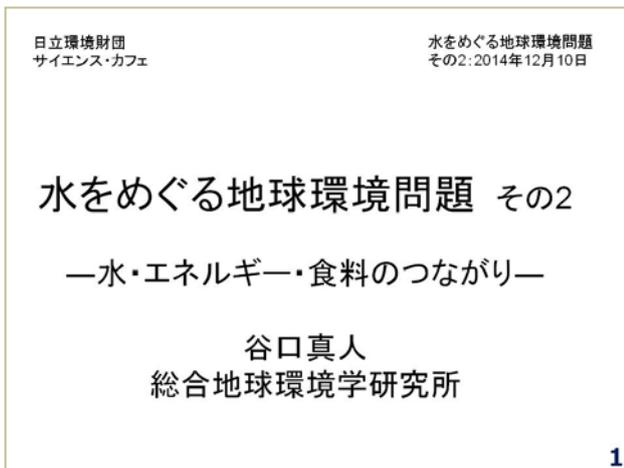


第24回 環境サイエンスカフェ

テーマ 水をめぐる地球環境問題 その2ー水・エネルギー・食料のつながりー
 講師 谷口 真人さん（総合地球環境学研究所 教授）
 日時 2014年12月10日（水）18：30～20：00
 会場 サロン・ド・富山房 Folio
 参加者 33名



1. はじめに（前回の続き）



皆さん、こんばんは。

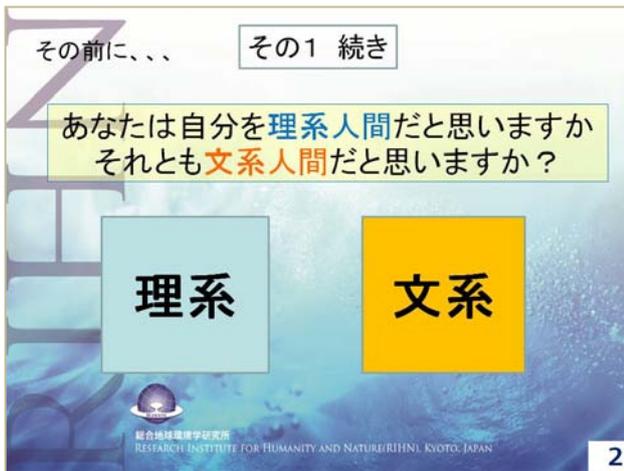
会場：こんばんは。

今、ご紹介いただきました、総合地球環境学研究所の谷口です。2回目の方がかなりたくさんいらっしゃるようですが、初めての方もいらっしゃると思いますので、簡単に自己紹介をします。総合地球環境学研究所というのは、京都の北の端っこにある研究所で、できて14年目になります。地球環境問題の解決に資する学問を構築するという

目的でつくられた研究所です。そこで私はいろいろなプロジェクト研究をやっていますが、水に関するプロジェクトの2つ目を現在担当しています（図1）。前回お話ししたのが水全体のお話でしたけども、今日はその2つ目のプロジェクト、水・エネルギー・食料ネクサス、英語では“nexus”ですが、訳すと「連環」ですね。Water-Energy-Food Nexus というプロジェクトを今やっております。その話を中心に、今日はしたいと思います。ただ、前回パワーポイントをたくさん用意し過ぎて、すごい早口でパパパッと行ったので、かなり消化不良のところがあったんじゃないかと思ひまして、今日は少しゆっくりめに、資料を少なめにしました。

会場：半分しかない（笑）。

前回の半分ですよ（笑）。ただ前回の積み残しも少しありまして、前回の積み残しを最初のところでやらせていただいて、それから本題のWater-Energy-Food Nexus（水・エネルギー・食料のつながり）の話に入りたいと思います。前回と同様に、途中でぜひご質問をしてください。まず前回の続きの部分に入ります（図2）。これをぜ

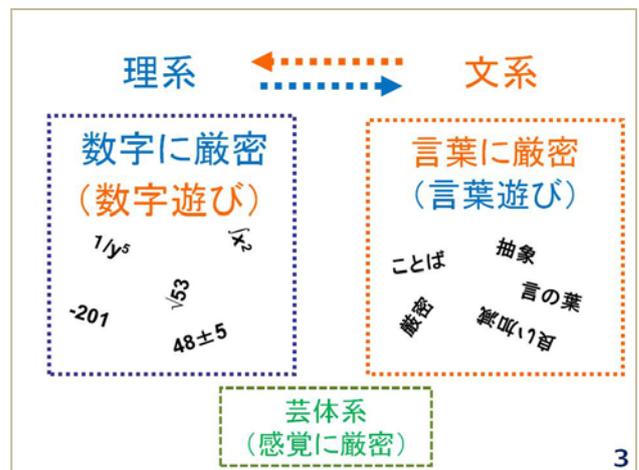


ひ聞いてくださいって、1 回目が終わったときに言われたので、これを入れさせてもらいました。「あなたは自分を理系人間と思いますか、それとも文系人間だと思いますか」という質問です。理系人間だと思われる方、手を挙げてください。半分ぐらいですかね。はい、ありがとうございます。文系人間だと思われる方、手を挙げてください。ああ、半分ぐらいですね。ちょうど半分ぐらいです。

会場：真ん中（笑）。

私はこれまで理系の分野で教育を受けて、理系の分野を中心に仕事をしてきましたけども、今いる総合地球環境学研究所は、研究所自体が文系半分・理系半分の研究所になります。そういうところで働いています。これを何で質問したかというところ、ご自身が理系だと手を挙げられた方は、多分、思われていると思うんですけども、非常に数字に敏感です（図3）。厳密です。こだわります。いろんな数字が世の中に出ていますけども、何かものを考えるときに、数字をかなり気にして話します。私もそうです。誤差がどれだけであるとか、検定しないとこんな数字は意味がないとか、数字が一人歩きしないようにと、われわれ理系の人間は思っているんですよ。一生懸命それを使って説明しようとする。それが多分、理系の人たちの本性（笑）じゃないかと思うんですけども。数字に厳密な理系の人間に対して、多分、私は文系ですと手を挙げた方は、言葉に非常に厳密です。言葉の一つ一つに違いを見いだして、一つ一つ丁寧に言葉を使われます。世の中には、本当はいろんな方

がいますので、こんな理系と文系で2分割するなんてのは、すごい大雑把な分け方ですけども、数字と言葉ということに関して言うと、それぞれが大事にしているものがあるように思うんですね。私なんかは理系人間なので、階段を一步ずつ踏み外さないように、一步一步進むんですけども、文系の方は、私が見ると、何か階段を、一つの言葉を使うことで、3段、5段飛びしちゃうような（笑）イメージがあります。それだけ言葉を厳密に選択することで、理解が進むんだと思うんですね。そういう言葉に厳密であることを、文系の人たちは考えている。

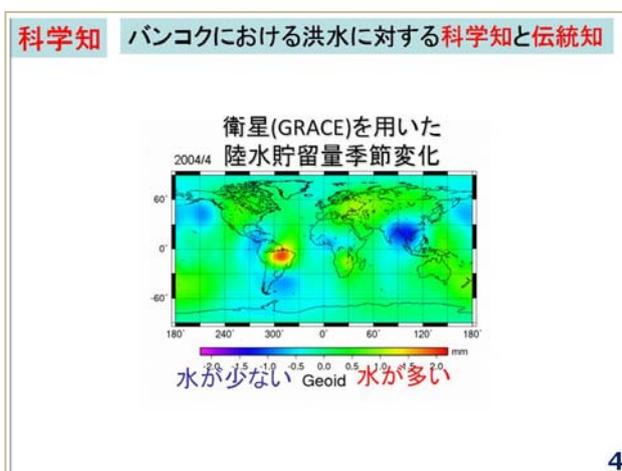


私は地球研に来る前にずっと理系の分野を大学で教えていました。そこにはいろんな学生がいます。文系の学生も授業を受けにきました。地球物理の講座で教えていたのですが、そこに文系の学生がきて、私が一生懸命、標準偏差がどうだ、t検定をしたらどうだと言っていると、「先生、結局、何言いたいんですか？」と言うんです。で、「先生の言うことは、何となく分かるんですけども、結局、何言いたいんだ」「その数字はどんな意味があるんですか」。その文系の生徒にとっては、私がやっていることが、何か数字で遊んでいるように見えるって言うんですね。理系の人たちが一生懸命になって数字を使えば使うほど、文系の人たちは、何か数字で遊んで、それで結局、何が言いたいかかわらないと。そういう印象を持たれる場合が多いような気がします。逆に、私のような理系の人間が、文系の人が使っている厳密な言葉のこだわりを聞くと、何か言葉で遊んでいるように聞こえるわけです。この数字で遊んでるように見える、あるいは言葉で遊んでるように見えると

というのは、お互いが、やはりちょっと違う感覚を持っているんだと思うんです。

この文系と理系っていうのは、今の日本の教育体系によると、高校で分かれる場合が多いですよ。高校の段階で、大学進学とかいろんな段階で、文系コース・理系コースって分かれます。教育体系の中で、こういうふうに分かれてしまっていることが多いように思います。そこで、地球環境問題を解決していくときに、理系の分野でいろんな数値を使って、数式を使って、モデルを使って、誤差がどうだっていう話を、一生懸命するわけですね。それが、文系を中心に勉強してきた、あるいは、そういうことをずっとやってきた人に、どこまで伝わっているのか。逆に、文系の人たちが使っている厳密な言葉の違いを、理系の間はちゃんと理解しているのか。そのギャップですね、それをどうやって埋めていくかということが、多分、地球環境問題を解決するうえでも、地球環境問題だけじゃないですけどね、大事なんだと思います。

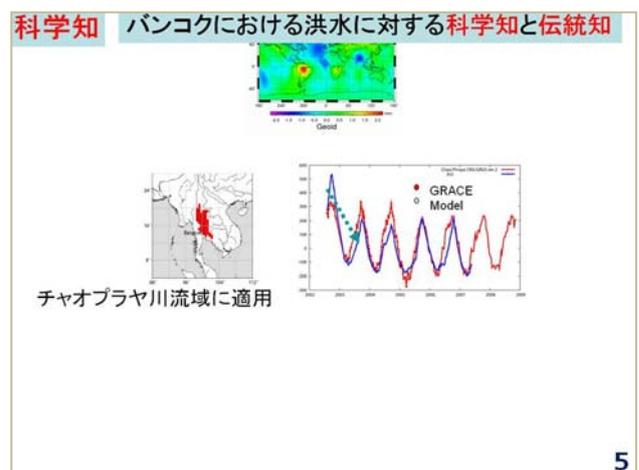
もう一つ、芸体系というのがあります。芸術、体育。これは多分、感覚に厳密なんだと思うんですね。感覚といってもいろんな感覚がありますけど。こういう文、理、芸術、いろんな分野で、皆さんはご活躍されていると思いますけども、自分がこだわればこだわるほど、その分野のことをやってない人にとっては、遊んでいるように見られているんだっていうことを、ちょっとどこか頭のすみに置いておくと、会話するときに、少し違うスタンスになるんじゃないかと思います。



