

# 寄稿

## 気候変化予測の現状と今後の課題



東京大学気候システム研究センター  
副センター長・教授

きもと まさひで  
木本 昌秀

### 地球温暖化は人類的課題

人類はいま歴史的転換点に立っている。よかれと思ひ、ひたすらすすめてきた経済発展、技術開発が、こともあろうにわれわれの住む快適な地球の自然をあらぬ方向へ変えようとしているのである。最新の科学的知見によれば、人為要因による地球気候改変は、とくに1970年以降、まさしくわれわれが経験してきた高度経済成長のさなかから顕在化してきたようなのである。もちろん、誰も好き好んでこのような事態を引き起こしたわけではないので、誰が悪い、誰のせいだ、などと言っている場合ではない。しかし、地球温暖化への適応、緩和策の策定には著しい技術的、政治的困難があるのも確かである。この緊急事態を乗り切るために、今こそ人類の謙虚な反省と叡

智が問われている。とくに、科学技術分野のみならず、国民の理解と協力を得て、政策の大

きな転換を主導する政府や役所のリーダーシップに大いに依存するものである。

国土交通省でもいち早くこのような認識のもとに、地球温暖化への治水政策の見直しを検討されたり、今回の国土交通白書で、国土交通政策に関連した地球温暖化と国民の暮らしについて取り上げられていることは頼もしい限りである。他の省でも同様の検討が進んでいると聞く。

### 予測には不確実性が伴う

私自身は、地球気候について科学的に分析することが専門で、どのような対策を取るべきかについて論ずる見識はない。しかし、地球温暖化への対策、とくに今後予算や社会構造の変革までからむような具体的、定量的な適応策、緩和策の策定をするにあたっては、地球の現状と将来について正しい科学的知見に基づくものでなければ国民の理解は得られるものではない。われわれ気候学者や気象庁などの関係者は、このような知見の構築にできる限りの努力をしてきたつもり

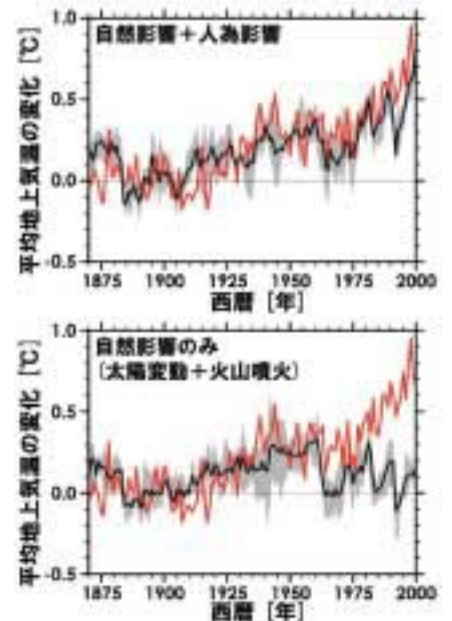


図1 全球年平均地上気温の時間変化  
赤線は観測値、黒線は気候モデルによる計算結果(陰影は実験の誤差幅を示す)。観測、モデルとも、1881~1910年の平均気温を引いたもの。上図は、気候変動の自然要因も人為要因も考慮した場合の実験結果を示す。東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、(独)海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センターの共同開発による気候モデルMIROCにより、文部科学省共生プロジェクトで行った計算結果(Nozawa他 2005)より。

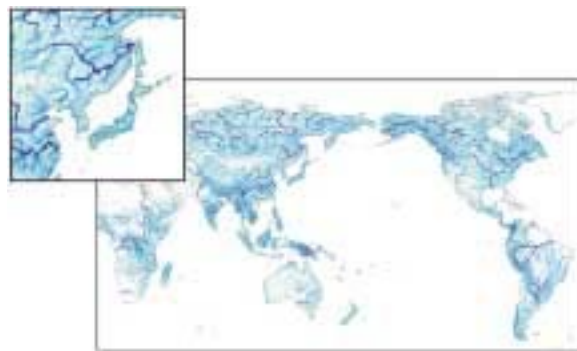


図2 全球気候モデルで用いられる河道網 (Oki and Sud 1998)  
グローバルな気候計算には十分な解像度であるが、日本付近を拡大すると基だ心配ない。

