

## 地球環境変化研究における世界気候研究計画 (WCRP) と地球圏生物圏国際協同研究計画 (IGBP) の役割

名古屋大学 教授 安成 哲三

ただ今ご紹介にあずかりました名古屋大学の安成です。私に与えられたテーマは、国際協同研究プログラム、特に地球環境学ということです。

先ほど立本所長のほうから、環境科学でなくて環境学であると言われましたが、私はここでは「科学」と書いています。英語では、学はスタディーズです。科学はサイエンスですが、国際的なコミュニティでは、サイエンスとスタディーズはあまり区別されていないように思います。日本の場合、立本さんが言われたように、確かに環境科学というのは、1970年代ぐらいから、特に日本の大学、あるいは文科(文部)省などの研究費の中でそういう名前ができて、それで環境科学といわれるようになりました。ただし、日本の環境科学は、当初、非常に自然科学的な視点によっていました。そういう意味で環境科学というのは少し狭いというので、多分言われたかと思いますが、国際的にはエンバイロメント・サイエンスというのは決して狭くはなく、スタディーズと同じ意味だと考えられています。もちろん大事なポイントは、所長も言われましたように、人間の部分を含めた地球システムの研究ということです。

実は、地球環境の国際的な共同研究プログラムは、1980年ごろから始まっています。まず最初に、地球環境研究における国際共同研究というのは、あまりなじみのない方も多いかと思います。あるいは、なぜそういうものが必要なのか、研究というのは個人の発想によって自由にやればよいではないかという考えを持っておられる方がたくさんおられます。それはもちろん研究、学問

の基本だと思いますが、地球の環境、あるいは地球システムの研究という意味では、それだけではどうも進まない、あるいはそれだけではできない面があると思うのです。

そういうことで、私は4人のトップバッターということで、地球環境研究における国際共同研究プログラムというのは、そもそもどういうものがあって、どういう意味を持っているか、最初にそのお話をしたいと思います。

現在、国際科学会議(ICSU)が特に関係している地球環境の国際共同研究プログラムとしては、4つ大きなものがあります(図1)。私が特に今回ご説明します世界気候研究計画(WCRP)、地球圏生物圏国際協同研究計画(IGBP)、地球環境変化の人的側面に関する国際共同研究(IHDP)、それから昨年度大きな会議が名古屋でありました生物多様性科学国際協同研究計画(DIVERSITAS)、この4つが現在も進められております。

図1にESSPと書きましたのは、この4つをいろんな意味でクロスカットしていく面が出てきたということで、この4つのプログラムを連携させるための仕組みとして、地球システム科学パートナーシップ(ESSP)というのが、2001年以降に設立されました。ただ、今後はどういう形で連携をしていくかということ、今、国際的にもいろいろ議論があって、また別の形で進む可能性があるので、ESSPの説明は今回はいたしません。特に私に課せられたのは最初の2つです。

そもそもなぜ国際共同研究プログラムという

ものが地球環境研究に必要なのかその理由をいくつか考えてみますと、まず、地球は基本的にシームレスなシステムであるということがあります。大気、海洋、地表面の物理、化学、生物学的プロセス、それからもちろんそこに人間がいる。それらがシームレスにつながっている。それを全体として理解していくには、非常に膨大な作業を必要とします。特に、まずデータを取らないといけません。そのときに、個人的な研究で取るのはかなり限られてしまいます。個人的に取れる部分があっても、どうしてもそれに関係した広範なデータが欲しいということは、当然、地域の環境を含めて地球環境をやっておられる方はいろいろ感じていると思います。そこで、地球全体としてどういうデータ、情報を取得していく必要があるかが問題になります。特に国をまたがった観測データの取得が必要不可欠です。今、問題になっている地球温暖化でも、実際にどうグローバルに気温が変化しているか、まずそういうデータがないと議論にならないわけです。あるいは生態系がどう変化してきているか、これもデータが要る。

これには地面を這いずり回って観測するということと、それから最近では人工衛星を使ったりリモートセンシングで広範に情報を得るということも同時にやられています、その両方がもちろん必要です。そういったデータを取っていかないといけない。それから取られたデータを国際的に共有して、みんなが使える形にしていけないといけない。さらにそれをちゃんと保存しておかないといけない。つまりアーカイブする必要がある。こういったことを考えると、これはとても個人の努力だけではできません。それからもちろんその成果を、地球上にはいろんな人たち、あるいはいろんな立場の方がおられますから、いろんな形で国際社会に貢献していく必要がある。ということで、やはりある程度目的を絞ったいくつかの地球環境のプログラムが進んでいかないといけない。さらにそれぞれが連携する必要があるということになるわけです。

得られた知識、データに関して、国際的に知識・情報の交換を促進するいわゆる国際学会というものは昔からあります。もちろんそこでは実際に得られた結果の議論だけをしますが、その前提となるデータを取る、あるいはそのデータを取る仕組みをどうやってつくっていくかといったところも、地球環境の場合は必ず要るわけです。そのために国際共同研究プログラムというのが必要になっていく。

例えば気象データですと、世界気象機関(WMO)というのが国連の一部にあって、そこで毎日気象観測をしている。そういうデータはもちろん提供されますが、そういうデータで議論できることは非常に限られる。もちろんそれはベースには必要ですが、それ以外に環境研究に必要なデータがたくさんあります。そういうものは、国際共同研究プログラムの一環として進めていく必要があるということになります。