私が今いる地球研の中にはこの文系・理系の分野の人たちが半々いると言いましたけども、そう

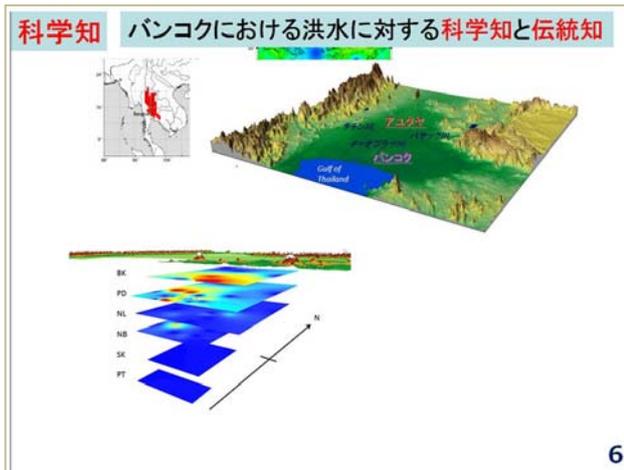
いう人たちが、同じ大きなフロアでいつも一緒にいます。研究所は個室がないんです。いつもディスカッションするような、そういう雰囲気です。廊下と言ったようなものもなく、大きなスパンの一角をみんな歩いて来ます、それが廊下なんですけども、だから、通るだけでみんな議論をし始めちゃう。そういう雰囲気の中で議論をしながら、地球環境問題の解決に向かうような学問大系をつくろうと、がんばっています。

文系・理系の分野が一緒に研究して、どんなことができてきたかということ、一つだけちょっとお話ししたいと思います。前回参加された方は覚えていると思うんですけど、双子衛星のGRACEは2つの衛星が地球をぐるぐる回って、その距離の差をちゃんと測ることで、陸上にある水の量の変化を測ることができるという話をしました(図4)。その時に、東京から名古屋の間で髪の毛の10分の1ぐらいの距離の差がわかるという表現をしましたが、こういう表現も、多分、文系の人のためにつくったような言葉だと思うんですね。あのとき質問されて、それを数字で言うのとどれくらいですかって聞かれた記憶があるんですけども、それは多分、理系の分野の人だと思うんです。だから、説明するときにも、どういう表現をするかということ自体が、多分、違うのだと思います。



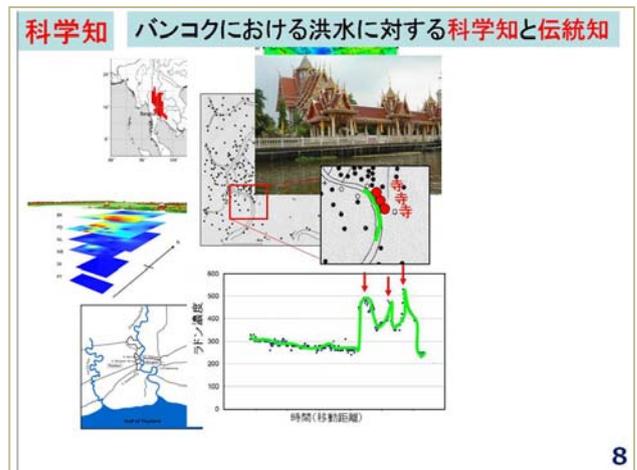
そこで、タイのチャオプラヤ流域で、この衛星のデータを適用したのが次の例です(図5)。これはGRACE衛星のデータで得られた陸水量の増減を表しています。こちらが年です。このあたりはモンスーンアジアに位置していますから、1年で水の量が大きく増えたり減ったりします。このよ

うに衛星でとらえられた陸上の水の増減がわかります。一方で雨の量や蒸発の量そして川の流量から計算すると、陸上の水量の増減が求まります。それで求めた気象モデルと、これは比較したものです。そうすると、チャオプラヤ川の流域では、経年的には少し水量が減ってきている状況にあります。ごく最近は下げ止まりしていますけども。チャオプラヤ川という大きな流域レベルでの水の増減が、こういう衛星のデータを使うと、今は分かるようになってきています。



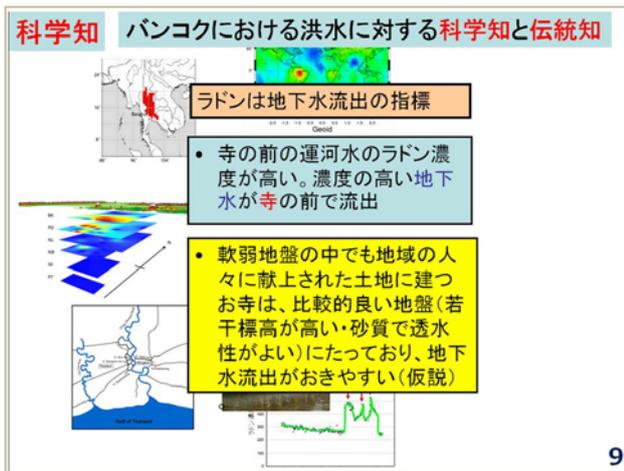
こういう大きなグローバルスケールから流域レベルまで下がって、さらにこれはバンコクの中をもう少し詳細に見たものですが、上流側に皆さんご存じのバンコクの前の都があったアユタヤがあります(図6)。バンコクでは地面の下に地下水がたくさんあるんですけども、その水をバンコクの人たちは使っています。その地下の様子をモデル化してやる。これは理系がすごく得意な分野ですね。100メートルなり10メートルのメッシュを切って、数値がそれぞれに与えられてという、そういうのが非常に得意です。一方で、ここに住んでいる人たちは、町とか市とか県とか、そういう単位で、行政区が区切られています。だからそういう境界は、自然の流域とは、あるいは10メートル、100メートルメッシュとは全く違う境界で、人は動いている、生活しているわけですね。自然科学の方が使うデータと、文系の人たちが扱うデータは、範囲や境界自体が全く違うんです。

そういうところで、バンコクは、このような運河がたくさんあります(図7)。これはヤイ運河の写真ですけども、これがチャオプラヤ川で、周辺にたくさん運河があります。水上マーケットが有



名ですけれども、こういう運河を、皆さん交通の便として使っているわけですね。ここでわれわれは、運河の水質を調査する機会を得ました。調査をしてみると、まあバンコクですからお寺がたくさんあるんですが、なぜか分かんないんだけど、お寺の前に来ると水質が変わるんです(図8)。運河の水質が変わっちゃう。これが最初、何だか全然理由が分かんなくて、お寺の前だけで何でこんなに水質が変わる必要があるんだと。で、この図は、縦軸に書いてあるのは運河の水のラドンの濃度です。このラドン濃度は何の指標かという、地下水が湧いているという指標なんですね。ラドン濃度が高いということは、地下水がそこで流出している、湧いている場所ということなんです。運河に沿って測ってみると、お寺の前で、必ずそういう地下水が湧いているようなシグナルが見つかったんです。

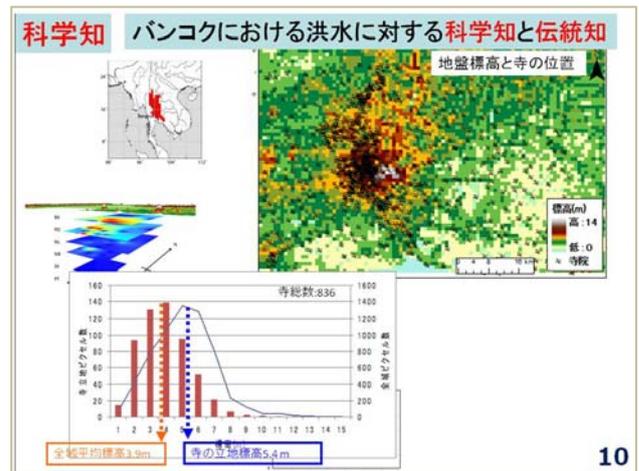
それで仮説を立てました。研究者なのでいろいろ仮説を立てるんですね(図9)。文科系の間も理科系の間も一緒になって、何でお寺の前で地



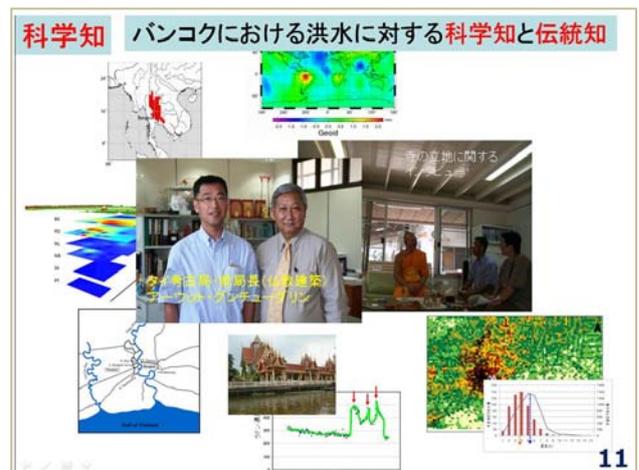
下水が湧いているんだっていうことを、証明したいから、仮説を立てるわけです。事実として分かっていることは、寺の前で、運河の水のラドン濃度が高いこと。これは事実です。ラドン濃度の高い地下水が、寺の前で流出しているんだろうという事です。ここまでは事実として言えるんですね。

ここからが仮説です。バンコクという場所は非常に軟弱地盤の地域です。粘土とかシルト(沈泥)とか、そういう軟弱地盤の土地の上に都市があります。そういうところにお寺を建てるとき、人々はどんな場所を選ぶだろうかと、文科系の人と話しながら想像しました。タイの場合、土地を献上して、そこにお寺を建てます。お寺がずっとそこにあり続けてほしいと考えたら、軟弱な地盤の中でも比較的地盤のいいところ、という意味は、ちょっと標高が高かったり、ちょっと砂地であったり、粘土性の軟弱地盤じゃなくて砂が入っていたり、そういうところを選んで、土地の寄進をして、お寺を建てているんじゃないかと。そうすると、水を通しやすい砂地で、標高の高いところから地下水が運河に流れ出している事を証明できるのではと思ったわけです。それが文科系の人と一緒に研究していく中で出てきた仮説なんです。それを証明したい。

一緒に議論していく中で、じゃあお寺の標高を調べてみようということになりました(図10)。バンコクにはたくさんお寺があって全部は調べきれないんですけども、このときは836のお寺が建っている位置の標高を調べました。これはDEM(Digital Elevation Model)という、標高を調べられるデータがあるんですけども、お寺が建っている場所とお寺が建ってない場所の標高を比較し