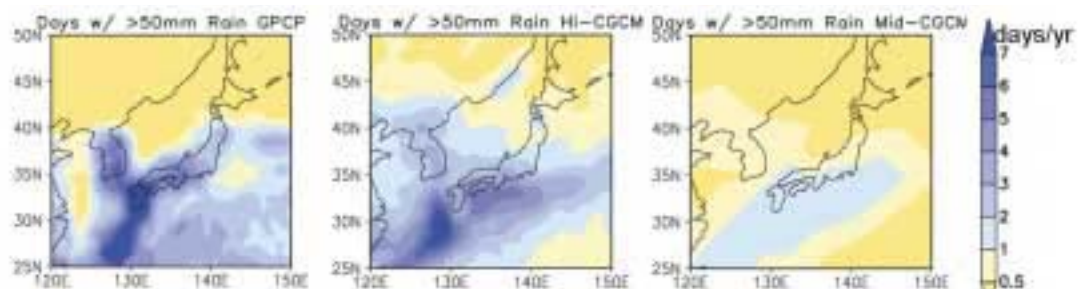


図3 気候モデルMIROCによる日降水量50mm以上の年間日数の再現性  
(左)衛星観測に基づく推定値、(中)100km格子のモデル計算、(右)300km格子のモデル計算。モデルの解像度がよくなり、強度別の降雨頻度などの議論ができるようになってきた (Kimoto他 2005)。

で、そのことが、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)のノーベル平和賞受賞にもつながったものとは思う。昨年刊行されたIPCCの第4次報告書では、冒頭に述べたような人為起源の温暖化がすでに見られることや、その影響が各方面で現れていることを実質的に断定し、国際的な温暖化対策の推進力となっている。しかし、こと将来予測、とくに日本国土の治水や自然災害の変化のような地球規模では局地的な変化の定量的な予測については、まだ不確実性が大きい。国土交通省の白書やレポートでも、既存の研究に基づい

た自然外力(例えば降水量の将来変化など)の変化見積もりが引用されているが、これをもとに国土百年の計を立てられるのかと思うと心許ない限りである。もちろん、担当者が悪いと言っているのではない。具体対策に用いることのできる定量情報がまだ不足しているし、それだけ難しいのである。人間活動による気候の将来

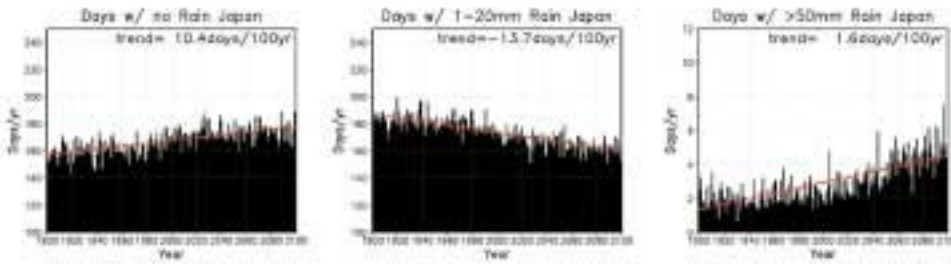


図4 気候モデルMIROCによって計算された20～21世紀日本付近の年間無降水日数(降水量1mm/day未満の日; 左)、弱雨日数(降水量1～20mm/day; 中)、強雨日数(50mm/day以上; 右)の時系列(Kimoto他2005より)

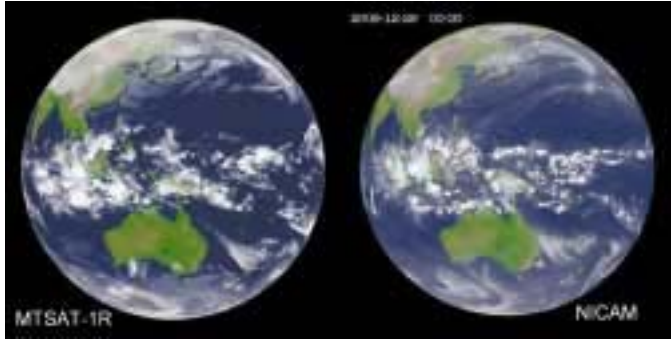


図5 ひまわり6号(左)と全球雲解像シミュレーション(右)の比較  
雲の1つ1つを分解できるモデルが使えるようになると、台風や豪雨の表現が格段によくなり、温暖化予測の信頼幅も縮まるものと期待される。ただ、膨大な計算資源が必要である。(図提供: 東大気候システムセンター佐藤正樹准教授)

これまで排出してしまった大量の温室効果ガス、そして現状でのその急激な増加傾向を考慮すれば、このように大きな不確実性がある状況でも、対策は一刻の猶予もない。

これまでも排出してしまった大量の温室効果ガス、そして現状でのその急激な増加傾向を考慮すれば、このように大きな不確実性がある状況でも、対策は一刻の猶予もない。

炭素のグローバル循環に関する科学的知見によれば、人間活動に伴う現在の排出量を少なくとも半減させなければ、大気中の二酸化炭素量、そして気候の変化は安定化しない。緩和策の専門家によれば、2050年までにこれを達成するのは、著しく困難ではないかと予想されているようである。