さて、世界気候研究計画(WCRP)に、私は1990年ごろからいろんな形でかかわってまいりました。これについて、まず最初に簡単にご説明します。このプログラムは、世界気象機関(WMO)、国際学術連合(ICSU)、それから海洋学の研究を進めているユネスコ国際海洋学委員会(UNESCO-IOC)の合同で進められております。

WCRPの目的は、気候の予測可能性を究明する、これが一つです。それからもう一つは、気候に対する人間活動の影響を究明する。多分ここにおられる方も、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)というのは、名前のご存じかと思います。いわゆる温暖化の予測結果を踏まえて、各国が、例えば温室効果ガスをどう減らしていくか、あるいはどういう形で政治的に取り決めをつくっていくかということの基礎となるような、気候に対する人間活動の評価をきっちりやらないといけない。この活動を担っているのがIPCCです。

実は、WCRPというのは、IPCCの、特にワーキンググループ1と言われている、科学的な基礎情報を出す研究を基本的に担っている国際研究

プログラムです。後から少しご紹介いたします。この WCRP の下には 4 つのサブプログラムがあります。GEWEX、CLIVAR、CliC、SPARC です。GEWEX というのは、全球エネルギー・水循環を扱います。地球の気候システムというのは、基本的に太陽エネルギーが地球の表層システムでどう分配されていくか、その中で水が非常に重要な役割を果たしますが、それがどういうプロセスになっているか。それから特に地球の気候システムの基礎的な理解をする。そのためのデータをちゃんと取っていく、という仕事です。

CLIVAR というのは、気候の変動性・予測性研究計画と言っていますが、特に将来予測を気候のモデルを使って進めていく、あるいはそのための必要なデータも取る。特にこの 2 つが全球スケールです。

あと 2 つある中で、CliC (寒冷圏と気候) というのは、特に北極圏や南極圏、あるいはヒマラヤの高山域とか、いわゆる雪氷など寒いところは気候に対して非常に敏感であるということ、あるいは氷河や南極、グリーンランドの氷床みたいなものが今後どうなっていくかといったことも含めて研究する。

我々が住んでいるのは地球の対流圏というところですが、その上に成層圏という別の構造を持った大気の層がある。オゾンホールというのは皆さんご存じかと思いますが、オゾン層がこの成層圏にあって、人間活動の影響も含めて地表面付近の気候と密接に関係している。SPARC はそのような対流圏—成層圏相互作用プロセスをきちんと研究するというようなサブプログラムです。

今日は時間もありませんので、最初の 2 つについて簡単に紹介したいと思います。皆さん、どこでどれだけ雨が降っているかを知るといのは、当たり前のように思っているかもしれませんが、地球上の降水量の算定ということ自体を考えても、実はこれは大変な仕事です。地球の表面の 7 割を占める海洋上の降水量をどうやって測るのか。最近、やっと人工衛星データが出てきました。そ

のための地上のデータも大幅に増やしていくとか、あるいは衛星データと地上のデータをつないで、1979 年以降、やっとなん信頼度が高い降水量のデータセットができました。これも GEWEX の中の全球の降水気候学をつくっていくという一つのプロジェクトで進められてまいりました。

例えば図 2 には、1979 年から 2008 年、ちょうど 30 年ぐらいでどのぐらい地球全体の降水量が変化してきたかといった図が示されています。最近、この赤いところ、エルニーニョの地域は雨が増えている一方で、フィリピンとかボルネオの辺りは、むしろ若干降水量は減ってきているということが、やっとなん分かってきたということです。これも WCRP の、データを作るという仕事の一段です。

それから各地域、流域ごとの水の循環というのは、各国の水資源の問題にとっても非常に大事で、地域ごとにいろんなプロジェクトがあります。アジアモンスーン域で私たちが直接やっておりました GAME (アジアモンスーンエネルギー・水循環観測研究計画) は、この WCRP の GEWEX プログラムの中でやっていたのですが、現在もその次の計画が進んでおります。さらにほかのアマゾン地域とか北米、アフリカ大陸、いろんなところでその地域、流域スケールの水文気候の観測研究計画が進められています。

ここで大事なことは、先ほど申しましたように、観測データというのは基本的に世界の研究者、あるいはその研究に必要な方々に公開して提供するということです。これは WCRP の非常に重要なポリシーで、特に世界気象機関が絡んでいるということもあって、これが満たされないと、WCRP の研究計画とは認められないという約束になっています。

CLIVAR は、気候の変動性・予測性に関するプログラムですが、ここはいろんなサブプロジェクトがあります。例えば、海洋が一体どういう変動、変化をしているかということも、系統的な観測をしないとなかなか出てきません。昔から商

船なんかを使って海面の水温を測るというのは細々とやられていましたが、現在は、図3のように、Argo float というのが世界中に3千点以上放り込まれていて、これが自動的にある程度の深さまでもぐってデータを取って、浮かんできたときにデータを衛星に送って、センターに集められます。こうして海洋表層約1,000メートルぐらいまでのデータがやっと世界中で出てきました。こういうデータが蓄積されることによって、例えば温暖化が海洋にどういう影響を与えているか、海流がどう変わってくるかというような話もできるようになってきました。

皆さん、「The Day after Tomorrow」という映画を覚えておられるかもしれませんが、あれは北大西洋で温暖化すると、かえって海が運ぶ熱量が氷河期と同じように減っていく、そうすると、温暖化が氷河期を発生させるのではないかという映画ですね。そういうことが本当かどうかということも含めて、きちんとデータを取っていく努力が非常に重要だと思うのです。