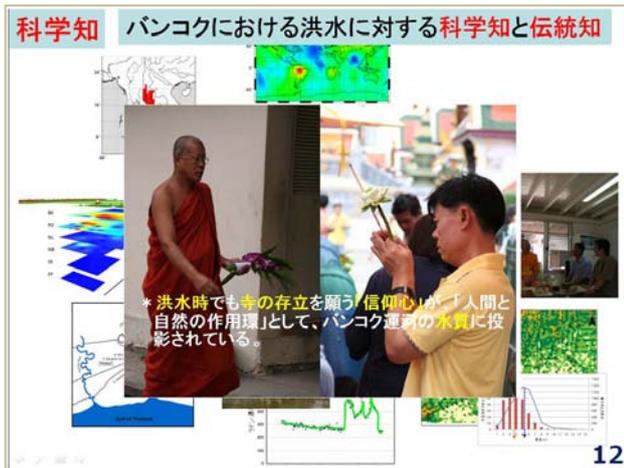
てみると、その差は1.5メートルでした。つまり平均で1.5メートル高いところにお寺が建っているんですね。その標高の高いところから運河に向けて地下水が流れ出している可能性が出てきたんです。文科系の人たちとの議論で出てきた仮説を、われわれが一つ証明をした。お寺は、ちょっと周りよりも高いところに建っている。これが一つ、分かった事実です。



でも、それだけじゃ不十分だろうということで、インタビューをしました(図11)。インタビューするというのは、私みたいな理科系の人にとっては、ほとんどやるチャンスがなかった手法です。このとき初めて、タイの考古局の前の局長の人にインタビューしました。仏教建築が専門の人なんですけども。それからお寺にいくつか行って、お坊さんにもインタビューしました。こういう手法は文科系の人たちはよく取るんですけども、一緒に行ったらインタビューしてくると、やはりお寺を建てる場所は、ちょっと標高の高いところなんです。その意味は、バンコクは非常に洪水が多い

2. 水・エネルギー・食料のつながり

ので、今もお寺が避難地域として指定されています。洪水になったときに、皆さんお寺に避難できるように、そういうふうな位置づけにあります。そういうこともインタビューで聞きましたし、それから今はバンコクも都市化が進んでいて、土地がほとんどありません。それで、しょうがないんで、軟弱地盤の上に盛り土をして、その上にお寺を建てている、そういうふうな話を聞きました。



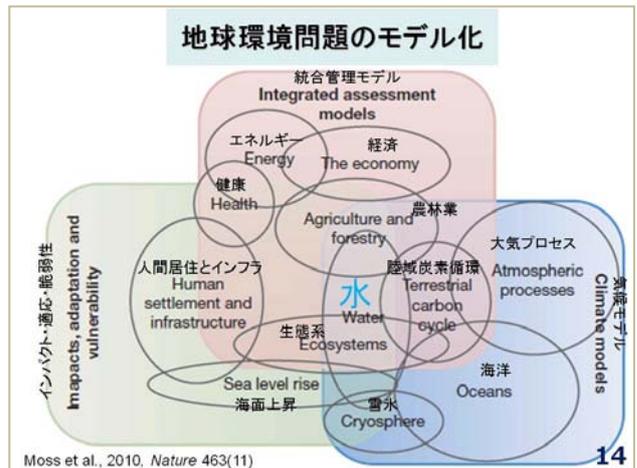
これを衛星の GRACE のデータからモデルの話と、ずっとつなげてみて、何を結論としていえるかとなった時、このときの結論は、「洪水であってもお寺の存続を願う、仏教に対するバンコクの人たちの宗教心というものが、人間と自然の相互作用環の結果として、バンコクの運河の水質に反映されているんだ」。そういう結論をこのときはしました(図12)。これは多分、理科系の人間だけがやった研究だと出てこない結論だし、文科系の研究者だけがやった研究でも出てこない結論だと思うんです。これは一つの例で、水質の違いが何で起きているかということに対する一つの仮説を検証しようということをやった結果ですけど、こういうことを地球研ではやっています。これは今日の前段の部分ですが、もう時間がないですね、すみません(笑)。次、行かせてもらっていいですか。質問はちょっと、ここはなしにさせてください(笑)。

水をめぐる地球環境問題 その2

—水・エネルギー・食料のつながり—

13

本題の方に入らせていただきます(図13)。これに関しては途中で質問の時間を設けたいと思います。水・エネルギー・食料のつながり、つまりネクサス(nexus)、連環というお話です。

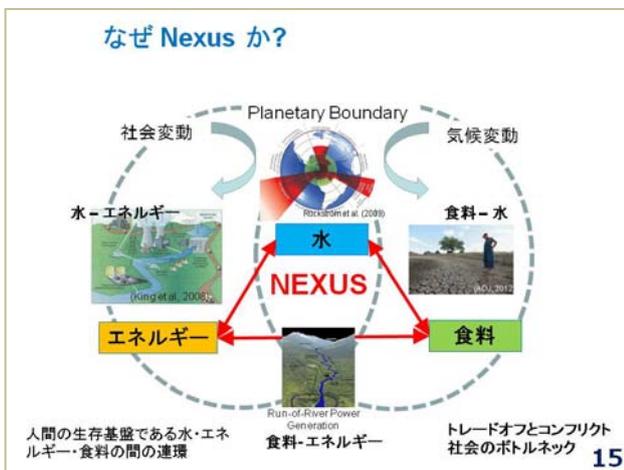


14

この図は地球環境問題を、いろいろな観点からモデル化するときの関連性を示しています(図14)。モデルっていうのは、いろんな数値を使いながら、そのプロセスをシステムとして明らかにして、将来予測も含めて、その構造を明らかにするという作業です。地球環境問題はいろんな問題があります。例えば、温暖化の話であったり、こっちは二酸化炭素の話ですね。それから海洋の話、氷河の問題、海面上昇の話。それからエネルギーとか健康の問題とか、経済の問題。いろんな問題がありますが、このモデルの位置づけは、横軸が、右へ行けば行くほど自然の影響の強いもので、左に行けば行くほど人間の影響の強いもの。そういうような座標軸で、問題を置いています。一方縦軸は、上に行けば行くほど、それらの問題

が個別の問題ではなくて、さっきの文系・理系の統合のような、統合的になって行く、そういう位置づけになっています。

これを見ますと、ここに水、**Water** というのがありますけども、水はいろんなほかの現象あるいはプロセスとつながっている、一番の中心にある事が分かります。これが水というものの位置づけなんですね。いろんなものにつながっているのが水です。今日お話しするのは、水とエネルギーと食料。ここに農林業とありますけども、これには水産も入ります。こういうエネルギー、水、食料という連環を今日、お話ししたいと思っておりますけども、それ以外にも、本当にたくさんつながっているのが水だということになります。



ネクサスという言葉を知ると、何かタブレットのネクサス (Nexus) を想像するかもしれませんが (笑)、あれとは全く違います (図 15)。さっき冒頭で言ったように、連環という意味なのですが、水とエネルギーと食料、このどれもが、われわれが生きていく上でなくてはならない資源ですね。人間が生きていくうえでもそうだし、地球に生物が生存していくうえでも非常に重要な資源になります。ただ、これらの資源が、単独で存続しているだけじゃなくて、関係している、連環しているというのが基本的な考えです。

後でちょっとお話ししますが、水とエネルギーということ言うと、例えば火力発電でエネルギーをつくるときに、冷却をしないとイケないですね。その冷却のために水をたくさん使います。日本の場合は、火力発電所はかなり海岸の近くにありまして海水が多いんですけども、内陸にある火力発電は淡水をかけて冷やしています。それ

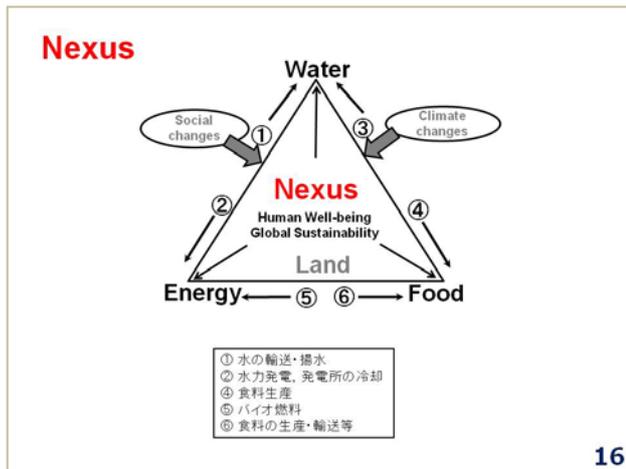
からアメリカとか中国とか、大陸にある火力発電の場合は、真水を冷却用に大量に使っています。そうすると、ほかの用途で使えるはずの水が、エネルギー生産のために冷却用の水に使われてしまうわけです。あるいは、水が少ないカリフォルニアの場合は、州全体のエネルギー消費量の 3 割以上を水の輸送に使っています。あそこに行かれた方は分かると思いますが、自然の川なんてほとんどない場所です。ほぼ全部人工的な水路で水を回して、揚水や輸送にエネルギーをいっぱいかけて、少ない水を一生懸命使おうとしている。そうすると、エネルギー消費がすごいです。総使用量の 3 割以上を水の輸送に使っているわけです。このように、水のためにエネルギーを使う、あるいはエネルギーのために水を使うという関係があります。

それから、次は水と食料の関係です。食料から水をつくるって、これはないんですよ。食料を絞って水を飲むことはできるけども (笑)、経済的にはペイしないし、それはないんですけども、水を使わないと食料はできない。これはもう簡単に分かりますね。干ばつなんかがあると、穀物の価格がすぐ変わります。そういうことで、食料の生産にとっては、水はすごい大きな要因になります。

それから、エネルギーと食料の関係。これは後でも詳しく説明しますが、この場合はカナダの例で、サーモンの遡上 (そじょう) を妨げないように、川の水を一部だけ導水して小水力発電というのをやっているんですけども、水産資源とエネルギーを **Win-Win** のシチュエーションにするにはどうしたらいいかという問題です。このような水力発電によるエネルギー生産と水産資源のような食料を「ネクサス (nexus : 連環)」として、どのように解決に結びつけていこうかという話も、これから少し入っていきます。

この水とエネルギーと食料の 3 つの関係を見ようということなんですけども、ここに、ちょっとすみません英語になっちゃっていますが、水と、エネルギーと、食料、の 3 つがあります (図 16)。気候変動という外的要因と、人口の増減あるいは都市化・過疎化というような社会的な要因の中で、限りある土地の上にわれわれは住んでいるわけですけども、その関係性として、さきほど言った水の輸送とか、冷却水であるとか、またバイオ燃料とか、食料生産、そういうものに、たく

さん水が使われたり、エネルギーが使われたりしています。



16

これは 2013 年の資料ですが、まだ世界中で人の数が増え続けています (図 1 7)。人口の増加と、それにもなってライフスタイルが変わっていくことによって、水とエネルギーと食料の需要が、15年後の2030年には、それぞれ40%、50%、30%は増えるだろうと予想されています。これは単独でこれくらい増えるだろうと予測されているんです。さっきちょっと言ったように、お互いが関係していますから、お互いが、ちょっと表現が悪いんですけども、足を引っ張り合う可能性があるんですね。ネクサスというのをちゃんと考えると、単独の資源需要予測だけでは不十分だというのが一つあります。もう一つは、需要が増大することで、資源と資源の間の、今言ったトレードオフが出てきます。それからもう一つは、ステークホルダー間の奪い合いです。例えば、水産あるいは農家の方とエネルギー関係の方は、今まで多分一緒に対話をしたことはほとんどないと思うんです。

