています。人口の減少とあいまって、これからは減っていくでしょう。

工業用水はオイルショック以降、淡水補給量※１が増えていません。製造業の海外進出もあり、今後も増加しないでしょう。

農業用水は、減反政策以来ずっと横ばいで、需要が急激に増えるとは考えられません。

そうなると、懸案は気候変動による変化だけです。途上国に比べ、日本をはじめ先進国の水需要に大きな変化は考えられませんから、気候変動が大きな課題になることは明らかです。

※１　淡水補給量
工業用水の淡水使用量のうち、循環利用等により再利用される水を引いたもの。

ノーベル平和賞を受賞したIPCC

ここでIPCCについてお話します。IPCCは、正式には「気候変動に関する政府間パネル」といい、UNEP（国連環境計画）とWMO（世界気象機関）の共同で1988年に設立されました。2007年には、ノーベル平和賞を受賞しています。正式なメンバーは各国政府です。参加する科学者、研究者は、各国政府が温暖化予測や影響評価に適しているとして提出したリストの中から、IPCCの選考委員会が地域間・研究分野・男女のバランスを考慮して選びます。

IPCCが権威を持つに至ったのは、UNFCCC（気候変動に関する国際連合枠組条約）の科学的基礎資料の作成を実質的に担当しているからです。

温暖化は起こっているのか、それは人間活動の影響なのか。今の温室効果ガスの排出量が続くと将来どうなるのか、どのような影響が出て、何をしなくてはいけないのか。どのくらい温室効果ガスを減らすと、どのくらい温暖化を減速できるのか。政策判断のためにはこうした科学的資料が必要なのです。

1997年に京都で開かれた3回目のUNFCCC締約国会議（COP）で採択されたのが京都議定書です。実際に発効したのは2005年ですが、UNFCCCがその枠組みなのです。

IPCCは1990年の第1次評価報告書を皮切りに、第4次評価報告書まで発行しています。当初は5年ごとに出す予定でしたが、徐々に延び、第4次の発行は2007年になりました。

IPCCは、研究機関ではなく既存の論文をとりまとめる機関です。いろいろな論文を読み、異なる意見について判断するのが役割です。これはもっともらしくて、これはおかしい。これは9割の確率で起こる、これはまだ不明、といった具合です。

しかし、知っている人の論文は取り上げられても、そうでない人の論文はなかなか目に入ってきません。そのため、日本やアジアの文献がまだ少ないのが実情です。中国も国際社会では存在感を増していますが、科学の世界では英語での議論を求められる場面があるため、欧米主導になりがちです。

IPCCには重要な論文は英語でなくても載せるポリシーがあります。しかし、IPCCに引用されるためには、英語で査読を受けた論文が一番望ましい。いくら日本語でいいことが書いてあって、私が内容を伝えたとしても、やはり英語で書かれていなければ信用が低くなるのです。

次の第5次報告書ではもう少し日本の文献が引用されるように、私は土木分野の方にも声をかけています。皆さんも気候変動の影響や、それに対してどのようなポリシーで臨むかなどを英語で書いて、政策文献などで発表してください。私がIPCCに取り次ぎます。目にとまって引用されれば、評価も上がると思います。

特別講演

the Content of a Lecture

疑う余地のない温暖化

温暖化に関しては肯定派と懐疑派がいると思います。ここでは、IPCCの公式見解をみていきます。図-1の左側は1万年前から現在までの大気中の二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の濃度変化です。過去のデータは南極などの深層の氷（アイスコア）などから推計しています。これら主要な温室効果ガスが、近年非常に増えていることがわかります。

図-1の右側は1850年から2005年ぐらいまでの世界の平均気温と平均海面水位、北半球の冬の積雪面積の変化です。気温も平均海面水位も上がっています。近年まで横ばいが続いていた積雪面積も最近は減ってきています。これらは観測事実ですが、異議が唱えられることも、科学者から「間違えていました」と訂正が入ることもあります。