しかし、WCRPは社会にどういう形で役立つかが、今、特に問われています。2005年から2015年までの新しい戦略的計画の一つは、「社会に直接関係し、役に立ち、価値のある実際的な応用に供することができる地球システムの変動・変化の分析と予測を促進する」というものです。これはデータを取るということも含めてです。まずデータをちゃんと取って、それでシステムを理解して、システムの理解をもとにモデルを構築、それを良くして行って、予測に役立つ。実は、こういう努力を経て、現在のIPCCの報告があるということ念頭に置いていただきたいと思います。

図4はIPCCの2007年の報告に載った幾つかの経済成長シナリオに基づく温暖化予測です。この予測研究を担ったのは、WCRPの中のモデリングのコミュニティーであるということです。ですから、WCRPは基本的に広い意味での気象学者、気候学者の集まりですが、社会のいろんな形の要請に応じて観測とモデルによる予測を進めていく。

簡単に言えばそういう形になるかと思います。

IPCCはご存知のようにノーベル平和賞をもらいました。IPCCの一番新しい2007年の報告書では、WCRPの関係研究者はいわゆる著者とレビューアーのうち、大部分を占めています。

今後のWCRPの一つの方向としては、図5に示すように、いろんな形の国際、国内的な緊急の政策的課題に対応して、サイエンスとして、研究者コミュニティーとしてどうすべきか考え、さらにまた政策のほうに発信できるような情報提供をしようというサイクルを考えています。ですから、科学者の社会における役割という視点を踏まえて、WCRPのこのコミュニティーは動きつつあると理解していいかと思います。

一番新しい今後のあり方として、特に現在、気候変動に対してどう適応していくかという問題があります。それからどういろいろな軽減策を出していくか。この議論が、例えばこの会場で開催された国連の枠組み条約（UNFCCC）でも行われていますが、これの基礎となるデータや、基本的な情報提供を行っていく。表面的にはIPCCがこのデータを出していますが、実はIPCCの科学的な基礎を担っているのは、WCRPのコミュニティーなのです。

もう一つ、グローバルな気候の観測システムには、WCRPとは別のNASAとかJAXAとか衛星観測を展開している国家機関なども入った国際的枠組みがありますが、これらの機関による衛星データとWCRPが別個にやっているデータも合わせて、モデルで予測につなげていく、あるいは応用につなげていく役割を果たしております。

さて、IGBP（地球圏生物圏国際協同研究プログラム）は、WCRPとある意味で兄弟のような、あるいは姉妹のようなプログラムではあります。ただ、このプログラムは国際学術連合（ICSU）だけが主宰している。だから、よりピュアな研究者のコミュニティーが進めているということになります。

IGBPの目的は、地球システムのダイナミック

スに関係したプロセスとその相互作用の解明です。それから地球システムの変化の解明ですね。これらの変化における人間活動の役割の解明が重要なタスクです。大事なことは、人間活動の役割というものをどう評価するかということです。

特に IGBP は、設立当初から、現在問題になっている地球の持続可能性 (sustainability) を進めていくための科学的な知識を提供する、あるいは考え方も含めてということになるかもしれませんが、特に知識を提供するという視点が、はじめから非常に強くあります。ここが WCRP とは少し違います。

昨年 9 月に出された新しいビジョンとしては、特に現在、地球の気候を含めた環境変化が非常に急激に進んでいますが、その中で「社会を持続可能な道へ導くために不可欠な科学者としての指導力と地球システムの知識を提供する」ということがあります。科学的なリーダーシップを取っていかないといけないという意識が非常に強い。これは ICSU という国際学術連合の下でやっているということも関係していると思います。

WCRP は、科学者として社会にどういうデータとか知識を提供できるかという、少し離れた立場ですが、IGBP のほうは、より sustainability を良くするためにどういうことをしないとイケないか、あるいはどういう方向を考えるべきか、そこまで含めるという方向性が、最近さらに強くなってきています。

IGBP のコアプロジェクト (図 6) については、一つ一つ説明はいたしません、基本的に地球システムにおける多圏間、大気、海洋、陸面、大陸に関するプロジェクトがあり、それぞれが相互作用するということです。特に IGBP は、それぞれの圏 (スフェア) 間の、炭素循環や窒素循環など、物質循環というものにフォーカスしています。即ち、WCRP が気候システムの基礎であるエネルギー、水循環の解明を中心にするのに対し、IGBP は、どちらかと言うと生物圏を含む物質循環を切り口にしています。海洋にフォーカスした

もの、あるいは大気と海洋の相互作用にフォーカスしたコアプロジェクトなどいろいろあります。

WCRP は 1980 年からですが、IGBP は 1987 年からと少し遅れて始まっています。特に最近、IGBP でいろんな議論が行われていまして、持続性のための科学という視点が非常に強くなってきている。そのために、IHDP、DIVERSITAS、それから START (これらの国際プログラムを進めるための一つの支援システム) などと連携あるいは融合して動きだそうとしています。これらは全部 ICSU という国際学術連合の下にありますので、ある意味で ICSU の主導の下にやられるわけです。

IGBP は最初、特に地球圏と生物圏、バイオスフェアといいますかエコシステムの変動、いわばあまり人間も絡まないようなプロセスの理解というのが中心だったのですが、最近では、地球のシステムと人間活動、人間圏の変動とそのプロセスの理解という方向がより強くなってきています。