- 人口の増加とライフスタイルの変化により、**水、エネルギー、食料**の需要は2030年までに単独でそれぞれ **40%、50%、30%**、増加すると予測されている (US NIC, 2013)
- これらの需要の増大は資源間のトレードオフとステークホルダー間のコンフリクトをもたらし、社会の要求を満たす最適な解決策が持続可能な社会にとって必要不可欠である。

17

だけでも、連環、ネクサスということで、水とエネルギーと食料はつながっているということが分かっているんです。本当はつながっているのに、それを使っている、いわゆるステークホルダーという方たちが、話し合いの場もないし、問題があったときにコンフリクトを引き起こす。様々な社会の要求を満たしていくときに、お互い違うステークホルダーが、どうしたら合意を得て、解決に向けた道をつくれるかというのが、大きな問題としてあります。

もう一つ今、始めているプロジェクトの例を示したいと思います。持続可能性という言葉は、皆さん環境にご興味があって、よく聞かれると思うんですけど、持続可能性って、考えれば考えるほど、よく分からない言葉ですよ。よく言われるのは、経済的な視点、社会的な視点、環境の視点を全部含めたものが持続可能な視点だと。もうちょっと中身を考えると、経済の視点で言うと、たくさんやっぱり生産したいし、効率も上げたいですよ。社会の面で言うと、皆さん平等に、そういう権利は与えたいし、それぞれが独立して、自立的に社会活動をやっていききたいという要求もあります。それから、そうは言っても、多様な社会も重要だし、安定していることも必要ですよ。これはある部分矛盾していることを一緒にして言っているんです。それぞれが、じゃあどんな関係にあるのか。平等性と多様性って、本当に両立するのかどうか。そういう観点が、持続可能性を考えるうえで非常に重要になってくると思うんです。

今、水、エネルギー、食料という3つの資源を挙げましたけども、この持続可能な利用を考えたときに、今、われわれが生きている土地の条件をまず考える必要があります。日本はリング・オブ・ファイア (Ring of Fire)、つまり環太平洋造山帯に位置し、そこに多くの人が住んでいます。たくさんの地震があるし、たくさんの火山噴火があるし、津波もある。その理由は、環太平洋造山帯にわれわれが住んでいるからです。環太平洋造山帯の資源というものを持続性の観点から考えたときに、まず水とエネルギーと食料の自給率を考えてみましょう。

日本の水の自給率は100パーセントです。ただしエネルギーと食料は、かなり低いです。それに

対して、インドネシアなんかは、エネルギーの自給率が 100 パーセント以上あります。カナダは、食料もエネルギーも自給率 100 パーセントを超えています。このように、同じ環太平洋造山帯に位置する国でも、それぞれの 3 つの資源の自給率が違います。この自給率は、持続可能性の中の一つの指標である、自立性に相当するような項目に近いものかもしれません。

その一方で、今度は資源利用の偏りの大きさがあります。偏りの大きさをいうのは、それぞれの資源をどれくらいの種類で、それだけを使っているかという事です。例えば、石炭、石油、ガス、再生可能エネルギーの中で、石油ばかりを使っているというのは、これは非常に一つの資源に偏って使っているということですね。つまり偏りが大きいという意味は、多様性が小さいという意味です。水は、川の水か地下水か。エネルギーは石炭か石油かガスか再生可能エネルギーか。食料は、穀物、肉類、果物・野菜、水産か。こういう分け方をして偏りを考えます。

日本の場合、まず水は、川の水が 88 パーセント、地下水 12 パーセントです。非常に川の水に偏っています。アメリカは、ほぼ半々ぐらいかな、両方を使っています。そういうふうにして、水に関する多様な使い方をしているか、単一に偏っているか。エネルギーも同じです。そういう図を今つけているところなんです。

日本は、エネルギー、食料の自立性が、つまり自給率が低い。そして日本は水利用の多様性が低い。つまり川の水だけに頼っています。しかし、アメリカやインドネシアはエネルギーの多様性が低い。一つだけのエネルギー資源である石油だけに限っている。一方で、アメリカやインドネシアは水利用の多様性が高い。川の水も地下水も使っている。それからアメリカ、カナダ、インドネシアは、食料の多様性が低い。つまり単一のものだけに頼って、食料として使っている。こういうふうにして、それぞれの国の——これは国がベースのデータなんで、それ以上でもそれ以下でもないですけども——こういう特徴があります。これらの特徴を持った国が、環太平洋を囲んでいるわけで、今 TPP とかいろんな議論がされてますけども、持続可能な社会を考えると、ここで言っている、どのような指標を、われわれが考えなき

やいけないのかが重要になります。ここでは自律性と多様性の 2 つだけを例として挙げましたが、平等性のような他の指標をどうやったら表現できるのか。そういうことが必要になってくるんだと思います。

実際に、じゃあ Water-Energy-Food の関係がどうなっているのかを見てみましょう。リング・オブ・ファイアの 32 カ国で調べた例ですけども、Energy for Water、つまり水をつくるのにどれくらいエネルギーをかけてるかというものです。エネルギー消費が、水の生産にどれくらい必要なかということです。先程カリフォルニアの例で言ったように、アメリカがもう段トツに多量のエネルギー消費を、特に水の輸送でしています。その次は中国ですね。中国の場合はほとんどが水の輸送に係るエネルギーです。このアメリカのエネルギーのかけ方は、逆に言うと、水がないから、水を取るため、水を使えるようにするために、エネルギーを多量に使って水を確保する、そういう社会なわけですね。

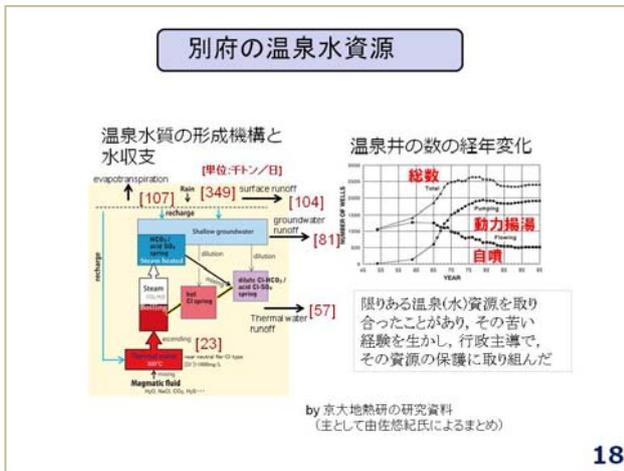
今度は Water for Food です。食料をつくるのに、どれくらいの水を使っているかということで、水産、畜産、果物・野菜、穀物についてのデータで、食料生産における水の使用量の総量は中国が一番大きくなっています。日本、あるいはインドネシア、フィリピンの場合は、水産に使う水の割合が 2 割~3 割に入っていて、ほかの国に比べて、水産にかける水の量の割合が大きくなっています。

それから食料にかけるエネルギーです。同じように、水産、畜産、果物・野菜、穀物に、どれくらいエネルギーをかけているかというものです。アメリカでは、先ほど言いましたように、水の輸送にエネルギーがたくさん使われているということですけども、日本、フィリピン、インドネシアでは、水産に使われている水・エネルギーの割合が、ほかにならべて高いということが、こういうデータから分かります。

これは国レベルのデータなんですけども、実際には、国と国との関係というのは、水は、あまりやり取りはないんですね。ボトル水ぐらいはありますけども、量としては微々たるものです。それに対して、食料とエネルギーっていうのは、輸送できます。国をまたいで多量に移動しています。国と国との関係の場合は、そういう問題があるん

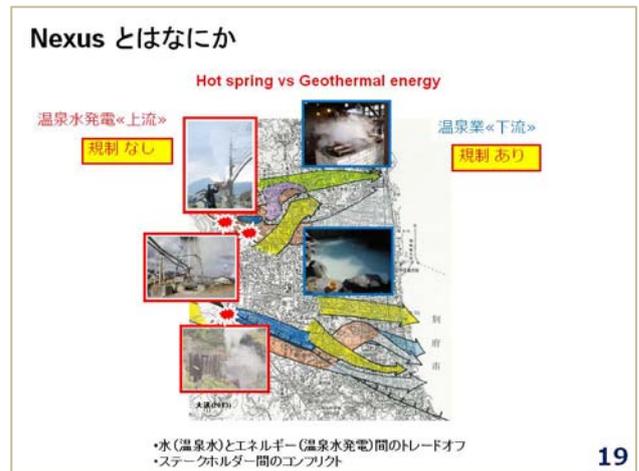
ですけども、国内の場合、水もかなり移動しています。もちろんエネルギーも食料も、国の中で動いています。

3. つながり（ネクサス）の具体例



例をいくつかお話したいんですけども、まず別府のネクサス問題です(図18)。温泉水の話ですけども、別府は皆さん行かれたことがありますよね。大分県っていうのは今、「おんせん県」って宣伝していますよね。温泉県として、売り出そうとしているんですけども、温泉開発の歴史が、ここに書いてあります。もともとは別府の場所というのは、温泉が自噴していたものを温泉旅館が使っていたんですけども、戦後、温泉の観光開発で旅館が増えていって、自噴している温泉だけじゃ足りなくなった。そうすると、先ほどの話の揚水、ポンピングで温水を揚げる、つまりエネルギーを使って温泉をくみだした。その結果、ある段階から、もともと自噴していた温泉が減ってきた。これはどういうことを意味しているかということ、温泉水の量というある一定のかたまりの量に、やはり限りがあったという事です。今まで自噴していた温泉だけで賄っていれば、まあよかったですけども、それ以上にお客さんが来たもんだから、動力をかけてエネルギー使ってくみ上げて、それでポンピングしていったら自噴が減っちゃった。これはどうも限りある温泉水なんだよってことは、この段階で分かるんですね。こういう経験を別府はしてきました。

その中で、今、一番問題になっているのは、地熱あるいは温泉水を使った発電です(図19)。別府温泉に最近行かれた方は、温泉街を歩くと、ち



よっと町が寂れてきていると感じると思います。旅館組合のおかみさんにいろいろ話を聞くと、後継者問題とか、日本が抱える問題そのものを抱えていると思うんですけども、そういう別府の温泉の歴史もあります。そういうところで今、3.11の問題もあって、再生可能エネルギーの開発ということで、地熱発電あるいは温泉水発電、地中水発電を含めて、発電の業者の方が、ここで発電したいということが入ってきています。そうすると、温泉水としても限りあるものというのが、これまでに分かっているんですけども、熱エネルギーとして、どれくらいのポテンシャル、容量があるのかと調べると、今まで温泉で使っていた温度が、ひよっとしたら発電でエネルギーを取ること、温度が下がっていったり、あるいは水自体が影響を受けたりする可能性がある。これが、いわゆる水とエネルギーの一つのコンフリクト、トレードオフの関係にあるというように思います。