IPCCの結論では、地球が温暖化していることは疑う余地がない、それは9割の確率で人為的な影響による、としています。

なぜ9割なのか、図-2で説明します。これは1900年から2000年までの、自然と人為的影響による気温の変化をシミュレートしています。

「自然のみ」とは太陽活動と火山活動です。太陽からのエネルギー量は黒点周期などとともに変化するので、まずこれを考慮します。また、火山灰が成層圏まで舞い上がると太陽エネルギーをはね返し、地球を寒冷化させるので、これも考慮します。ただし、この段階では、人間が増やしたCO_2の影響は考えません。

「自然＋人為」の人為起源とは、CO_2を初めとする温室効果ガスや、すすなどを指します。

このシミュレーションによると、1950年ぐらいまでの気温は観測推定値とほぼ同様です。しかし、それ以降、観測推定値のように気温が上がる原因として、人間活動による温室効果ガスの増加を考えざるをえません。

この観測推定値は、世界の約20機関の実験結果をまとめたものです。地球シミュレーターという日本の大型のコンピュータも役立っています。

こうした結果から、IPCCは人間活動により温暖化が起こっていると考えるのが妥当だろうと導き出しました。ただし、このモデルにも不確実性があるため、9割の確率で確かだ、と結論づけたのです。

IPCCの平均的な予測では、2100年までに低くても1.8℃、高ければ5.9℃、世界の平気気温が上昇します。今後、経済発展によって、どのくらい温室効果ガスを出すかによって幅はありますが、気温上昇は間違いないとしています。

こうした公式見解を示しても、まだ何となくおかしいと思う方もいるでしょう。

私が所属する研究所にも、「温暖化対策はもう手遅れで、我々は温暖化灼熱地獄の中で死んでしまうぞ」と脅す先生もいれば、「温暖化問題は公害問題がなくなり、やることがなくなった役人と研究者のでっち上げだ」と主張する先生もいます。

両極端な意見があるのはいいのですが、温暖化をうそとする議論の多くは、

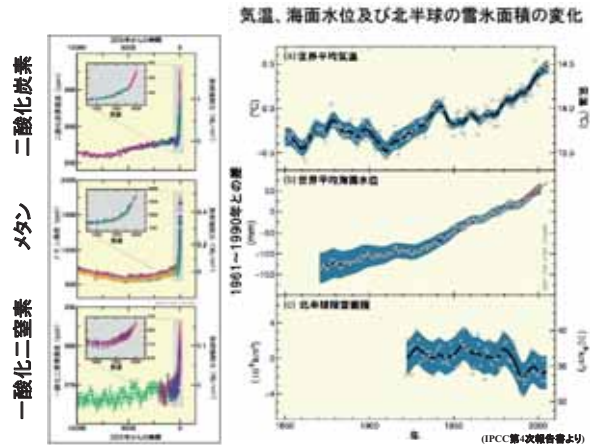

図-1：気温、海面水位及び北半球の雪氷面積の変化 [1)]

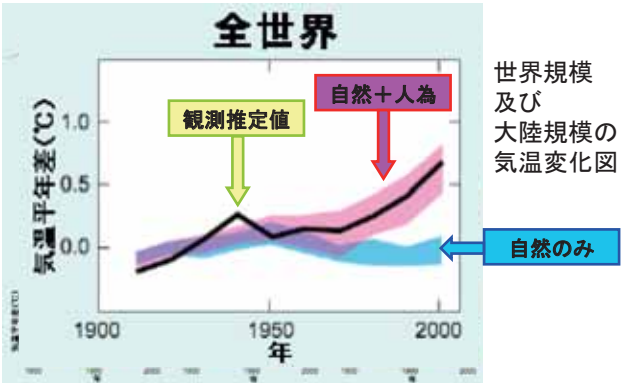

図 SPM-4：観測された大陸規模及び世界規模の地上気温の変化と自然起源及び人為起源の放射強制力を用いた気候モデルによるシミュレーションの比較。観測された10年平均値は、1906～2005年の期間について示され（黒線）、1901～1950年の平均と比較した各10年ごとの値を年代の中央にプロットしている。観測面積が全体の50%未満の期間は破線で示す。青帯は、太陽活動と火山による自然起源の強制力のみを考慮した5つの気候モデルによる19のシミュレーションの5～95%が含まれる範囲を示す。また、赤帯は、自然起源と人為起源の放射強制力を共に考慮した、14の気候モデルによる58のシミュレーションの5～95%が含まれる範囲を示す。[FAQ9.2、図1]

