

# 高騰するエネルギーと水資源 100年後どうなる どうする水文化

IPCC第四次評価報告書が公表され

危機感を煽られていた割には楽観的な内容だった、とホッとした人も多いと思う。

その理由を、政治的動機に基づく批判にも耐え得るような

「具体的な推定値をあげるだけの研究がなされてこなかったため」

と沖さんは分析する。

そして、エネルギー価格の高騰もあり得るとして

コンパクトシティ、地産地消、中山間地、といったキーワードを沖さん流に提言。

困難を伴う合意形成も、危機感を煽ることではなく

コスト意識によって変えられるのでは、と話してくれた。



## 沖 大幹

おき たいかん

東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 教授

専攻・関心分野 地球水循環システム。気候変動がグローバルな水循環に及ぼす影響や、バーチャルウォーターを考慮した世界の水資源アセスメントなど。

主な著書に『水をめぐる人と自然』（共著 有斐閣 2003）、『千年持続社会』（共著 資源協会編・日本地域社会研究所発行 2003）、『水の世界地図』（監訳 丸善 2006）他。

## IPCCの判断

IPCC第四次評価報告（気候変動に関する政府間パネル）の判断が出ました。悲劇的な将来展望がマスコミでもいわれられていましたから、意外と楽観的だった、という声が聞かれます。

今出ているのは政策決定者向けの要約で、政治的な意図としては温暖化の影響を1990年レベルから2℃以内に抑えよう、という目標を設定し、それに対する国際的な合意を得ようという意志で進んでいったように思います。

しかし、気温上昇が2℃だと大丈夫で3℃だと絶対ダメかということ、必ずしもそんなことはないわけ、説得力がないという意味で失敗しています。

また、水への影響としては、水と気温の変化が必ずしも一対一で対応しているわけではありませんので、2℃、3℃といってもシナリオによって変わります。また、その温度上昇が今すぐ起こるのか、100年後に起こるかによっても影響の出方が違います。

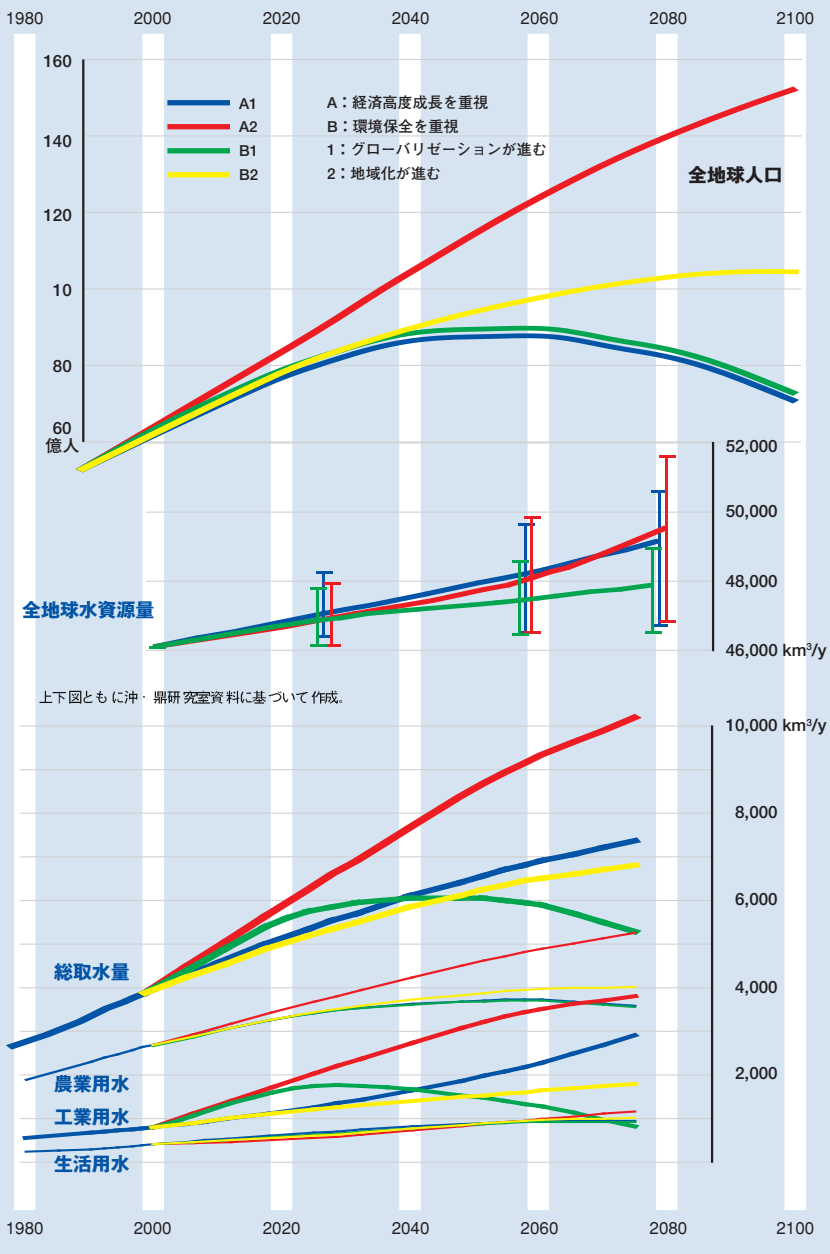
しかし、温暖化した場合の水の総量を足していくと、結果として水資源は増えることが計算されています。降水量は増えるけれど、陸からの蒸発量はそれほど増えないので、水資源は増える、というのが理由です。