具体的に言うと、別府の場合、温泉が平地のところ、自噴の温泉、あるいはくみ上げている温泉も含めてたくさんあるんですけども、その上流側に発電用の、温泉発電であったり温泉水発電であったり、そういうものをつくろうという計画があります。上流・下流問題は、国際河川を見ても分かるように、上流で何か問題があると、下流に影響があるのは当然ですね。別府の場合も、熱水の流れがだいたいどこを流れていくかが分かっています。水質の違う温泉が地下を流れているんですけども、その上流側で温泉水発電をする計画があるわけですね。この温泉水もいろんな問題があります。例えば旅館で使ったお湯を発電に使うという手もあるんですね。

そうしたらまあ、温泉とはコンフリクトはないですね。でもそうすると低い温度で発電せざるを得ない、効率は下がるわけです。

あるいは温泉水ではなく温泉の蒸気を使うというやり方もあります。ここは湯けむり温泉で有名です。水蒸気が多量に出ていますから、この水蒸気を使えばいいんじゃないかとなるわけです。今は、水蒸気は利用制限がありません。制限がなく、温泉には使えないから、みんなふたしているんですね。そのふたを取ってやると、水蒸気がパッと出てきて、それを使って発電すればいいんじゃないかという計画もあります。ただしそうすると、ここで熱が逃げていくわけですね。今ふたをしている蒸気の部分で、ふたを取って、それで発電しちゃうと、熱エネルギーが逃げていくわけで、そうすると、湧いてきている温泉水に影響があるかもしれない。そういう問題を抱えています。

じゃあ、どうしようかということで、われわれの研究の中で、温泉組合の人、温泉の利用者、あるいは温泉業界の人と、地熱開発、エネルギー開発に参入している方も含めて、どういう問題があって、どういうことを解決していったら、いわゆる合意が得られるのかということ調べています。まずは仮想の討論会をインターネット上でやりました。人選びが一番難しいんですけども、温泉に興味のある、例えば温泉愛好家とか、温泉地に住んでいる人とか、温泉業界の人、温泉組合の人とか、エネルギー関係の地熱発電をやっている業界の方とか、あるいは温泉地の行政の方とか、そういう温泉と地熱開発に関するグループを全国から選びました。それから、温泉や地熱開発に全く関係のない一般市民。いくつかカテゴリーを分けて、全部で150人で、50人ずつ3つのグループに分けて、ネット討論をやりました。まずどうしたかということ、専門家——温泉の専門家もいますし、地熱開発の専門家もいます——に、それぞれの専門の意見を出してもらいます。それを使って討論をしてもらう。討論をやる前に、「私は地熱開発反対です。なぜなら温泉が好きだから」というような意見を言う人もいるんですね。その討論する前の意見と、討論していった中で、どうその意見が変わっていったかを、研究としては調査するわけですね。で、論点をいくつか与えます。

まず最初の論点は、どれくらい知識があるかを

見るために、どういうことに興味がありますかとか、そういう聞き方をします。それから2番目は現状をお知らせします。今、別府では、こういう温泉の状況にあって、地熱開発の業者が入ろうとしていますという現状をお伝えするのが2番目の段階です。それから3番目に、将来こういう予測がある、危険性があるかもしれません、こう変わる可能性がありますというようなことを言います。こういうふうに順番に論点を与えて、2週間、インターネット上で討論していただきました。そのディスカッションを全部拾って分析していくんです。

いろんな結果が出てきたんですけども、一つは、地熱開発に対して中立の立場であった人が、賛成に回った方がいた、という結論がでました。そうしたことが、このネット討論では出てきました。これも、こういうやり方自体が、いろんな問題を抱えています。最初の専門知の出し方であったり、その前の討論者の選び方もそうですよね。それから、この問題の出し方もそうだし、いろんな分析上の問題点を抱えているのは事実です。しかしステークホルダー分析をやっている方の最新の手法を使って分析した結果、このネット討論では、地熱開発に対して態度を変えた人の多くは、中立の立場から、地熱開発賛成の方に回ったという結論が出ました。こういうようなことを、いま調べています。

具体的に、じゃあ、どんな問題があるかというのを、少し見てみたいんですけども、別府の場合、さきほど言った温泉の排水をエネルギーとして発電に使うということもあるんです。それ以外にも、いろんな問題があります。温泉排水っていうのは淡水ですけども、いろんな成分を含んでいます。別府の場合、ケイ酸がかなり大きいです。年間10トン以上のケイ酸が、温泉水から出て、川に流れて別府湾に流れていきます。このケイ酸というのは、窒素とカリウムと同じように生物にとって非常に重要な物質で、別府湾は非常に魚の種類が多く、たくさん魚が獲れる場所なんですけど、この別府湾の豊かな水産資源は、ひょっとしたら温泉排水からきてるんじゃないかというようなことを言う人もいます。

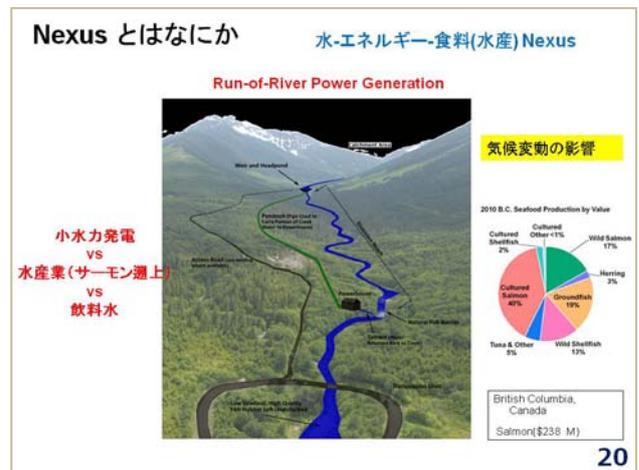
こういう、何かいいこともありそうなんだけど、温泉排水というものを見ると、温泉の中には、ひ

よっとすると健康にあまりよくない影響を与えるものはいっていない可能性がないわけではないかもしれない。量としてはそれほど多くはないとは思いますが、温泉排水一つとってみても、正の部分と負の部分があって、これは水を流すことで、今度は海側の水産資源に影響を与えるということですね。温泉排水を熱として見るという見方もあるし、もう一方で水産とのつながりとして見えてくるものもあるわけです。

それをちょっと調べようということで、温泉排水の影響が一番大きいと思われる、平田川という川があります。この周りに温泉がたくさんあって、温泉の排水をそのまま平田川に流しているんですね。別府では温泉の温度が高いので、下水の方に回せない。下水処理に回すと施設が壊れちゃうので、そのまま川に流してしまうというをやっています。その結果、平田川は温泉排水がたくさん流れています。一方、もう少し北側の冷川というのは、名前のごとく、温泉排水の全くない普通の川です。この冷川と平田川を比較してみると、温泉排水の多い平田川は、流入してくる温泉排水の平均温度が 40℃以上。もう温泉排水をそのまま、例えば自分の家のお風呂に入れば、入れますよね、40℃だから(笑)。それくらいの温水を捨てちゃっているんですね。そういう水が川に入ってきている。で、このエネルギーがどれくらいになるか研究員の山田さんが換算してみると 8000 キロワットくらいになります。某社のつくっているソーラーパネルの一番大きなタイプの 3 基ぶん相当します。これくらいのエネルギーが、今、何も使わずに平田川を流れて別府湾に出ている。これをどういうふうにか考えるかというのは、いろんな考え方ができますよね。

先ほど言ったように、温泉水をエネルギーとして使える可能性もある。ただ、その温泉排水が、ひよっとしたら別府湾にいい影響を与えていて、水産資源を豊かにしている可能性もある。逆に、変なものを流し込んでいて、健康被害を与える可能性もあるかもしれない。だから、まだ分からないことがいっぱいあります。そういう分からないところを明らかにしていくことと、それからもう一つは、どう使うかを含めて合意を形成していくという 2 つの問題があります。平田川というのは温泉排水の多いところですね。冷川の方は、いろ

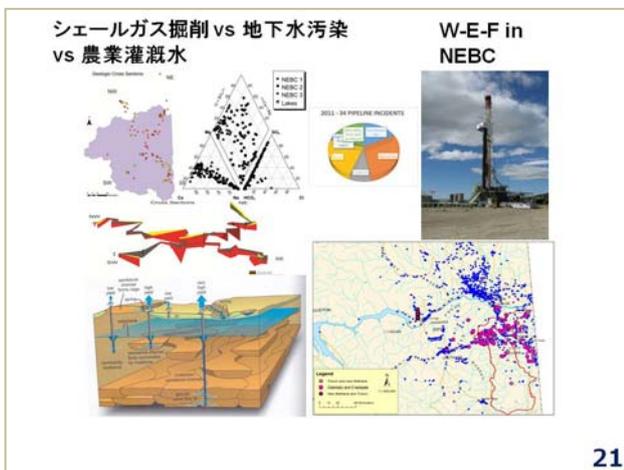
んな種類の魚がいるんですけども、平田川はティラピアが多量にいます。温泉排水がある影響で、熱帯性の魚が非常に増えています。温泉水一つとってみても、いろんなものにつながっているのが分かると思います。



もう一つ、違う例を示します(図 20)。先ほど言ったカナダの例なんですけども、カナダは、先ほどの国別の水・エネルギー・食料連環で見ると、それぞれ自給率が高い国です。そういう国なんですけど、これから気候変動が起きて、雨の分布が変わると予測されています。雨の降り方が変わると、ダムにためる水の量は変わってくるんです。どういうふうにダムを配置すればいいのかという問題は、気候変動の問題と非常に大きくつながるんですね。ダムは水力発電でエネルギーをつくれるものなんですけども、そのダムをどこにつくるかっていうのは、気候変動と非常に関連してくる。

もう一つカナダの場合、ダムをこれからつくっていくうえで、大きなダムをつくと生態系に大きな影響が出ますので、小さなダムである小水力発電所をつくっていかうという方針なんですけど、じゃあ小水力発電所をどこにつくればいいのか。小水力発電をつくる意味は、本流の川から、支流を作って水を引っ張っていき、その一部で発電するという考えですね。そうすることで、川を鮭がさかのぼっていくことを妨げないし、水も流れていく、エネルギーも取れる。何か Win-Win-Win のシチュエーションのように見えます。カナダのブリティッシュコロンビア州が、こういうものをつくりたいということを自治体に提案して、手を挙げてくださーいと言ったら、6,000 カ所も提案が

あったんですね。ただブリティッシュコロンビア州は、どこに小水力発電をつくったらいいかが分かんない。どこにつくったら、将来の気候変動も含めて、小水力発電によるエネルギーがたくさん取れて、かつサーモンの遡上（そじょう）を妨げず、また生態系を壊さずにできるのか。6,000カ所すべてに補助金も出せないし、じゃあどうやって決めればいいのか。そういう問題が、このネクサス（nexus）の研究をスタートするきっかけなんです。カナダの場合は、そういう6,000カ所のネクサスの指標化をしています。どれくらいの規模で小水力発電を行えばエネルギーが取れて、川の環境維持水量というんですけども、エンバイロメンタル・フローとしてどれくらいの水量があると、生態系への影響がどれくらいか。そういう指標化をしています。