(IPCC 第4次評価報告書第1 作業部会報告書政策決定者向け要約、気象庁仮訳、2007年2月)

図-2 世界規模及び大陸規模の気温変化図 [2)]

科学的根拠がありません。温暖化問題は、多くの科学的研究論文をもとに議論を重ねて導き出されたものです。

これに対して懐疑派は、温暖化と人間活動が無関係である可能性がゼロではないことを突いてきます。マスコミは、それぞれの可能性がたとえ99対1でも両論併記します。しかし、これによって温暖化が疑わしいような印象を与えていることは非常に問題だと思います。

温暖化への対策は社会が決めること

温暖化は確かでも、それの何が悪いのか、対策をどのくらいすべきなのか。これらは科学者が言及することではありません。

科学研究は、洪水・渇水の増加予測や温室効果ガスの削減効果は示せますが、それに対する備えは、社会や社会の代表者が決めることです。

影響や対策についての議論もあっていいはずです。しかし今のマスメディアには、温室効果ガスを削減すれば、あたかも世界の問題はすべて解決するかのように報道する傾向があります。

温暖化だけを止めれば世界が平和になるわけではありません。人口は増加し、都市化も進みます。こうしたさまざまな問題に備えなければならないことを忘れてはいけません。

気候変化への適応力格差が問題に

では、地球温暖化はなぜ問題なのでしょうか。暑くなると熱中症の人が増える。グリーンランドや南極の氷が解けて海面水位が上がり、ツバルが沈んでしまう。とにかく暑さが問題と思われがちですが、それは的確ではありません。

温暖化は悪く、寒冷化すれば我々は幸せなのでしょうか。農業生産を考えても、それはおそらく逆でしょう。温暖化したほうが多少はメリットがあります。

今の世界は今の気候に合わせて社会をつくっています。気候が変われば、それに適応しなくてはいけません。しかし、適応できる国・地域と適応できない国・地域があり、後者がひどい被害をこうむります。激しすぎる変化への適応力が問題なのです。

国・地域で異なる温暖化のイメージ

温暖化対策にはインドと中国を参加させる必要があるといわれます。既にインド、中国では水量や水質といった水問題が顕在化しています。彼らにとっては、こうした目の前の問題を第一に解決したくなるのが自然の感情です。20年～30年後に顕在化してくる問題に同調してもらうのは難しい。

東大の学生に、「30年後、どういう日本であったらいいと思うか」と聞くと、「今とあまり変わってほしくない」と答える学生が多くいました。東大生が恵まれているからかもしれませんが、多くの若い人たちは今の日本に満足しているのでしょう。温暖化に限らず、今の生活を変える要因はできるだけ排除したい。だから温暖化をできるだけ止めようとするのは、自然な感情です。

中国で同じ質問をすると、「これからも社会は発展するし、まだまだ豊かになりたい」との声が返ってきます。こういう国にとっては、温暖化による気候変動は社会が変化する過程の要素の一つにすぎません。

中国の人が抱く気持ちと、我々の持つ温暖化に対する恐れには、大きな隔たりがあることを考えて交渉する必要があると思います。

気候の変化に適応する社会づくりが大切

日本では、気温が今より上がっても下がっても、販売電力量は増えます。北海道から沖縄までのそれぞれの地域が、気温の変化に適応するために電力を使うからです。

死亡率は温度化したほうが下がります。夏は熱中症が増えますが、脳溢血など寒さと関係する死亡が減るからです。

つまり、温暖化が悪いのではなく、今と変わることがいけないのです。例えば道路分野でも、今の道路は、今の雨の降り方や風の吹き方に対応できるよう設計されています。風雨が今より強くなったら道路の構造をもっと強くする必要もあります。弱くなったら今までの設計は過大になります。つまり、気候の変化に対して社会のあらゆる分野が適応し変化しなくてはいけません。

特別講演

the Content of a Lecture

暖冬で河川の流出量が変化する

温暖化の影響は、氷が解けて海面水位が上がるだけではありません。温度の上昇は風の吹き方を変え、湿度や気圧配置も変えます。さらには台風のでき方、何より雨の降り方が変わります。雨の降り方が変わると水管理に大きな影響を与えます。