降水の変化を見ると、極域と湿潤熱帯域は10%から40%程度増えます。逆に熱帯・亜熱帯乾燥域では10%から30%減ります。早魃<sup>かんばつ</sup>の影響を受ける地域は増大し、激しい降水によって洪水のリスクも増えるでしょう、といったあたりは具体的な数字も出ているので新しいのですが、既にわかっていることも多い。また地域によって、現象の表れ方が違うのですが、そこまで言及しておらず具体性に欠けるのです。

また、政策決定者向けのサマリーに載せることで、「うちの国は温暖化で水資源が増えるらしい」という誤った受け取り方をされる懸念があるような図は、サマリーでは却下されたという事情があります。温暖化で水資源が増えるのであれば、温暖化を抑えるための施策や予算を獲得していくのが難しくなる、というのがその理由です。

確かにそういう誤解を招きかねない表現方法なのですが、それは現状のアセスメントの仕方が不十分だからです。

たとえば、降水量を年総量で表現すると、増えることになる地域では水資源が豊かになるように思われてしまいます。しかし、本来、



増えないし、都市を侵食すること  
 はできないといった制限をかけて、  
 しかし基本的には人口に合わせて  
 増えるだろう、という見込みをし  
 ています。

工業用水に関しては、日本は再  
 利用がとて進んでいます。工業  
 部門のGDPが高いのは、アメリ  
 カ、中国、日本の順ですが、日本  
 だけがGDPの割には、極端に取  
 水量が少ないのです。アメリカや  
 中国も、日本ぐらい再利用率を上  
 げれば、工業用水使用量はまだま  
 だ減らせるのではないでしょう  
 か。

一人当たりのGDPが増えたと  
 一般的に生活用水使用量も増えて  
 いきます。GDPに対する平均的  
 な使用量との差は、文化の差とし  
 て将来推計にも考慮しています。

IPCCでは

- A 「経済高度成長を重視」
- B 「環境保全を重視」
- 1 「グローバリゼーションが進む」
- 2 「地域化が進む」

を組み合わせたものを予測のシナ  
 リオにしています。

このシナリオは、さまざまな研  
 究分野で共有されています。私も、  
 世界の水資源が気候変動にどのよ  
 うに左右されるかという点を考察  
 するときに、「総水資源量」や  
 「深刻な水ストレス下の人口」の  
 算定に、このシナリオを用いまし  
 た。

1のグローバリゼーションの指  
 標は地産地消の価値観からいうと  
 悪いイメージがありますが、ここ  
 でいっているグローバリゼーション  
 というのは「価値観の共有」を  
 指しています。ここで規定されて  
 いる概念は一般的に感じている言  
 葉のイメージとは少し違っている  
 ようです。水資源に直接働きかけ  
 る因子でいえば「活発な技術移転」  
 を指します。技術移転などにより  
 エネルギー効率が上がり、工業用  
 水の効率化が改善されると期待さ  
 れます。「価値観の共有」という  
 意味からは人口抑制につながりま  
 す。