実は今、IGBP を中心に、まだ計画中ですが、一つのクロスカットの新しい提案がなされています。例えばこれは次に述べられる IHDP との共同プログラムということのようですが、地球の歴史における人類と、気候や生態系などを含めた自然の相互作用を理解して、それをベースに未来への持続可能性につなぐという IHOPE というプロジェクトなどが、今、動きつつあります。

この IHOPE というのは、基本的に気候変動などを含めた自然変動、生態系の変動、それから人間活動、この 3 つの相互作用を、現在の状態ではなくて、人間活動が始まった、約一万年前からどうなってきたか、その過去一万年、一千年という相互作用の歴史を見ながら、人間社会が非常に危なくなったときもあったけれど、それはなぜそうなったかということを考える。それに対して、どういう解決を取ったのかという知見を将来に生かしていこうという、ある意味でそういうプロセスです。

図 7 は過去 10 万年の地球の気温の変動を示し

ています。1～2 万年前から前が最終氷期ですが、実は私たちの文明、特に農業が始まったのはざっと一万年か 8,000 年前です。気温でいくと、その前の氷期が終わって温かくなっただけではなくて、非常に安定的な気候になった。変動の度合いから見ても、氷期にはすごく大きな気候変動があり、この時期を我々の祖先は狩猟などで頑張って生きてきたわけですが、今の文明の発展は、氷期の後に起こっている。だから、気候が非常に安定した良い条件といえますか、特殊な条件で現在の人類の文明があるという認識が非常に大事な意味を持ちます。この辺が IHOPE のアイデアのベースになっています。

現に過去数十万年、例えば CO<sub>2</sub> の温室効果ガスは、図 8 に示すように、氷期、間氷期で 180ppm から 280ppm の間を非常にきれいにサイクリックに変動していたのが、人間活動によって特に最近の 100 年、200 年、急激に増えて、現在、既に 380ppm で、さらに非常に急激な変化をしています。このように人間活動の影響が顕在化してきた時期を IGBP のコミュニティーは、これまでの歴史と区別して Anthropocene、人類世と名付けています。私たちが生きる人類世は、人間活動がいろんな形で急激に気温など地球のシステムを変えているのだというこの認識をまずすべきであり、そして、これに対してどうすべきかということを考えねばならないということです。そして、図中の赤線で示すように、現在から 100 年間でかなり大変なことになるのではないかと IPCC などでは予測しています。

最近、IGBP は、地球の限界(Planetary Boundaries)というアイデアを出し、地球環境変化のいろんな指標を設けています。これはスウェーデンのロックストルム教授などが言い出したアイデアですが、要するに温暖化だけではないということです。例えば窒素の循環とか物質の循環から見ても、地球はもう大変な状況になってきているということです。

例えば、図 9 は肥料による窒素の負荷をグロー

バルに表しています。こういうマッピングもこの国際共同研究で出てくるわけです。アジアもヨーロッパもアメリカ大陸、アフリカ大陸も相当限界に来ているとわかるわけです。ということで、図 10 は、地球のシステムの限界状態に関連するいくつかの Planetary Boundaries (PB) 指標を設けて、それが今現在どういう状況になっているかということを見ましようということです。例えば窒素などは、これが安全限界とすると、完全に許容限界を超えていますということなんです。生物多様性もかなり大変な状況になっています。だから、決して温暖化だけではなくて、温暖化以上に、人間活動は物質循環と生態系に非常に大きなインパクトを与えている。この辺をどうすべきか考える必要があるということです。

これが最後の図になりますが、IGBP はより突っ込んで、こういう問題に対してどういう形の解があり得るかを考えていかなければいけないというスタンスです。WCRP は、基本的に地球の気候システムのモニタリングとモデリング、それから人間活動の影響の定量的理解と、社会の要請に基づく気候の変化予測をやる。そして地球システムというのは、単に気候だけではなくて、生態系だとかいろんな物質の流れとかいうものを含めたシステムですが、IGBP と共同でそのシステムをさらに予測できるようなモデリングをつくりましようということを、今、進めています。IGBP は、物質循環を基礎にした地球システムの理解、それからこのシステムにおける人間活動の役割の理解を、より持続可能性という視点で考えていこうとしています。WCRP、IHDP、DIVERSITAS と連携した持続性科学の構築というのを、IGBP は特に最近の大きなタスクとして掲げております。

以上で私のほうからのこの 2 つのプログラムの紹介を終わります。どうもご清聴ありがとうございました。(拍手)