その一つとして、融雪変化による河川の流量の変化は1990年のIPCCの第1次報告書から発表されています。

図-3は国土交通省が2007年に作成した資料で、100年後の河川流量の変化を予測しています。

今は、冬に降った雪は地表に積もり、すぐには河川に流出しません。河川の流量がピークをむかえるのは、雪解けの季節です。ところが将来は、冬でも雪が解けたり雨として降ったりするので流量が増える一方、ピーク流量は大幅に減り、時期は前倒しになります。

これは稲作にも影響します。日本の稲作は雪解けによる流出量のピークのころに代かきをして、田んぼに水を入れます。しかし温暖化するとピーク時の流量はむだに流れ、代かき期には足りなくなります。そこでダムから補給することになり、梅雨入り前にダムの貯水量が減ってしまいます。

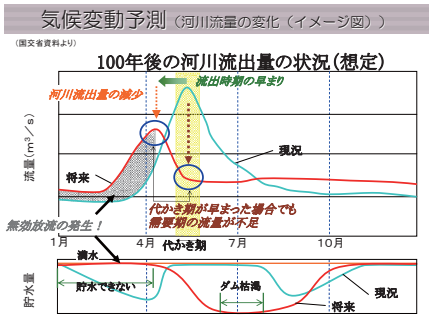

図-3：気候変動予測（河川流量の変化（イメージ図）[3]

図-4も国交省の資料で、利根川上流にある8つのダムの貯水容量です。赤いラインが、暖冬だった2007年1月のデータです。この年は、1月から4月の貯水量が過去20年ぐらいの中で一番多かった。雪解けも早く、梅雨入り前には、貯水量がここ20年で最も少なくなっています。

テレビや映画をみると、温暖化によってとてつもなく激しい何かが起こる印象があります。しかし実際には、暖冬の時に起きる現象が頻発する、あるいは程度が少し極端になるわけです。ここから、どういう対策をすべきかを導き出せばいいと思います。

図-4：利根川上流8ダム貯水容量図[4]

図-5は、温暖化に伴う世界の利用可能な水資源の変化です。年間の河川流量が、青い部分では増え、赤い部分では減ります。

地中海沿岸やメキシコ、アメリカ中西部、アルゼンチン、オーストラリア南部などで減ります。穀倉地帯で干ばつになると、日本にもその影響が出ます。

ヨーロッパでは何らかの適応策が講じられて、被害を抑えることが期待できます。ただ、その適応策にどのくらいの投資が必要かは、別の問題です。

アジアモンスーン地帯の一部では、水資源が増えて一見いいように思えます。しかし増えるのは今でも水に不自由しない夏で、年間を通して有効に利用できるとは限りません。

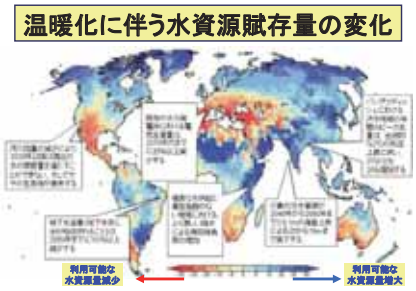

図-5　温暖化に伴う水資源賦存量の変化[5]

水ストレス人口は今後の社会像で変わる

これからの水資源はどうなるか、ポイントだけお話しします。基本的には人口が重要な鍵になります。IPCCは人口の将来展望に4つのシナリオをつくりました（図-6）。「A：経済高度成長を重視」と「B：環境保全を重視」に「1：グローバリゼーションが進む」「2：地域化が進む」を組み合わせています。

国連は2050年ごろに人口が90億人ぐらいになると予測していますが、A2の予測ではそれを超え、今世紀末には150億に達するとしています。A1とB1は同じ見通しで、2050年ごろをピークに減少に転じます。

日本は2004年ごろをピークに人口が減りはじめていますが、このシナ

リオでは、中国の人口は2030年がピークとされ、東南アジアの各国の人口も遅かれ早かれ減りはじめます。

地球環境問題の根源は、エネルギーと人口だと思います。人口のピークは今世紀中に来るでしょう。つまり、そこさえ乗り切れば持続可能な世界は実現できる可能性があります。以上を踏まえた上でどうしていくのかを考える必要があると思います。