大きい1割増

平均温度が上がるのは、2050  
 年以降のことだといわれていま  
 す。しかし、極端現象のシグナル  
 は、それよりも早く顕在化するの  
 ではないか、とすでに第三次報告  
 書でいわれています。

では、極端な現象はどれぐらい  
 の頻度で起こるのでしょうか。

気温の例でお話します。極端な  
 現象が起きる確率は、気温の頻度  
 分布曲線の裾野の面積で表されて  
 います。平均気温が上がり、分布  
 曲線が右にシフトすることで三角  
 の部分、「暑い日」の面積が大き  
 くなる、つまり生じる確率が大き

水資源予測の  
 指標となる水ストレス

欲しい時に欲しい量が降らないと  
 実際には資源として使えないので  
 す。従って、年総量というざっぱ  
 くな表現ではなく、月単位、日単  
 位といったもっと細やかなデー  
 タの解析が必要になっていきます。  
 そうでないとな現実的な水ストレス  
 を把握することはできません。

世界の水資源アセスメントの研  
 究は、我々を含めて5グループほ  
 どが取り組んでいるのですが、そ  
 ういう意味ではもっと頑張らなく  
 てはいけない、と書いています。

レポートの結果としてこれくら  
 いしか盛り込めなかつた理由は、  
 温暖化影響の基礎研究が少ないか  
 らです。そのうちのひとつが、たと  
 えば我々がやっている水ストレス  
 の研究です。

水ストレスにも、いろいろな指  
 標がありますが、よく使われるの  
 は年間一人当たりどれぐらいの水

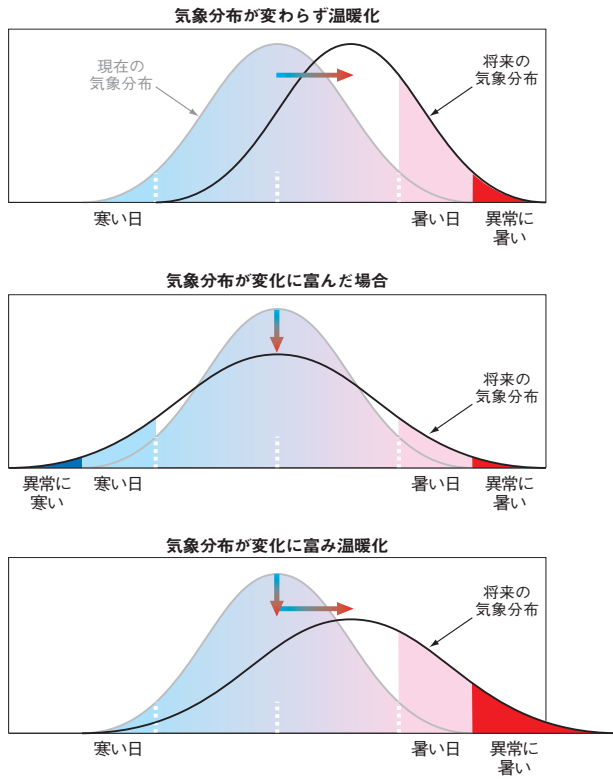
を使うことができるか、というも  
 のです。これは河川の流量変化と  
 人口の変化だけを考えれば割り出  
 すことができる簡単なものです。

これに対して水需給の比による  
 指標もあり、この場合、水需要の  
 将来の変化も想定する必要があり  
 ます。

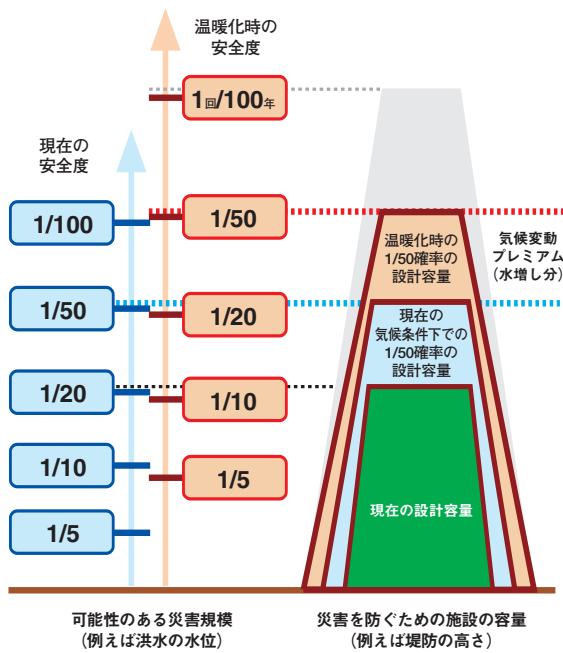
農業に関していえば、灌漑面積  
 が人口と同じように伸びてきてい  
 ます。将来も、きっと伸びるでし  
 ょう。ただし、土地の制約があり  
 ますので灌漑農地は今の面積より