図 1

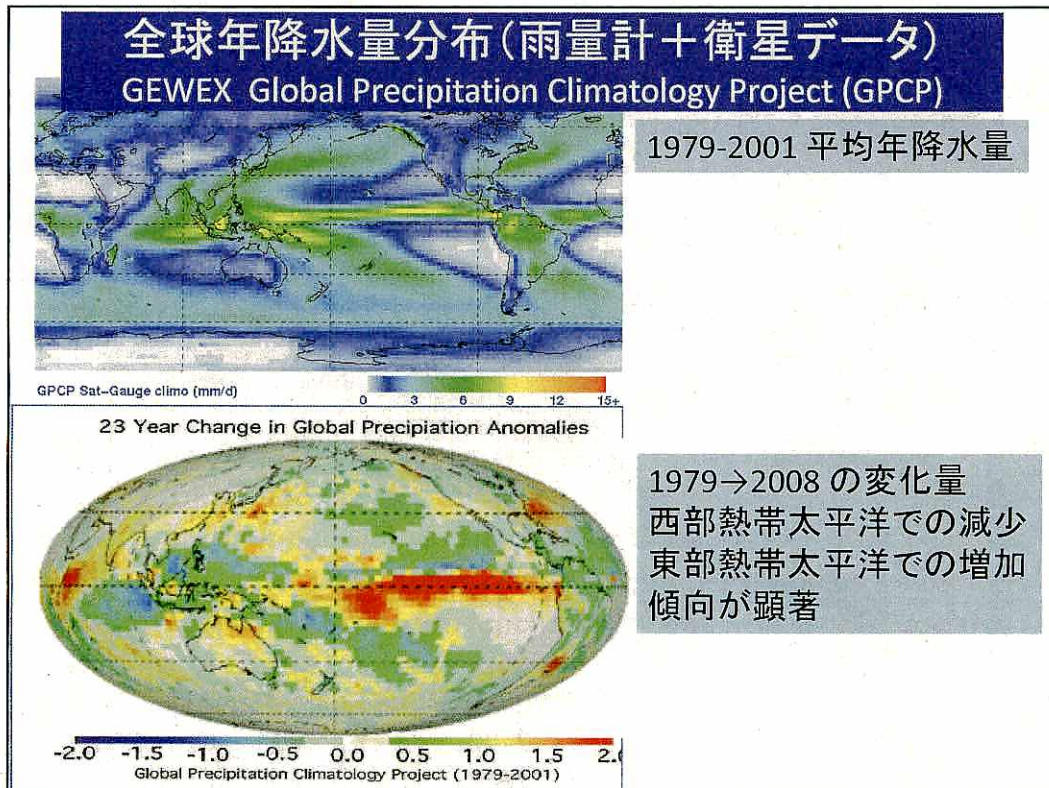


図 2



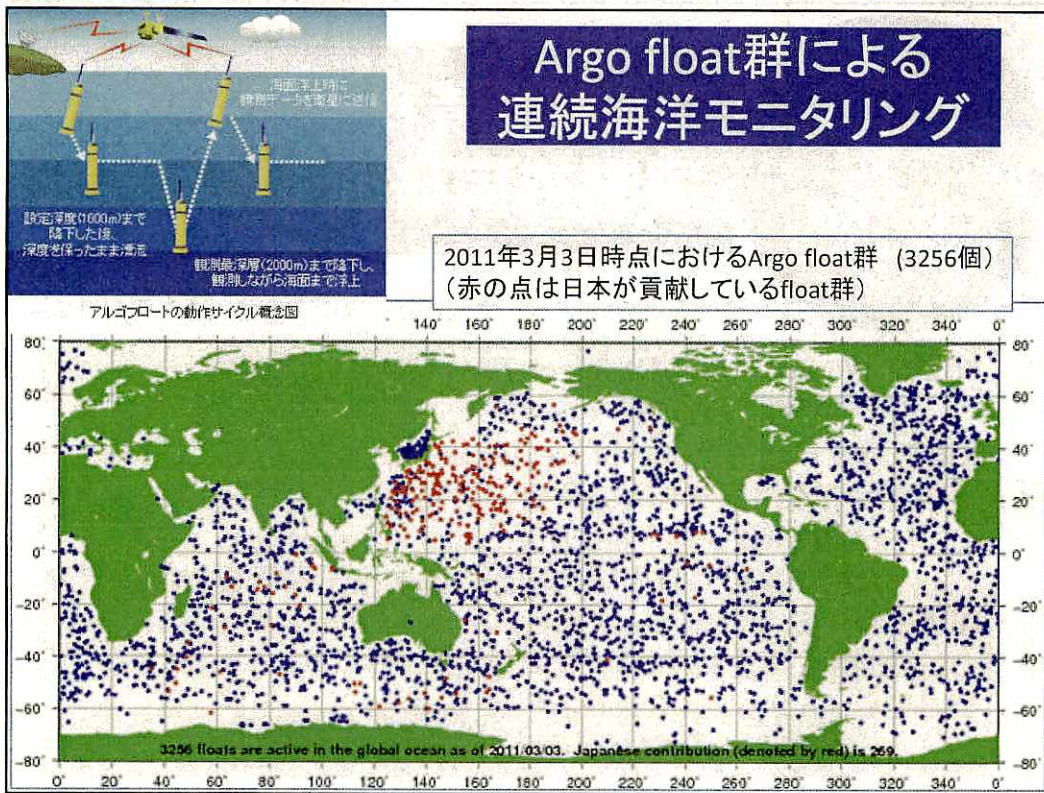


図 3

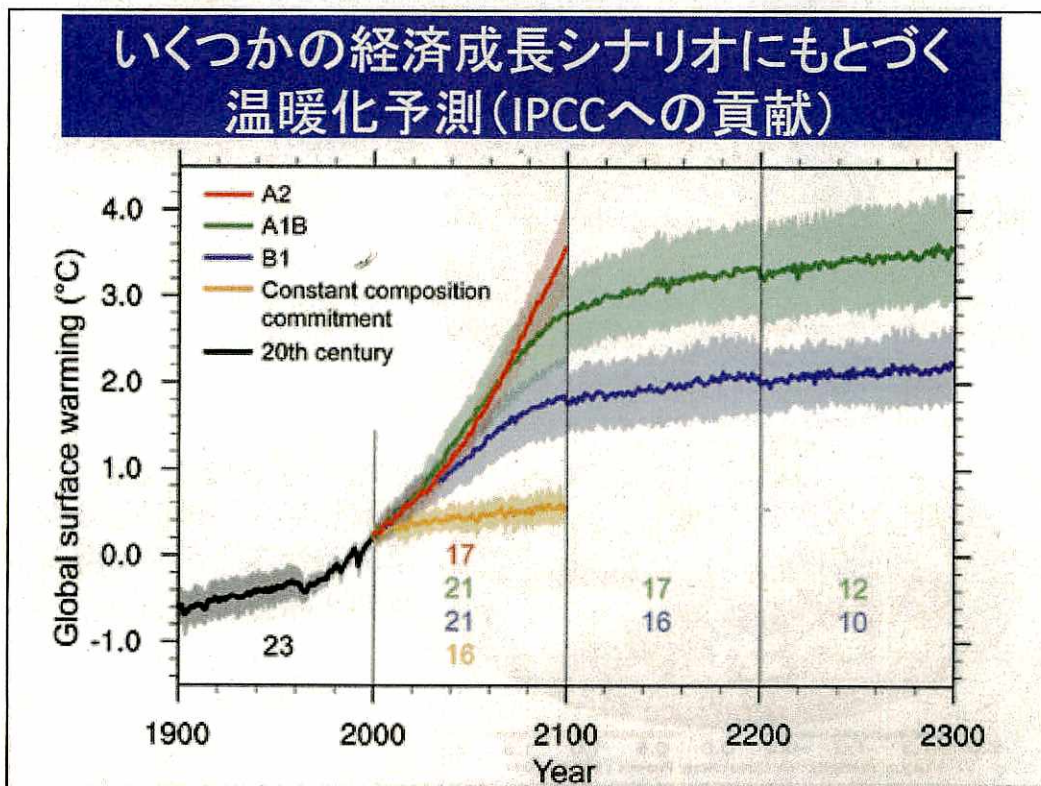


図 4



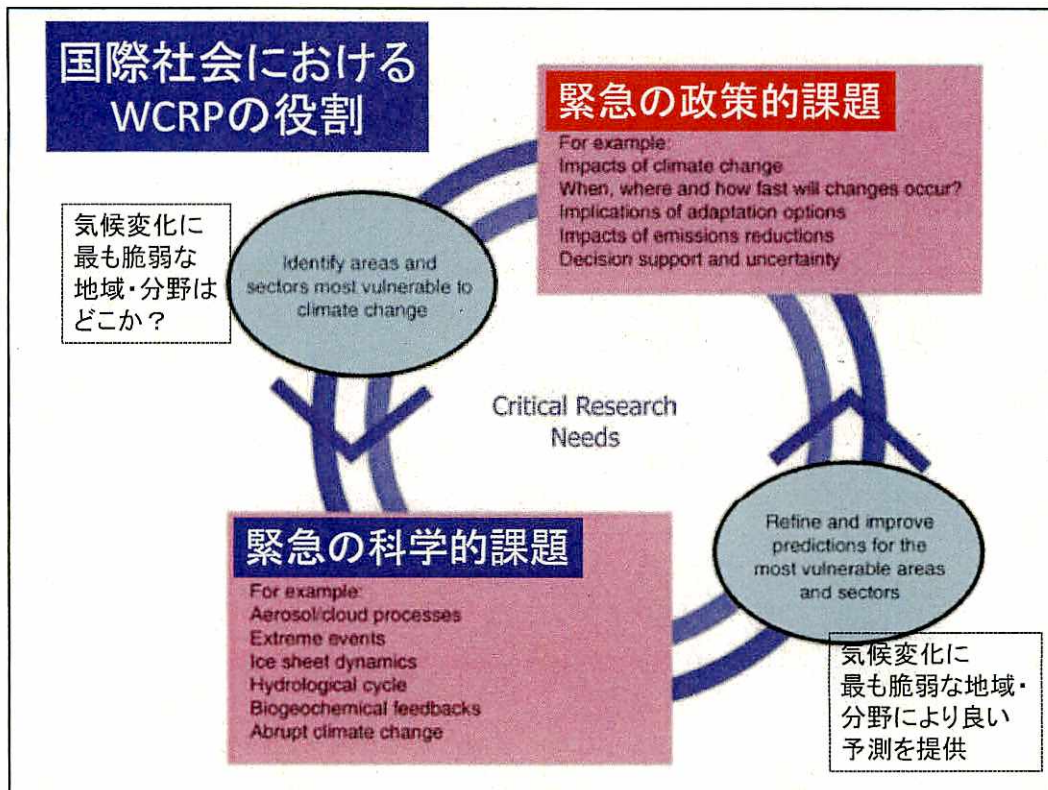


図 5

**IGBP Core Projects**

地球システムにおける多圏間の相互作用を、特に、物質循環を切り口に解明する。  
(WCRPは気候システムの基礎であるエネルギー・水循環を切り口に解明する。)

**AIMES: Analysis, Integration and Modeling of the Earth System**  
**GLP: Global Land Project**  
**IGAC: International Global Atmospheric Chemistry - IGAC**  
**iLEAPS: Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study**  
**IMBER: Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research**  
**LOICZ: Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone**  
**PAGES: Past Global Changes - PAGES**  
**SOLAS: Surface Ocean-Lower Atmosphere Study – SOLA**