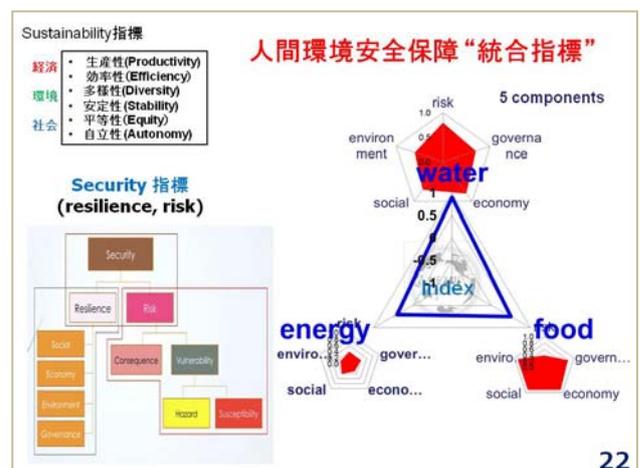


ブリティッシュコロンビアは、ずっとカーボンフリーの、いわゆる地球環境にやさしい政策を打ってきたんですけども、最近シェールガスが取れるということがあって、シェールガスの開発が始まると、少しまたニュアンスが変わってきているところがあります（図21）。シェールガスは、ご存じのように掘削技術が開発されて、深度3キロ、4キロという深いところに横掘りができるようになったことで一気に開発が始まりました。そういうところに、フラッキングといって水を注入することによってガスを抜き取る。だから、深さ3キロ、4キロのところ、今まで循環していた水を押し込めて注入するわけですから、もうその水は使えなくなるわけですね。その代わりにシェールガスを取り出せるわけです。地球全体の水循環に比べて、多分、注入する水なんてのはもう微々た

るもので、量としては非常に少ないんですけど、今まで循環していた水を、循環しなくなる水として注入することで、初めてシェールガスを使えるようになる。

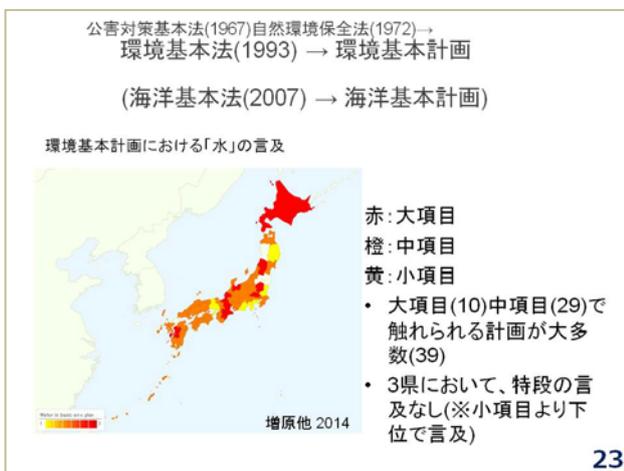
これがシェールガスの一つの問題ですけども、それだけじゃなくて、シェールガスを掘削している場所ってというのが、われわれが研究している場所は、その周辺の地下水を農家の人が使っています。そうすると、掘削すると、そこで地下水汚染の問題が起きます。シェールガスを抜き取る時の汚染だけじゃなくて、もちろん施設をつくること自体の問題があります。そういう地下水の汚染とシェールガスの掘削の問題があります。この間、ここで、いわゆるステークホルダー会議というのがありました。非常に寒いところで、30人ぐらいの、シェールガスの開発をやっている方と、行政の方、それからこういうことに興味のある一般市民の方がツアーを組んで、こういうところを見に行って、そこで議論するという会議があり、地球研の遠藤さんが参加しました。先ほどお見せしたネット討論のようなどころまでは準備はしてなかったんですけども、いろんな意見を聞くことができました。ここは今、研究としては始まったばかりで、ネクサス（nexus）の問題として、問題点は明らかになったので、次はこれをどういうふうに解決に結びつけるかということで、もちろんブリティッシュコロンビアの州の方に入ってもらっていますし、その下のレベルの市の方も入ってもらっていますので、そういう政策との関係性も含めて、プロジェクトの中では、やっていく予定になっています。

4. つながりの視点からの環境問題への対応



われわれが今、考えているのは、持続可能性のようなこういう項目を、何とか指標にできないかなということ（図22）。この辺がやっぱり理系の性（さが）で、数字にしたいんですよね（笑）。数字にもしできなかったら、こう何か、比較できる大・中・小でもいいから区分ができないかなと考えています。そういうものを考えたときに、一番上の概念として、安全・安心のようなものを置いて、それにはどんな項目がはまるだろうかと。さっき冒頭で言ったように、それぞれ矛盾するんですね。矛盾する項目が入っているのは承知のうえで、それぞれの項目を指標化していくという作業を今やっています。例えばリスクの大きさとか、環境の指標、それから社会の指標とか経済指標とか、ガバナンスの指標とって、これも難しいんですけども、こういうことをそれぞれ調べています。それで、水とエネルギーと食料、それぞれの指標をつくっています。

これは指標として、大きければ大きいほどいいのかというと、そうではなく、良い悪いじゃないんですね。現状がどうなっているかということを見せ、例えば水と食料とエネルギーのコンフリクトが起きたときに、どちらかを融通できるような状況が今あるのかどうかを見るための指標にしたい。トレードオフの関係があるのは分かっていますので、どこをうまく融通できるかということを考えるための指標にしたいと思っています。これもスタートしたばかりなので、実際のデータはまたチャンスがあったらお見せしたいと思います。



そのときに、いろいろな問題があるんですけども、一つの問題になるのは、グローバルレベルと

国レベルと市町村レベルとコミュニティレベル、これをどうつなげるかという問題が、一番大きな問題になります。それで、前回少しお話しした、水循環基本法というのが7月にできたと言いましたけども、その前に、環境基本法それから海洋基本法というのが日本でできています（図23）。これは国レベルでの法律ですけども、そういうものが地域でどういうふう位置づけられているかを見たのが、これです。例えば環境基本法の中に、水っていうことを定義した、水に関する環境の問題を入れ込んだ都道府県がどれくらいあるのかを、研究員の増原さんが調べてみると、39ありました。結構あるんですね。3県だけなかったようです。またそれを大きな項目で入れている県が、赤で示してあります。北海道とか山形、それから富山です。こういう県は、水が重要度として高いと思っているということになります。県によって、重要度が多分違うんですね。これは国が決めた環境基本法が、例えば水というものに関して、それぞれの都道府県でどういう位置づけをしているかを見る、一つの指標になるんです。東京は、これはどうですかね。多分、色は付いているから一番下の小項目ですね、きっと。黄色の色が付いていると思います。こういう調査もしているんです。



もう一つは、水循環基本法ができました（図24）。これを水循環基本計画という形で具体化しようとしています。地下水に関してはその特徴を考えて、ガバナンスを中央じゃなくて地方に持っていこうという案が出ています。という意味は、国が全ての地下水を一律に管理するんじゃなくて、都道府県なり、あるいは流域単位——これは今はできてないんですけども、流域単位でガバナンス

をするという、そういう素案です。これからいろんなところでパブコメを含めて意見を聞きながら、準備が進められています。

- 水・エネルギー・食料連環(ネクサス)のように、現象は連環しているのに、ステークホルダー・セクターが異なる問題をどのように統合的に解決するか
- コミュニティー・市町村・県・国・アジア・世界といった異なる行政空間での管理制度をどのように統合的に整理するか
- 世代・政治といった時間の不連続を乗り越えてどのように未来の可能性を担保するか

25

水資源の中でも地下水は非常に地域性が強く、使っているところと使っていないところがあります(図25)。そういうことも含めて、今の方向性としては、地方に権限を持たせるという方向で議論が始まっています。水・エネルギー・食料のネクサス(nexus)のように、ものつなぎとしては連続して連環しているにもかかわらず、それを使っているステークホルダー、あるいはセクターというものが切れている。これが地球環境問題の一つ目の大きな問題です。それをどういうふうにして、つなげていくか。これはイシュー間の統合と言うんですけども、問題をどれだけ統合して解決に向けられるかという重要な点になります。

2つ目が、コミュニティから市町村レベル、県、国、アジアというような地域、世界といった、異なるスケールのガバナンス、行政区画ですよ、そういうものが重なっているわけです。われわれは今は東京にいるけども、それは日本の中であるし、アジアの中で、世界の中であるという、そういう管理制度自体が重なっているわけですよ。それをどういうふうにして、齟齬(そご)なく統合的につくっていくか。これは空間レベルの統合という言い方をします。それからもう一つは、われわれが死んだら、子どもが、孫が、続いてくれるだろうと思いますけど、そこでやっぱり時間って何か連続しているようで連続してないですよ。政治が変われば、そこで変わってしまいますから。そういう時間の分断をどうやって乗り越えていくか。それは時間の統合と言うんですけども。そう

いう、イシューの統合、空間の統合、時間の統合、この3つが、地球環境問題の解決に向けて、一番重要だと私は思っています、いろんな場面で出てくると思うので、今日は水・エネルギー・食料の話ですけれども、常にこれを考えていきたいなと思っています。えっと、時間どうでしたっけ？

司会：あと10分ぐらい。

あと10分ぐらい。どうしましょう。質問をここで取った方がいいか、最後まで行った方がいいか。

司会：最後まで。

5. フューチャー・アース

グローバルな地球環境問題を議論するRio+20 (June, 2012)で明らかになったこと

- (1) 先進国と発展途上国との対立構造は20年前と変わらない
- (2) 科学と社会との関係性も20年前と変わらない(科学に対する不信感、社会への適用に対する限界(温暖化、原発、、、))
- (3) 地球環境科学に関連する個々の学問分野(discipline)は大きく進展したが、地球環境問題の解決には至っていない
- (4) Anthropocene(人類世)にふさわしい学問・科学と社会のあり方(共創)が必要