は年間一人当たりどれぐらいの水

気候変動モデルの違いによる異常気象の確率



上下図ともにIPCC第三次報告書に基づいて作成。



温暖化したときにどうなるかも、土壌雨量指数にヒントを得た「流量確率指数」(次ページ参照)を利用して、現在と将来でどれくらいリスクが変化しますよ、といえるのではないのでしょうか。それがないと、どれくらいの確率でどのくらいの豪雨が降ったら、どれくらいの被害が出る、ということまでいえないわけです。堤防をどれだけ高くするかで、どういう効果があるかということも、こういう研究がベースにはつきりしないでしょう。

くなるわけです(左上图)。また、平均が変らなくても、気温分布にバラツキが増えて裾野が広がることで三角形部分の面積が大きくなります(左中图)。実際には両方が併せて起こる(平均気温が高くなるとともに、分布が変化に富む)と考えられます(左下图)。今だとたまにしか起こらないことがしょっちゅう起きると懸念されているわけです。

同じように雨も、今は200年に1回ぐらいしか降らない大雨が、将来は80年とか60年に1回の頻度で降るようになる、ということですから。500年に1回しか降らない大雨が100年に1回降るようになる。そういうことなのです。

ただ、現在のモデルシミュレーションには限界があり、たとえば観測された東京の最大日降水量は200mmとか300mmなのですが、現状で目指している50分の1とい

いるのが、現在の状況です(左图)。同じ生起確率の豪雨の強度は1割程度増える、と考えられていますから、同じ設計容量であれば、治水安全度はかえって低くなります。

川の試算は、確率がどう変化するかを見て、それに対してどれくらい水増ししなくてはいいかを推測するのであれば、比較的簡単だと私は思っています。

雨が降る確率というのは、将来どのぐらいの頻度になるかということとを表しています。現在20mmの雨が降る頻度で50mmの雨が降るようになったら、深刻な状況ということですよ。同じ発生確率で比べると豪雨の強度は約1割ぐらい増えそうです。

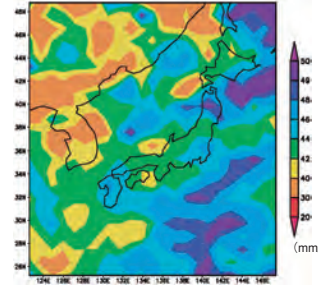
放っておいた場合にどれぐらい被害が増えるのか、それを50分の1に上げようとして、それが現在の状況です(左图)。それが50分の1に上げようとして、それが現在の状況です(左图)。

川の場合の試算は、確率がどう変化するかを見て、それに対してどれくらい水増ししなくてはいいかを推測するのであれば、比較的簡単だと私は思っています。

放っておいた場合にどれぐらい被害が増えるのか、それを50分の1に上げようとして、それが現在の状況です(左图)。

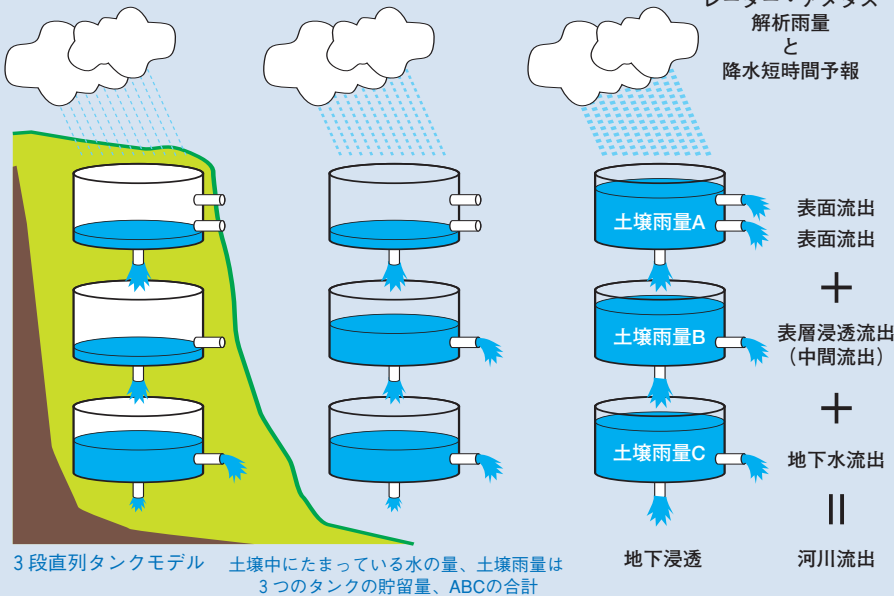
放っておいた場合にどれぐらい被害が増えるのか、それを50分の1に上げようとして、それが現在の状況です(左图)。