図 6

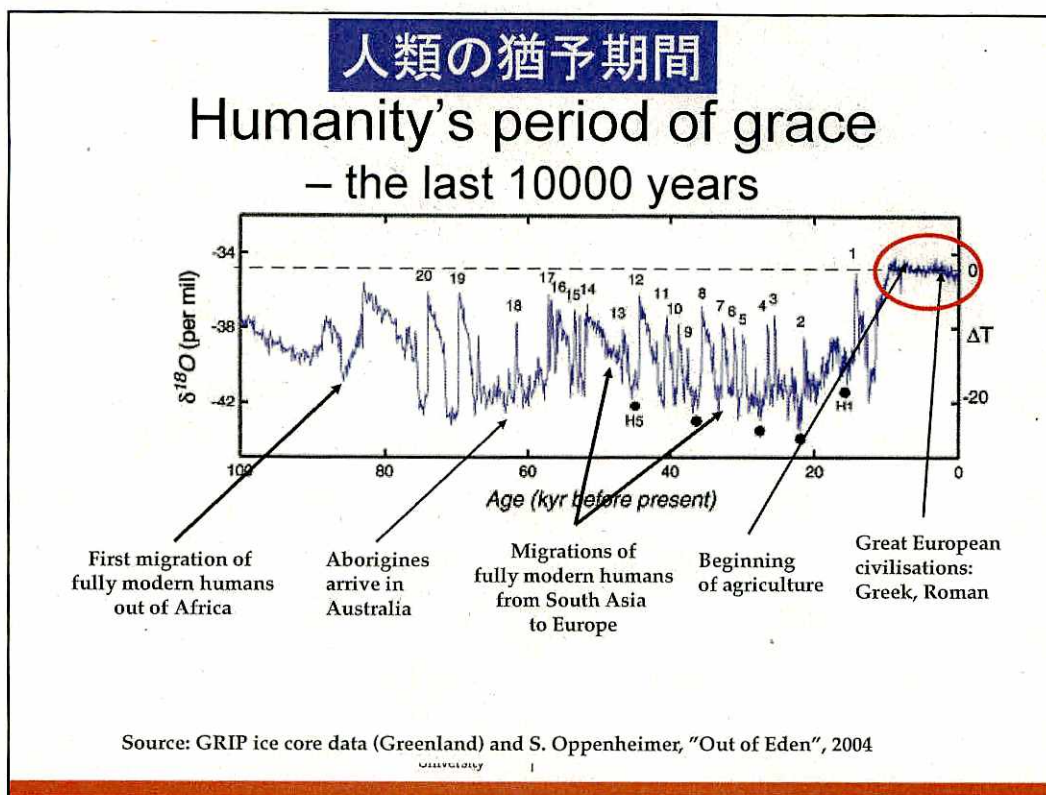


図 7

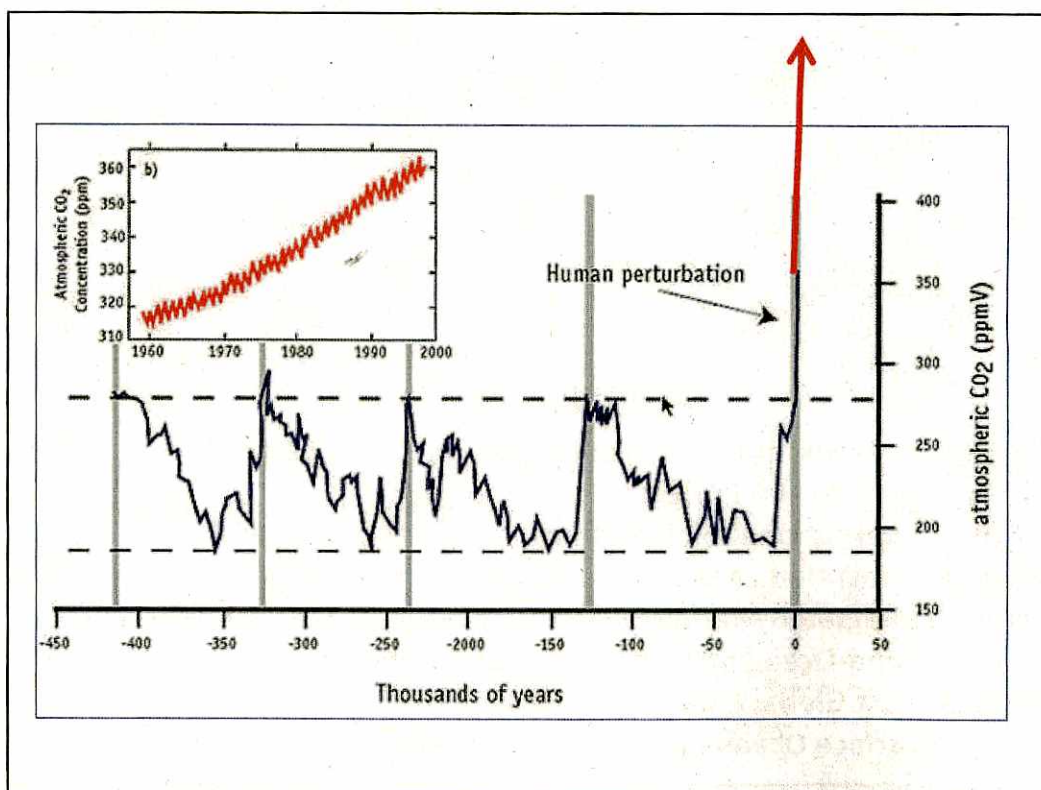