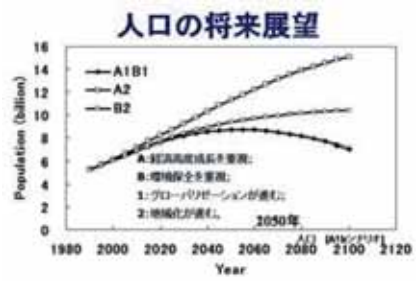

図-6　人口の将来展望[6)]

さて、冒頭で、安全な水へのアクセスがない人が10億人以上いるとお話しました。人口の増加と、温暖化による水循環の変化を考えると、安定して水を使えない人の数は20億人から40億人、最悪70億人に増えると推計されています。

A2シナリオで将来人口が150億になると、水ストレス人口も増えます。人口が減少に転じれば、水ストレス人口は横ばい、または減りはじめることも可能になります。

温室効果ガスの排出を減らし、温暖化を止めることも大事ですが、変化する社会や人口をどう支えるかによって、将来の被害も変わってきます。

IPCCではプレディクション（予測）という言葉をできるだけ避け、プロジェクション（展望）という言葉を使います。100年後にどんな気候になって、どのくらいの被害が出るかは、これから我々がつくる社会によって変わるわけです。温暖化の研究は「こうなります」という御託宣ではありません。「こうならないようにしましょう」と呼びかけるためにやっていると思ってください。

気候変動は影響の1つの要素に過ぎない

図-7はIPCCの第4次報告書に記載してもらった資料の和訳です。人口や経済活動、生活様式が変わると、温室効果ガスの排出から、気候システム、水循環まで変わる。水資源管理も変えなくてはいけない。都市化や土地利用の変化は気候システムにものすごく影響を与えます。水利用や、陸上の水循環も同様です。あるいは人口の変化が食料の需給を変え、土地利用や水利用にも影響します。

つまり、気候変動だけで将来の水のマネジメントが決まるわけではないのです。しかし、今の世の中、気候変動だけを考えていればいいような風潮があるのを危惧しています。

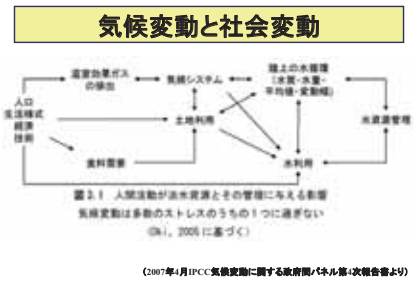

図-7　気候変動と社会変動[7)]

豪雨の増加と温暖化との関係

豪雨に関して、少し強調して解説します。

図-8はIPCC第3次報告のイラストレーションです。現象の発生率を面積であらわしています。平均気温が上昇すると、今までほとんどなかった記録的猛暑が頻繁に起きるようになります(図a)。平均気温は変わらなくても、気温の変動が大きくなって、猛暑の頻度が増す可能性があります（図b)。実際には、平均気温の上昇と変動の拡大の両方によって、今までまれにしか起きなかった現象が頻発するようになると考えられます（図c)。

今後、温暖化によって海面水位が上昇するのは確実です。しかし、雨の降り方の変化についての予測では、増える地域と減る地域があります。その境界も変わり、10年前のシミュレーションでは増えると予測されていたのに、今では減る側になっていることもありえます。

気温が上がると、大気中に含まれる水蒸気量が増え、1回当たりの降水量も増えます。したがって、豪雨の頻度も増えると考えられます。東大の気候センターの研究結果では、東京付近での夏の豪雨日数と平均的な降水量は2050年ごろから増えるとしています。

ここのところ日本でも豪雨が多く、世界中で洪水も多いのですが、この先10年、何も起こらないかもしれません。豪雨が増えたのが温暖化の影響だとは、だいぶ先にならないと、科学的