二酸化炭素倍増時の50mm/日降水と同じ生じ易さの現状の降水強度



安富ら、CCSR NIES AGCMの結果に基づいて作成。

## 土壌雨量指数の概念図



3段直列タンクモデル 土壌中にたまっている水の量、土壌雨量は3つのタンクの貯留量、ABCの合計

$$\text{雨量} - (\text{河川流出} + \text{地下浸透}) = \text{土壌雨量指数}$$

$$\text{土壌雨量指数の履歴順位} = \text{土砂災害の危険度}$$

最近、台風のときなどのニュースで、「過去10年で一番土砂災害が起こりやすくなっています」というアナウンスを耳にする。これは、気象台が発表している「土壌雨量指数」をもとに算出されている。

「土壌雨量指数」は、地中に含まれる水をタンクと見立て、降水量（レーダー・アメダス解析雨量と降水短時間予報から算出した計算値）から河川流出量と地中浸透量をマイナスした水量で、土中に残った雨量の指数。

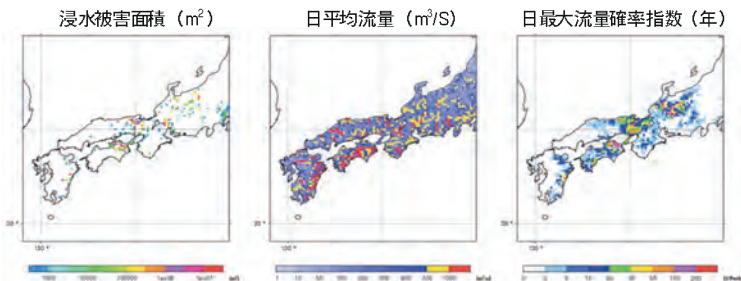
土壌雨量指数だけでは土砂災害の危険度はわからない。その地域の土壌における、水分許容量が見えないからだ。そこで過去10年間の土壌雨量指数の履歴順位と比較することによって、土砂災害の危険度を予想する。

しとしと降る雨でも、長期間降り続ければ、河川への流出が少なくても、土壌雨量は大きくなる。そして河川の流量が急激に増えるのは、土壌の許容量を超えたとき、つまり一番上のタンクから表面流出が始まることで、土壌全体の質量も上がり、土砂災害の危険度が高くなる。

## 「流量確率指数/年」

沖・鼎研究室では洪水予警報への適用を目指して、土壌雨量指数にヒントを得て、全国を10kmメッシュにして、時間流量の約30年分のデータをシミュレーションして確率分布を定め、毎時算定される流量の超過確率を逆算して「流量確率指数」と名づけた。さらにそれを国土交通省の

「水害統計」のレイヤーと重ねることで、「流量確率指数」の大小が過去の災害と実際にどう対応しているか調べている。国土交通省の「水害統計」は市町村別に統計がとられているので、それを緯度、経度にデジタル変換してグリッド化して利用しているそうだ。



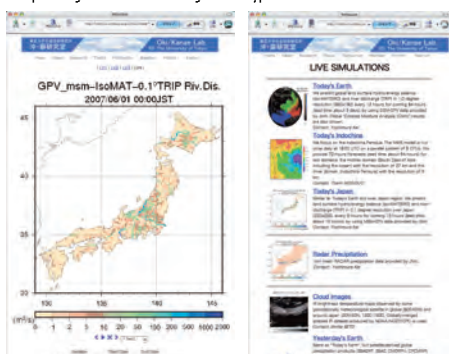
上図は、2004年10月20日の台風23号による浸水被害時の、浸水被害面積、日平均流量、日最大流量確率指数。