26

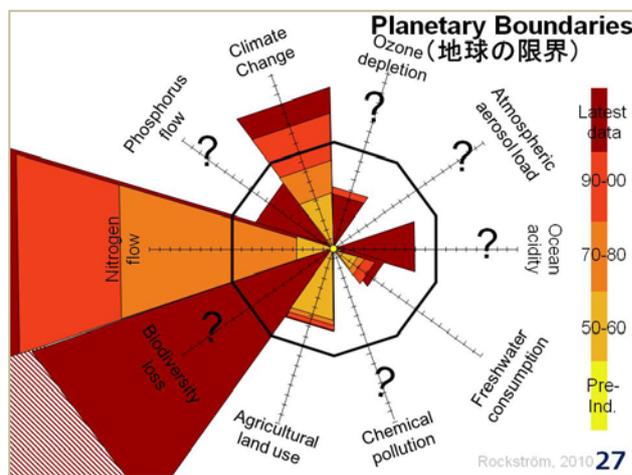
最後まで行きましょうか。ちょっとじゃあここからは短めに。今話したこういう問題というのは、非常に言うのは簡単だけど、本当にできるのかという問題があります。今日、皆さんのお手元にお持ちした資料の「フューチャー・アース」というのが、この問題を解決しようとしてつくられた、新しい取り組みなんです。取り組みのきっかけになったのが、こういうことだと私は理解していません(図26)。地球環境問題の議論というのは、ずっと昔からあります。リオのサミットもありましたし、リオ+20というのが2012年にリオでありました。もうそれから2年たちますけども、リオ+20で分かったことは何かというと、先進国と発展途上国の対立構造がほとんど変わってない。途上国の方は、やはり自分の生活をもっと豊かにしたいし、資源もたくさん使うだろうし、そういう

トレンドは変わらない。それに対して先進国は、先進国だけがどうして責任を負わなきゃいけないのかという話をしますので、先進国と発展途上国の関係というのは、多分、基本的に変わってないんだと思います。

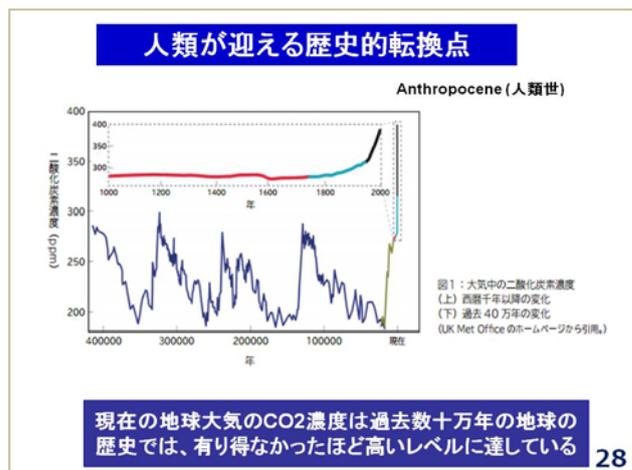
それからもう一つは、科学と社会の関係性というの、あまり変わってない。逆に、科学に対する不信感とか、社会への適用に対する限界っていうのが、もう見えてきてしまっている。これは温暖化の問題でなかなか合意に達せないとか、あるいはクライメートゲートみたいな話もありましたよね、データを改ざんしているんじゃないとか。それから原発の問題もそうですね。なかなか科学と社会の関係性というものが問題の解決に向かっていない。

もう一つ、3番目は、これが大きな問題なんです。地球環境問題の解決に資する学問分野はたくさんあると思うんですけども、それぞれの学問分野は非常に進んだんです、20年、30年の間で。気象のモデルはすごい精密になったし、生物の調査もすごい精密に行われるようになったんです。それぞれの学問分野の研究は進んだんだけど、じゃあ地球環境問題は解決したかという解決してない。温暖化は止まってないし、生物の多様性の減少は全然止まってないですよ。これがなぜかということで、もう一回、原点に立ち戻ろうというのが、「フューチャー・アース」という、新しい枠組みです。現在は、人類が地球環境に大きな影響を与えている「アンソロポシーン (Anthropocene : 人類世)」という新しい時代に入ったという意識のもとで、新しい社会と科学のあり方を考える必要があるんじゃないかというものです。「環境サイエンスカフェ」なんかは、そういうことを多分めざしてやっていて、日立環境財団もそうだと思うんですけども。こういう科学と社会の新しい形をつくっていく必要があるだろうというのが、フューチャー・アースという取り組みの元になっています。

もう一つ、科学的には、地球の限界ということが言われています (図 27)。ちょっと英語で分かりにくいですが、これは地球温暖化ですね。それからオゾン層の減少、海洋の酸性化、それから淡水の話です。化学汚染であったり、いろんな地球環境問題というのが、ここに挙げられていま

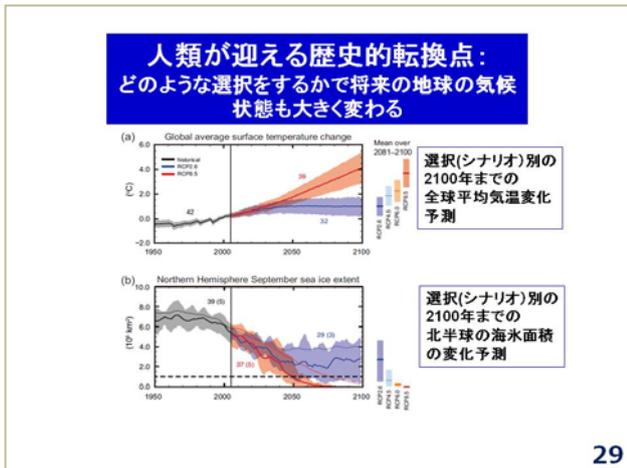


す。それから、これが年代ですね。1990年～2000年、1970年～80年代、年代が書いてありますが、産業革命前はこんなにちっちゃかった問題が、50年代、60年代、温暖化の問題だったり農業の問題であったり、そういうものが進んでいって、70年代、80年代に窒素の負荷の問題が非常に進み、それから90年代、2000年代には温暖化の問題、窒素はさらに深刻になっていると。こういうふうにして、これは一番最近ですね、生物の多様性の減少の問題が非常にクローズアップされています。これは『ネイチャー』の論文なんですけども、このグループが考えた、地球の限界という指標を超えているものが、温暖化と窒素と生物多様性の減少で、この3つはもう現在の地球の限界を超えている。という意味は、サステイナブルな状況ではないと判断をしているわけです。そういう状況に今あると考えているんです。

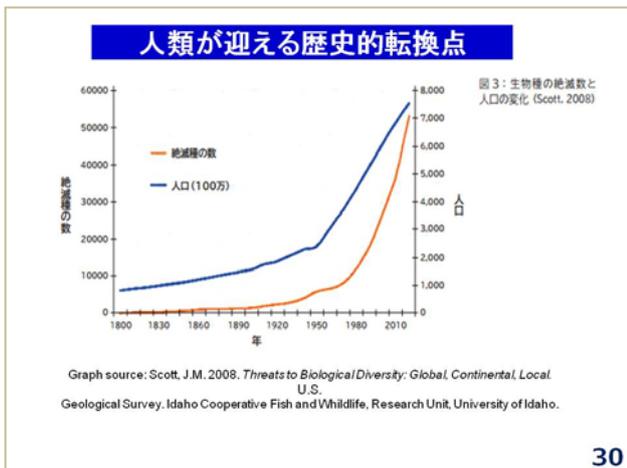


そうすると、これはよく皆さんが見られている大気中の二酸化炭素の濃度変化ですけども、最近になってこんなに急激に上がっている (図 28)。

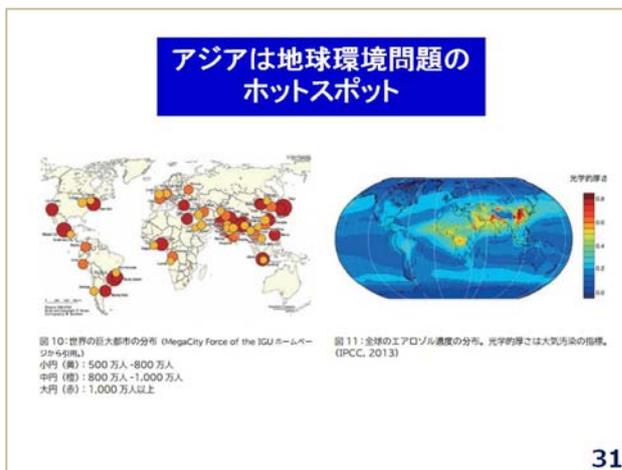
最近の 1,000 年だけを考えても、産業革命後、こんなに急激に上がっているわけです。これは、人類が迎える歴史的な転換点にわれわれはいるんだという判断をしないと、多分もう無理なんだろうというのが、科学者の考え方なんです。でもそれはもう 30 年前 20 年前に言われていて、研究者は一生懸命研究して調べて、でも解決には向かっていないわけです。



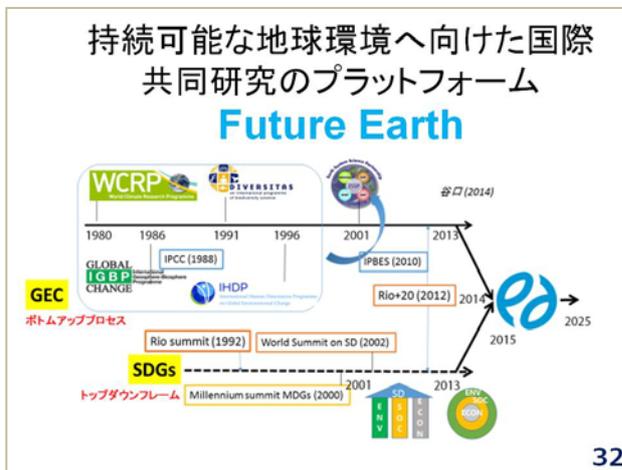
これは IPCC のモデルで、この前、出たものですが、対策しない場合 (business as usual) と、一番シビアな対策をした場合の違いですけど、一番シビアに対策しても、温度は今より上がるんですよね (図 29)。それなのに、対策しないと、もうこれだけ上がってしまう。あるいは対策しないと海氷がなくなってしまうような、そういうシナリオが出されているわけです。科学的には、こういうモデルの誤差も含めて——理系の人間なんです誤差は大事ですから——予測されているわけです。



また生物の絶滅種の数も、人口の増大とともに、



これだけ増えていってしまっている (図 30)。特にアジアは環境問題のスポットだと言われています。これはアジアのメガシティの分布ですけども、いっぱいメガシティが分布しています (図 31)。それからこちらはエアロゾルの濃度分布で、大気汚染の指標として使われますけども、アジアから排出される汚染物質が引き起こす問題が非常に大きい。われわれはアジアの中で先進国として位置づけられているわけですけども、こういう環境問題を発生している同じアジアに住んでいるわけです。

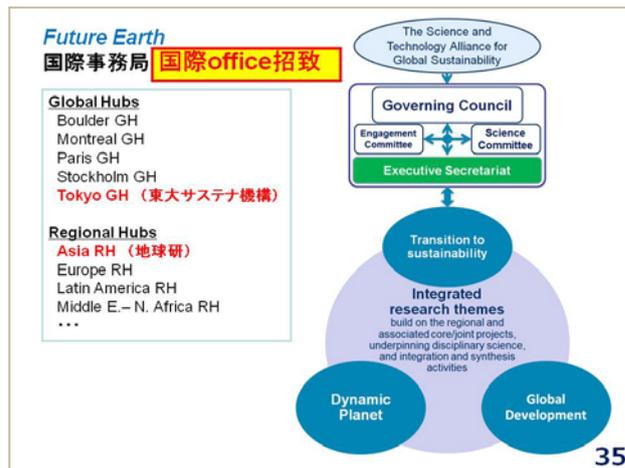


そういう位置づけのもとで、フューチャー・アースというプログラムが動き出して、実は来年からスタートします (図 32)。いろんな研究がこれまでやられてきたんですけども、それを全部統合しようという、かなり大胆なプログラムなんです。学術分野で言うと、世界学術会議というのがあります。日本の中にも学術会議があって、今日お渡ししたパンフレットは、地球研が中心になって作成していますが、日本学術会議から刊行されてい