特別講演

the Content of a Lecture

にいえないのです。

現状のシミュレーションでは温暖化で豪雨が増えるのは、今世紀の後半です。それに向けてどう準備するかを頭に置いていただければと思います。

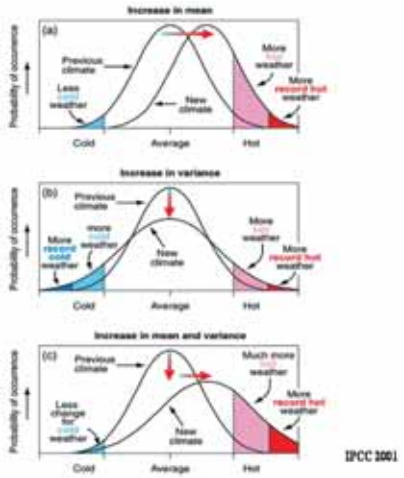

図-8　極端な気候への効果のイラストレーション[8)]

100年に1度の雨が30年、50年に1度に

では、実際にどのくらい雨が強くなるのでしょうか。図-9の青い線が20世紀で赤い線は21世紀です。

20世紀において「100年に1度」の豪雨の降水量は、1日に77㎜ぐらいでした。それが21世紀には84㎜に増えます。この1割程度の増加では、温暖化によるとてつもない異常気象のイメージとかなり違うと思います。しかし、84㎜とは、20世紀なら「300年に1度」しか降らなかった豪雨です。これまでめったになかった豪雨が、頻繁に起こるようになると考えた方がいいでしょう。

この例では、降水強度が1割増加すると豪雨の頻度はほぼ3倍になります。今の「100年に1度」の豪雨は将来的には、「30年に1度」、「50年に1度」の頻度になります。

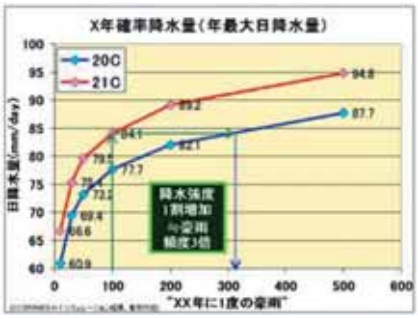

図-9　X年確率降水量(年最大日降水量)[9)]

国総研（国土交通省国土技術政策総合研究所）の将来予測では、降水量増加は、今世紀末でも多い地域でせいぜい1.2倍程度としています。一般の人がこれを聞くと、「それだけですか、もっとひどくないんですか」と反応します。しかし、今でも「100年に1度」の豪雨に対する河川の整備率は非常に低く、30年という暫定目標に対しても7割しか達成できていません。こんな状況で、降水の強度が2割増すことを考慮して整備していくのは困難でしょう。今までとは違う手法を導入せざるを得ないのではないかと思います。

世界に目を向けると、洪水が増える一方で、渇水も増える可能性があります。一時の集中豪雨によって、洪水になりやすい反面、年間では降水量が減って渇水になるのです。

想像力をたくましく順応的な対策を

さて、今日は水の話ばかりですが、広く土木分野での適応策として想像力をたくましくしていただければと思います。確実なのは、気温の上昇、降水強度の激化。それから海面水位の上昇。台風の発生数の増減は微妙ですが、台風の強さは今より強くなると思います。今の台風を限界応力にしているような構造物については見直しが必要になってきます。

実際に数十年後に起こることを考えて、今、何をしていかなくてはいけないか。

例えば今世紀の終わりには海面水位が18㎝～59㎝上昇します。海岸の堤防は約30年で更新するそうなので、次の更新時には、水位上昇に見合った高さにする。もし台風の強度が平均的に上がっていれば、海面の吸い上げ効果も考慮して高潮堤防を整備していく。そうした順応的対応をどんどんやっていく必要があると思います。

どこも予算の確保に苦慮していますが、想像力のたくましさとともに、科学的な裏づけによる想定被害額は説得力があると思います。

温暖化対策の両輪は緩和策と適応策

温暖化対策には緩和策と適応策の2種類があります。IPCCの第4次報告書ではこの2種類が車の両輪であるといっています。

緩和策とは、地球温暖化の進行を遅らせ、悪影響をできるだけ少なくするように温室効果ガスの排出量を減らすことです。日本に限らず、世界でも温暖化の対策は緩和策ばかりです。しかし、緩和策をどれだけやっても温暖化

は進む、とIPCCは推計しています。海は反応が遅いので、海面水位の上昇は今後数百年続きます。そのため、温室効果ガスの排出を減らせても、海岸対策にはかさ上げが必要になってきます。