日平均流量だけを見ると、大河川で流量が多いという当たり前のことしかわからない。つまり、流量だけを見ても災害との関係性は浮き上がってこない。

日最大流量確率指数を見て、浸水被害面

積と照らし合わせてみると、「流量確率指数」が実際の浸水被害の状況とほぼマッチしているということがわかる。つまり、「流量確率指数」は、どの程度の流量のときにどの程度の浸水被害をどの程度の確率で引き起こすか、ということはある程度正しく表すことができている、ということが出来る。

くわしくは沖・鼎研究室のホームページをご覧ください。  
<http://hydro.iis.u.tokyo.ac.jp/in dexJ.html>



ちなみに流量確率指数の計算は毎日リアルタイムに行なっており、うちの研究室のウェブで見ることが出来ます。

リスク回避にかかるコストは合意形成で

まあ、現在はほとんど起こらないことが、温暖化すると100年に1回にしろ200年にしろ、起こり得るようになる可能性が異なります。

そういう将来像を突きつけられたときに、現在の気象条件下での

設計許容量を嵩上げするか、しなやかかわつてきます。もうこれくらいの方角に、みんなの気持ちが悪くことだつて考えられます。

土砂崩れが起きる確率が高い地域に住むリスクに対しては、膨大な時間と予算が必要となる対策工事だけではなく、新規立地の抑制、既存住宅の移転促進といったソフト対策を推進しようとする「土砂法」というのができています。

「土砂災害防止法」 2000年(平成12)4月27日成立 翌年4月1日施行 土砂災害の

設計許容量を嵩上げするか、しなやかかわつてきます。もうこれくらいの方角に、みんなの気持ちが悪くことだつて考えられます。

土砂崩れが起きる確率が高い地域に住むリスクに対しては、膨大な時間と予算が必要となる対策工事だけではなく、新規立地の抑制、既存住宅の移転促進といったソフト対策を推進しようとする「土砂法」というのができています。

そういう危険地域に対しては「分譲はやめてください」とか、「家の建て替えはしないでください」とか規制をして、徐々に安全な場所に人口を集約化していくことは有り得ますし、トータルで見るとときに、私はそのほうが健全のような気がします。

国連の持続可能な開発委員会から諮問を受けてまとめた報告書の中に、「海面上昇が予測される地域より低い土地の新たな開発をやるべきだ」という勧告が出ています。やはり、そういうアクションを起こすべきでしょうね。

日本ですら、現段階で堤防など

被害を受ける恐れがある危険箇所は年々増加し続けているが、すべての危険箇所を対策工事するには、膨大な時間と予算が必要となる。そのため土砂災害の恐れのある区域を明らかにして、危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅などの新規立地の抑制、既存住宅の移転促進といったソフト対策を推進しようとするもの。

の設計目標が満たされていないんです。ですから、計画の嵩上げは現実的ではありません。まして途上国は、全然到達できていません。その認識が大事なんです。まずは、今の設計目標の実現を目指すことは、少なくとも無駄じゃないね、という共通認識が確認されたことに、今回のIPCC報告の意味があると思います。

気候変動に関するODA施策をどうするか、という会議が昨年行なわれたのですが、そこでも現状の脆弱性に対応することが、温暖化気候変動に対応するための第一歩であるという認識を得ました。私は、それは基本的に正しいと思います。

## コンパクトシティ

こう見てくると、日本に関してはやはり住まい方を集約してコンパクトシティを目指すのがいいと思います。住まい自体は集約化して、公園がみんなの庭のような役割を果たす。そういう住まい方が治水のためにもいいんじゃないでしょうか。

コンパクトシティというのは、集まって住むことでエネルギーを効率的に使うことです。そう考えると100年後のエネルギーがどうなっていくかで、いろいろ左右

されますね。

千年持続学的にいうと、20年、30年より先のことを予測することには、あまり意味がありません。それより、こうであってほしいというのを考えるべきであろうと思います。

それは夢と聞いていただいてもいいですし、目標と聞いていただいてもいい。やはり、こうあつてほしいということを考えることが建設的ですよ。ただそれがわからないときには別の意味でシナリオ（将来の社会像を具体的に検討すること）が必要で、たとえばエネルギーが現在と同じぐらい使えるとしたらどうか、とか、使えないとしたらどうか、というように考えるべきでしょう。