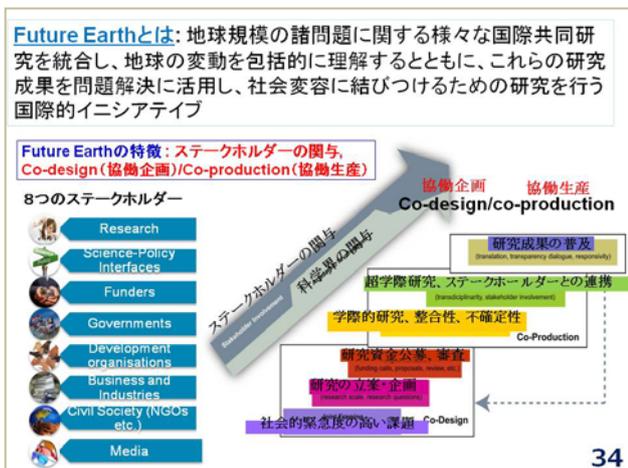
ここでステークホルダーというのを8つに分類していますけども、まず研究者ですね。それからメディアであったり行政であったり、ファウンダー、研究資金を出してくれる人であったり、市民ですね、NGOを含めた。そういう8つのカテゴリーをつくっていますけども、こういうステークホルダーの方と一緒に研究を進めていくという形を取っています。



ます。その世界版が、この ICSU (イクス) という国際学術会議です。このほか UN、国連のグループで、UNESCO (ユネスコ) とか UNEP (ユネップ) とか、国連大学 UNU (図33)。それから研究にお金を出してくれるグループも最初から一緒に中に入っています。そういう形でスタートしているんですけども、一番のポイントは、研究者じゃない方と一緒に研究をするという事です。今日の「環境サイエンスカフェ」のような形で、問題点を一緒に議論するところからスタートするというのが、このフューチャー・アースの特徴です。



少し組織の構造を説明すると、今、地球全体で5つのオフィスを置いています(図35)。これも各国はどこもやっぱりお金がないんですね。一つの国で全部をカバーするのは無理ってことで、5カ国で今グローバルハブのオフィスを分担して、この中には東大のサステナビリティ機構も入っています。もう一つはリージョナルハブというのをつくってまして、アジア地域のリージョナルハブとして、私の所属する地球研が担当しています。こういうグローバルとリージョナル、そして国レベル、そういうものをつくって研究を進めていくという体制を取っています。



その元になったのが、20年前と現在と、研究は進んだけど問題が解決してない理由は、最初の問題設定のところに、やっぱり問題があるんだという事なんです(図34)。研究者だけが考えている問題と、研究者以外の方の考えている問題に、多分ずれがあるんじゃないかということです。そういうのがあって、スタートの時点から、研究者以外の方と一緒に、問題の設定から始める。

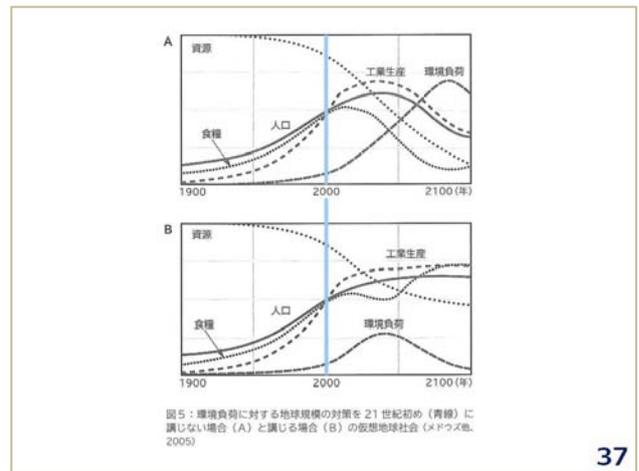
01 なぜ Future Earth が必要か	03
人類が迎える歴史的転換点	03
避けられない地球温暖化	04
急激に広がる生物多様性の減少	04
世界に広がる地球環境—地球・人間システムの危機—	05
成長の限界と持続可能な開発	05
問題解決研究の必要性	05
02 Future Earth とは何か	06
3つの課題とその統合	06
社会との協働を目指す研究設計	06
国際的連携体制	07
03 なぜアジアが重要か	08
集中する環境危機とグローバルなイニシアチブ	08
アジアと地球社会の持続性を求めて	08
04 なぜ日本が Future Earth を推進するのか	09
日本の強み	09
国内の制度環境	09
今後の挑戦	10
引用文献・参考文献	11

これは手元にお渡ししたパンフレットですが、質問形式になっています(図3 6)。なぜフューチャー・アースが必要か、それに対する答えを書いているつもりなんですけども。なぜアジアが重要か、なぜ日本がフューチャー・アースを推進するのか、そういう順番で書いています。それに対する答えになっているか分からないんですけども、最後のページに、課題をいくつか書いています。その課題は、まだ研究者目線だと思います。こんな課題が重要だと研究者は思っているんですけども、研究者以外の方はどう思っているのか。そういうことを最初の段階でちゃんと確認しながらやっていこうというのがフューチャー・アースというプログラムで、来年からスタートして、これからいろいろなところで多分ニュースになると思うので、ぜひ、そういうときにいろんな意見を出していただければと思います。すみません、今日は間に質問の時間を取りませんでしたけども、お話はこれで終わりにします。ありがとうございます。

◆質疑応答

Q 1：今後の課題というんでしょうか、そういうことについて、どんな感じを持っているかということを書いてほしいというようなご希望だったと思いますけども。これを見てですね、今、将来的なシミュレーションというのは、ずいぶんやれるようになってきているんですね。ただ、みんな、今からちょっと先までで、みんなやめちゃってるんですね。その後の、徹底した状態が、一体何をもち得るか。たくさん可能性があるから、末世思想ですか、とにかく将来のあれが絶望っていうようなことも入れる必要があるし、希望に満ちているという言い方もできると思うんですね。だからその、どういうことが起こるかということ、もう少しサイエンティストに出してもらいたいというのが、われわれの希望だと思うんですけども、どうでしょうか。

谷口さん：はい。非常に重要な点で、お配りしたこの資料の5 ページ目の図5 のところに、皆様ご存じの、成長の限界の新しいバージョン、2005 年に出たものから、これ取っています(図3 7)。モデルっていうのも、非常にそれぞれ項目によっ



37

て精度が異なります。ご存じだと思いますけども、精度がかなり違います。いわゆる自然科学のモデルの精度と、社会科学のモデルと、これを組み合わせたものが、この図5です。これは概念的なものに近いモデル結果です。一番最初のところで、水が真ん中にある地球環境問題のモデル化の図を見せましたけれども、それぞれ、モデルの精度がやっぱり全然違うと思うんですよ。例えば人口の予測モデルとか経済モデルとかと、雨の降り方のモデルあるいは気温の変化のモデルっていうのを、同じモデルの中で、最終的にはあわせる必要があると思うんですけども、今の段階は、そのそれぞれの項目のモデルの精度がかなり違う。そこが一番大きな問題だと思うんですよ。そうは言っても、統合的にものを考えていくという立場に立つと、精度の違うものを一緒にしていくしか、今のところは手段がないんです。その中で言えることで、もちろん誤差も大きくなるだろうし、将来的な問題として、どこが、しきい値みたいなものがあるかどうかも含めて、違う種類のモデルをどうやって合わせていくかというのは一番難しいことだと思います。ヨーロッパなんかでは社会モデルをかなり精密にやっているところはあるんですけども、やっぱり自然科学のモデルに比べると精度が落ちますし、なかなか予測のところは難しいというのが現状だと思います。

司会：よろしゅうございま……あ、ご質問？

Q 2：はい。すみません、今、原子力が止まっているので、揚水発電がどうなってるかというのが一つ教えてほしいのと。それから水力を今後もっ

と活用していく、開発していこうというとき、マイクロ発電という形で、今、沢や何かの小型の発電をしていこうと、発電機をつくったりしている。その精度を高めるのはいいんですけど、その辺の地形に合わせたいろんな問題が発生するんじゃないかとかいう件で、水力発電はこれからどういう形で力を入れていこうという方向になっているか教えていただきたいんです。

谷口さん：はい。私の分かる範囲でしか答えられないんですけど(笑)。まず一つ目は、原子力発電の場合の、揚水発電？

Q2：要するに、深夜電力で水を揚げておいて、それで必要時に落下させて発電するというシステムですね。

谷口さん：揚水発電については詳しくないんですけど、水力発電については多分、国によっていろいろスタンスに違いがあると思います。日本の場合、大きなダムはもうこれにつくらないというか、逆に、どういうふうにして維持するか、あるいは廃棄していくかという方に向かうと思いますが、小水力の場合は、まだこれから広がっていく可能性はあると思っています。小水力のポテンシャル図というのが、つくられてきています。どういう地形であれば小水力発電に向いていて、どういう場所であれば小水力発電がより効率的にできるかというポテンシャルマップができてきています。ただ、ポテンシャルはあくまでもポテンシャルであって、それはエネルギーを小水力から取る可能性のある場所という意味なんです。そこで実際に小水力の施設をつくるとなると、一つ問題になるのは、水利権ですね。水利権の設定がありますので、それは今、途中で話しした水循環基本法ができて、基本計画がつくられて、水利権のところに切り込むには、まだまだ時間がかかると思うんですけども、そういうところまでいくと、その水利権の問題がからんできます。

それから、カナダの場合は、**detour** と言って、水を迂回(うかい)をさせて使いますが、日本の場合は、どっちかと言うとその場所で小水力発電としてつくる場合が多いと思うので、そうした場合の、生態系への影響は一つあります。それに

関しての調査はいくつか進んでいまして、先ほどのカナダのグループなんかは、どれくらいの水の量を減らすと、どういう影響があるかとか、少しずつですけども分かってきています。小水力発電が、どれくらいこれから進むかは、私には分かりません。このネクサス(nexus)で見ていただいたように、日本は多分、水はそんなに困らないと思います。エネルギーと食料は、多分、問題が多い。そういう意味から言うと、水を使ってエネルギーをつくる方向性は、多分あるんだと思います。それをやったときに、他にじゃあどういう影響があるか。そこをちゃんと調べていくっていうのは重要です。アメリカはエネルギーを多量に使って水を確保する。日本は、エネルギーを取るために、水は多分、使えるだろうという、そういう姿勢というか方向性はあるんだと思います。ただ、どこまでそれが、具体の数字で、というところは、これからだと思います。

以上