図 8



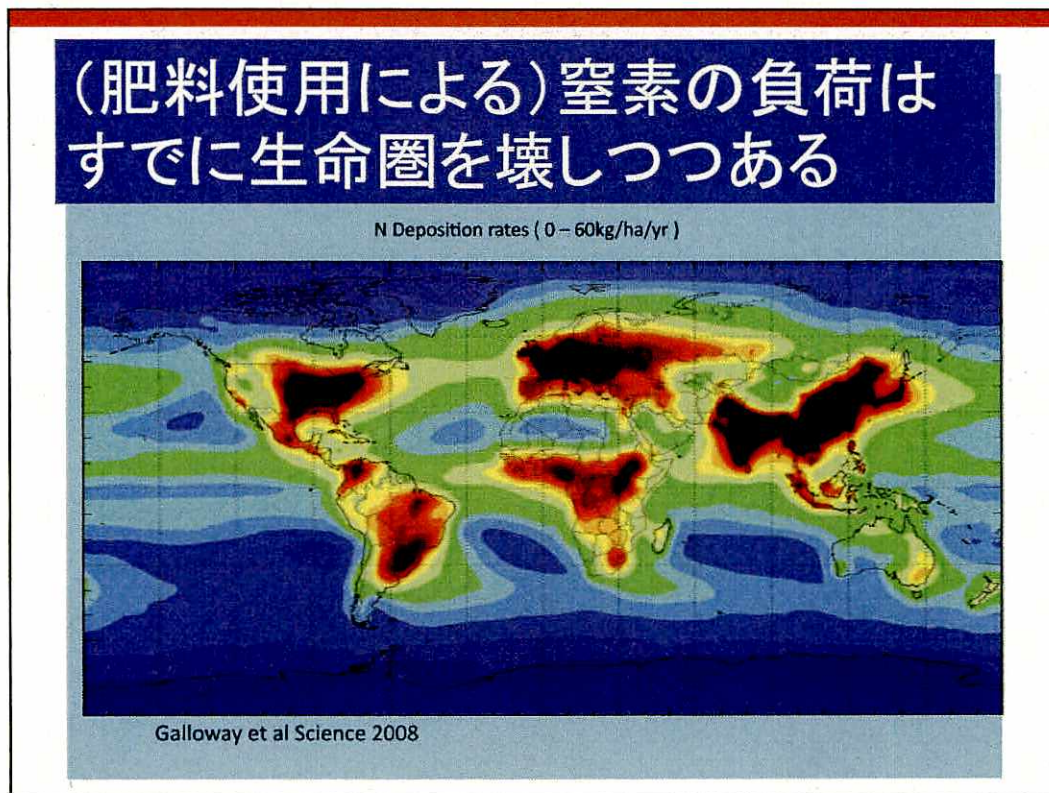


図 9

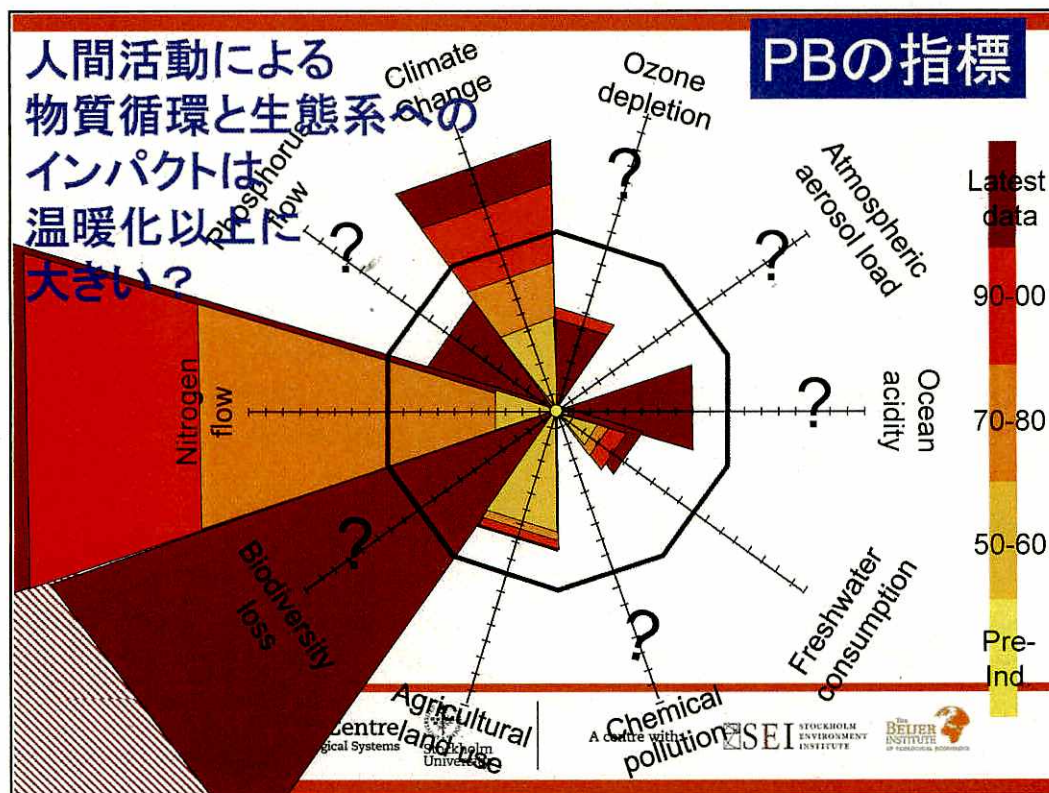


図 10