日本のように平地が少ない国にとつて、水害に遭いやすい地域を、安心して住めるようにしてきたことは重要だったわけですね。しかし、今後エネルギー価格が高騰し、人口が減少したときには、ポンプに頼らなければ安全が確保できない地域に住む人を減らし、町をコンパクト化していくことは理にかなっているのではないのでしょうか。

それには、駐車場の上に部屋をつくるような2階建て、3階建ての戸建住宅をたくさんつくるのではなくて、集まって住める5〜6階建ての住宅を増やすべきだと思います。

います。

0メートル地帯は、下水だつてポンプアップして成立しているんです。つまり、ものすごく資源を投入している。全部を水門で守るといふやり方も、エネルギー価格が高騰したら維持できなくなるでしょう。

100年後に化石エネルギーが使えなくなっている、ということはず「ない」と思いますが、価格が非常に高騰している可能性はあります。電気料金が10倍になつたときに、水害常襲地を守るためのコストとして、それだけかける価値を見出せるかどうかですね。

エネルギーが水とかかわるといふ側面から考えると、石油価格が高騰したとすると自然エネルギーを使った発電の価値が上がり、水力発電の価値も上がりますよね。そうすると水が流れない川の区間が増えるかもしれませんから、水環境にとつては逆風要因かもしれません。

## 中山間地の意味

私はときどき通勤の途中で、猫とか犬とかを見かけるんですが、こういう動物がいなくなったら寂しいなあ、と思います。できればもう少しいたらいいですよ。猫とか犬だけではなく、リスとかも

そういう意味で中山間地の自然や動物と住宅地の緩衝地域として、里山の存在は重要です。

しかし2107年という、6000万人、7000万人ぐらいの人口で、戦後すぐぐらいと同じ水準になるのでしょうか。そうすると、住宅地にもちよつと空き地があつて、余裕を感じられる。それがコンパクトシティ化することで、さらに中山間地にはあまり人が住まなくなりません。営林署の人とか公務員しか住まなくなるんじゃないですか。住んでください、いつでも誰も住みながらないわけですよ。だから、まさに防人の役目が求められるんです。

なぜ今防人になつていないかという、海とかは防衛上の理由があるのでは置くでしょうか、平

和な時代には中山間地はその重要性に欠けるかもしれませんね。

日本の森は放つておくと300年で自然に戻るそうです。ですから途中は大変かもしれませんが、今の荒れた森もいずれ元に戻る。

源流シンポジウムとかが行なわれると、「いいなあ、自然は。家族を連れて行きたいなあ」と思うんです。でも結局まだ行っていない自分を省みると、やはり都会の生き方も変えないと、エコツーリズムもなかなか盛んにならないのではないのでしょうか。土日に仕事をしないで済むようになって、湿まないでリクリエーションが楽しめる100年後の社会。いいですね。

外環とか圏央道とか整備が進んでいるし、人口が減つてガソリンが上げれば、利用者が減つて渋滞なんてなくなっているでしょうね。

次世代に窮屈でない暮らしをバトンタッチしたい

これはまさに千年持続学に書いたことですが、不慮の死とか、望まない事故による被害というのは、非常に悔いが残る。

日本で洪水で亡くなる方は、とても少ない人数です。それなのに、なぜ洪水がこれほど重視されているかといえば洪水被害に対して国



などが責任を取らなくてはならないというだけではなく、やはり理不尽に感じるからではないでしょうか。また、みんなが「洪水で死ぬとは思っていない」ということもあるでしょう。誰も自分が洪水に対してリスクを負っているとは考えていないんです。交通事故で亡くなるのは、ある程度自分でリスクを予想しているのです、心理的にまあ比較的納得しやすいのです。

やはり理不尽な死に方をするとか、大きな制約を受けた暮らししかない未来を次世代に残すのは可哀想ですから、抽象的な言い方ですがそうではない未来や世の中をキープしたい、と思います。

少なくとも100年後は、そういう被害が増えてほしくない。増やさないためにできることをやるべきです。また一方で、非常に窮屈な思いを持って、環境に配慮する社会になっているのも、100年後の人にとってかわいそうなことですね。