かさ上げに相当するのが適応策です。これは従来の防災、社会開発と変わらないので、社会からも財政当局からも理解されないのが実情です。気候変動があるからさらなる整備が必要ですと説明しても、なかなか応援してもらえない。

しかし、適応策は本当に大事です。温暖化の悪影響が顕著になる前に現状の問題解決につながります。例えば河川の未整備箇所に対して、とりあえず現在の目標の整備が達成できれば、温暖化の悪影響があらわれても被害を最小限に抑えられるでしょう。これは高潮堤防も同様です。

農・工業用水の効率的利用と高付加価値水利用へ再配分

水の供給側の適応策は幾つかあります。一つは、地下水をもっと使うことです。ただ、日本で地下水はプライベートな水なので少し難しい点があります。

また、貯水池やダムの建設で貯留容量を増やすこと。海水の淡水化もあげられますが、これには大量のエネルギーが必要なので、温室効果ガスの排出削減と逆行します。しかし、どうしても水がない地域では、効果的な対策です。

さらに、雨水貯留の普及や、特殊なバッグに入れた水を船で運搬することも考えられています。

水需要側の適応策としては、再生水の増加や農業のやり方の改善。そして農作物輸入による灌漑需要の削減。農作物が不足している地域は、灌漑して貴重な水を使うのではなく、水がたくさんある地域でつくって運べばいいという考えです。実は、これがもともとのバーチャルウォーターのアイデアでした。

また、水市場を拡大し、高付加価値水利用へ再配分する。農業分野で非効率に使っている水を都市用水に回し、そのためにお金を払うということです。日本では農業用水に手を出すのがタブー視される面がありますが、世界的には農業用水を効率化する考えが主流になりつつあるように思います。2007年12月のアジア太平洋水サミットでも、高付加価値水利用の再配分の文言が入りました。また、水道料金は使った分だけ払うという従量料金の導入の文言も入っています。

図-10は工業用水の取水量とGDPとの関係です。日本はGDPに対して使用量が非常に低い。日本の水の再生利用は約8割。つまり2割しか外から取っていません。

中国は今後の経済発展によって工業用水が増大するでしょう。将来、水がネックとなるかは、どのくらい水の再利用施設を設けるかによります。再生利用の技術を持つ日本にとっては、ビジネスチャンスです。

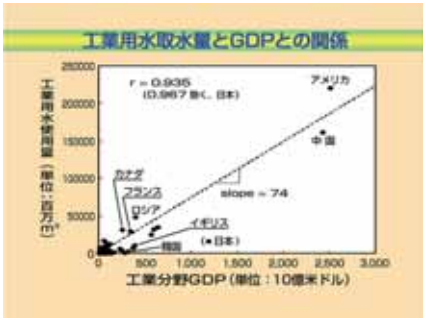

図-10　工業用水取水量とGDPとの関係[10)]

日本は必要な水の半分以上を輸入

最後にバーチャルウォーターの話をします。バーチャルウォーターとは、ある食料の単位面積あたりの収量に対し、一日に必要な水の量や食料による歩留まり率などをかけて水消費原単位（㎥／ｔ）を算出したものです。

表-1に示すように、米なら玄米から白米への精製ロスも考慮し、可食部重量の3,600倍の水が必要と算定されています。小麦やとうもろこしは2,000倍ぐらい、大豆や大麦は2,500倍ぐらいです。

	単収 (t/ha)	要水量 (mm/d)	生育期間 (day)	投入水量 (m³/t)	歩留まり率 (%)	水消費原単位 (m³/t)
米	6.46	15	100	2400	65	3600
小麦	3.48	4	135	1600	78	2000
大豆	1.73	4	110	2500	100	2500
とうもろこし	4.29	4	100	900	50	1900
大麦	3.61	4	110	1200	46	2600

＊玄米：r_e＝72%, 水消費原単位＝3300 (m³/t)

表-1　穀物の水消費原単位[11)]

畜産物では、生育中に食べるえさをつくるのに必要な水を算定します。牛の場合が非常に多く、2万倍ぐらいとなります（図-11）。

ここから、日本が輸入している主要な農畜産物を日本でつくった場合、640億トンぐらいの水が必要との算定値が出てきます（2000年の推計値）。食料自給率が40％ですから、