私なんかはゴミの分別を細かく行なうのは割りと窮屈なんですけど、今の子供は生まれたときから当たり前に行っていますから、窮屈とは感じない。ですから、環境への配慮も当たり前になっているかもしれません。そういう楽観的な思いもあります。しかし、水を使う

ときにちびちびと計るようになって使わなくてはならないのでは、やはり窮屈ですよ。また、運動したら「お前、たくさんカロリー使ったから地球環境に悪いじゃないか。もっとうちで安静にしてろ」とか言われる世の中も嫌ですよ。笑い事じゃなくて、オリンピックなんか、なくなっているかもしれない。海外に行くのは無理になっていくかもしれないね。

温室効果ガスを排出することが悪いということが、100年後にはわかっていこうと思うんですよ。

大地震に対していえることですが、危機を煽るのはよくない、と思う。危機感がなければ、人間はなかなか動かない。ただ危機だ、危機だ、と言っていると、みんな表向きは反対しませんが心のどこかで「嘘だ」と思っている人もいます。今はマスコミも温暖化

だつたら何を言ってもいい、という風潮になっているんじゃないですか。それはそれで、行き過ぎると足許をすくわれると思うんですね。中庸で、いろいろなことにバランスよく注意を払いつつ、危機を管理する。でも、そういうことって、なかなか正しく伝わらないですよ。これに関しては私は悲観的で、何か事が起きないと人は

動かないんじゃないか、とと思っています。

今のところ、豪雨の強度は1割しか強くないのか、という反応があるかもしれませんが、実際には1割って重要なんですよ。

### 未来の農業生産

100年後を考えたときに、水とエネルギー以外のことでは、食糧生産の公益性がどうなっているのかな、と思います。

水利権の話でいえば、現在の日本は「慣行水利権はまず認める」という前提に立っています。その理由は、戦後、食糧を国内生産でまかなうということに社会的正義があったからです。なぜなら、食糧難の時代に食糧を自分の国でつくるといふことに「社会的公正性」があったのです。みんな、そのためだつたら、自分の儲けのために

行なう工業生産や、生活の中で贅沢に水を使うことなどを我慢しても、農業・食糧生産を優先しよう、農業は国の基礎だ、と考えていた。今はそういう時代とは、考えも変わってきているんじゃないでしょうか。しかし、輸送コストが高騰すれば、逆に地産地消で再び農業用水が重要になる。社会的公正性が、再び増すということ。エネルギー

ギー問題ひとつとっても、こういうまったく逆のシナリオが描ける。

それがどっちになるかは、今の時点ではわかりません。でも、世の中の多数を占めているのが小規模農家という時代から、企業経営的な專業で成立できる規模の農業

になって「あなたのところは、確かに食料はつくっているけれど、それで利益を上げていますよね」というようになれば、それは対価を払いなさいということになるかもしれません。

エネルギーが高騰して地産地消が進めば、農地は郊外を中心として必然的に増えるでしょうね。

### 100年後

今の日本では、100年後も今とあまり違ってほしくないと思っている人が多いのではないのでしょうか。これは、日本はとも恵ま

れていると思っていることの裏返しで、何も変わってほしくないと思っ

ています。しかし、変らないでほしいということは、環境に対する今のハイインパクトを続けていくことを容認するということです。

この前うちの子供を寝かしつけているときに、「暗いと怖い」と言うので、「照明を消さないよね、お前の子供ができたときに使う電

気がなくなるかもしれないでしょう。消そうね」と言ったら「わかった」と言っただけで寝ました。3歳です。そういうことがあると、ちよつと考えますね。

ハイインパクトな暮らしを規制によって抑えていくのかどうか。私は下手な規制より、エネルギーコストが10倍になれば、不要なもの自然に淘汰されていくと思います。

そういう意味で科学技術をうまく使うような、社会システムを考えていく必要があります。また、国内だけではなく、バーチャルウォーターやフェアトレードの視点から、国際的な適正価格を追究していく必要もあります。

また、保守的な「変らないでほしい未来」を越えて、新しくこんな風になってほしいな、という夢でいうと、都市河川を諦めないできれいにしてほしい。世間はちよつと諦めが早すぎです。

里川のように、今は無理だと言っていることも「本当に無理なんですか」と問い直していくことも必要なんじゃないでしょうか。公園みたいと批判されてもいいから、都会の川を美しくするために積極的に取り組んでいきたい、と思いますね。