特別講演

the Content of a Lecture

図-11　畜産物の水消費原単位[12)]

必要な水の半分以上を、バーチャルウォーターとして海外に頼っているわけです。

品目別では、とうもろこし、牛肉、大豆、小麦、豚肉の順にバーチャルウォーターが多い。とうもろこしの大半は畜産のえさ用ですから、バーチャルウォーターは主に畜産のためにあるのです。えさを輸入して国内で肉にするか、肉を輸入しているかです。

世界を駆けめぐるバーチャルウォーター

世界的規模で考えると、バーチャルウォーターはアメリカやカナダ、フランス、オーストラリアなどから中近東や北アフリカ地域に流れています。

中近東や北アフリカ地域の国は水が非常に少ないのですが､石油が出ます。食料を自国でつくらなくても、海外から持ってくればいいのです。石油を売って食料を買うことは、水を買うようなものです。ここからバーチャルウォータートレードの言葉が生まれました。最初にこの言葉を使ったのはロンドン大学のトニー・アランです。

21世紀は水をめぐる紛争の世紀になるという人がいます。水そのものは非常にかさばって重く、貯めておくにはダム貯水池のような巨大なものが必要です。ところが肉類や穀物は重さが千分の1、1万分の1になります。保存も運搬もできる。したがって、戦略物資として世界を駆けめぐるのは水ではなく、水をたくさん使ってつくられた穀物や肉類です。水が戦略物資になるとしても、水そのものではなくてバーチャルウォーターなのです。

豊かな国はバーチャルウォーター交易のおかげで、水には困りません。一方で貧しい国はバーチャルウォーターも買えず大変です。

多くの人は、水問題と聞くと、飲み水のことしか考えません。ところが飲み水は年間1トンくらいあればいいわけです。我々が食べているものをつくるのに1日当たり2,000～3,000リットル、年間に1,000トンくらいの水が使われています。

ですから、世界の水危機と聞いた時には、のどが渇いて困っている人がいるのではなく、食料危機と裏腹であることに思いをはせてください。あるいは今、食料の値段が上がっていますから、どこかで水の足りないところがあるのか考えてみてください。実際にオーストラリアの干ばつが今回の食料価格高騰の引き金になったと思っています。バーチャルウォーターを入り口に、こうした状況への理解を深めてはいかがでしょう。

「飲水思源」水への感謝を忘れずに

牛肉のバーチャルウォーターは2万倍といいましたが、食べるなといっているわけではありません。バーチャルウォーターに直すと、ぜいたくな食べものが多くなります。それを、ありがたいと思って食べればいいのではないでしょうか。

「日本の食料自給率を上げなければいけない」と考える方もいますが、私は自給率だけを問題としているわけではないことを最後に申し上げます。

今の食料生産には大量のエネルギーが必要です。仮に食料自給率が見かけ上100%になったとしても、エネルギーが絶たれれば大量のエネルギーを使っている食料生産は成立しません。最近では、食料になる穀物をエネルギー源とするバイオ燃料が流行っています。

水は食料生産のために大量に必要ですし、水不足は食料を供給することで解消できます。水力発電は持続可能なエネルギーの中では一番大きく、見直されるべきだと思っています。エネルギーが何らかの形で持続的に得られれば、エネルギーを使った海水淡水化の技術によって水ができます。

水、エネルギー、食料、この3つが三位一体として持続的に得られなければ我々の将来はありません。この3つは密接につながっているのです。

中国には「飲水思源」という言葉があります。「水を飲む時にはその源に思いをはせなさい」「お世話になった人のことを忘れてはいけない」という意味だそうです。これをもじって「飲食思水」これから食事の際には、使われている水のこともお考えいただければと思います。

参考文献
1）出典：IPCC 第 4 次報告書
2）出典：IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定者向け要約、気象庁仮訳、2007 年 2 月
3）出典：国土交通省資料
4）出典：国土交通省資料
5）出典：IPCC 第 4 次報告書
6）出典：筆者等の研究成果に基づく
7）出典：IPCC 第 4 次報告書
8）出典：IPCC 第 3 次報告書
9）出典:CCSR/NIES K-1 シミュレーション
10）出典：
11）出典：
12）出典：
筆者等の研究成果に基づいて作成