予測に不確実性がある、と言うと、このような見通しまで妥当でないかのように思う人もいるようだが、それは間違っている。しかし、やはりどの変数のどのスケールでどの程度の不確実性が現状あるのか、もっと定量的に把握しておく努力は必要であろう。コンピュータモデルが異なれば、その自然プロセスの詳細の解釈も微妙に異なるので予測に量的な幅が出てくる。IPCC第4次報告書には世界から23のモデル結果が提出されているので、計算メッシュはまだ大きすぎる面があるが、日本の国土上で、どの程度の気候変化が予測されているのかしっかりと把握しておく必要がある。単に、平均気温、降水量だけでなく、季節別の気象擾乱に伴う降水の強度や高潮害、干ばつなど国土や各種産業に与える影響の評価には、組織的な研究が必要である。また、計算機能力が向上すれば予測の精度も向上する。また、本格的な温暖化計算にはモデルが大きすぎるが、日本は世界に先駆けて雲の1つ1つを分解する全く新しい世代の気候モデルも開発している。一度計算したら終わりでなくて、向上した予測精度に応じて対策を定量的に見直してゆくような体制も必要だろう。

どこまでわかるのか押さえた上で順応的な対策を

変化予測は、主にコンピュータモデルによって計算されるが、われわれが当時世界最高速の計算機、地球シミュレータを用いて行った大気海洋計算での計算メッシュは大気100km、日本海側と太平洋側の気候の区別がかるうじてつくつかつかないくらいのものである。気象庁気象研究所による大気のみの高解像度計算は温暖化計算としては初めて台風を表現することに成功し、強い台風の増加を予測して、世界の注目を浴びた

が、それでも計算年数の不足などにより、台風経路や数の変化は特定できていない。集中豪雨や高潮被害の変化も定性的には増加は間違いないと思うが、では、何%ほど?と問われるとまだ数字は挙げにくい。温暖化時の雲の変化やそれに対する各種エアロゾル(大気中の塵、人間の排出したものも含む)の影響、IPCCでも指摘されている氷床融解に関わるプロセスなど、まだ解明されていないプロセスもある上、計算メッシュの制約で地理的に細かい情報が得にくいためである。まして、計算の前提となる将来の社会、経済、人口のグローバルな推移予測にも大きな不確実性が存している。

現在、われわれ気候学の研究分野では、文部科学省によって性能をアップグレードしていただく予定の地球シミュレータによって、2030年までの近未来の定量的予測や、炭素循環を含むモデルによる二酸化炭素シナリオと人為排出量の関係、あるいは高分解能モデルによる日本付近の台風などによる自然災害の評価などの新しい計算を、IPCCの次の報告書に向けて準備中である。水文や農業、水産などの専門家もこのプロジェクトに参加して、気温、降水量といった気候変数だけでなく、洪水、渇水リスクや農水産資源の変化など、社会、産業により密着した予測情報に変換する研究を行うこととなっているが、このような影響評価は、分野によって専門性が高く、情報の欲しい当事者が関与しないと隔靴搔痒を感じる場合も多くなってしまう。研究者だけでなく、政策立案部門や産業界の方々も参加していただきたい。

新たな取組み

現在、われわれ気候学の研究分野では、文部科学省によって性能をアップグレードしていただく予定の地球シミュレータによって、2030年までの近未来の定量的予測や、炭素循環を含むモデルによる二酸化炭素シナリオと人為排出量の関係、あるいは高分解能モデルによる日本付近の台風などによる自然災害の評価などの新しい計算を、IPCCの次の報告書に向けて準備中である。水文や農業、水産などの専門家もこのプロジェクトに参加して、気温、降水量といった気候変数だけでなく、洪水、渇水リスクや農水産資源の変化など、社会、産業により密着した予測情報に変換する研究を行うこととなっているが、このような影響評価は、分野によって専門性が高く、情報の欲しい当事者が関与しないと隔靴搔痒を感じる場合も多くなってしまう。研究者だけでなく、政策立案部門や産業界の方々も参加していただきたい。

プロフィール  
1980年京都大学理学部卒業後、気象庁に勤務。1994年より現職。専門は、気候変動、気候のコンピュータモデル。地球シミュレータを用いた地球温暖化予測シミュレーションでIPCC第4次評価報告書にも貢献。国土交通省社会資本整備審議会河川分科会専門委員、交通政策審議会気象分科会臨時委員、気象庁異常気象分析検討会会長、世界気候研究計画Working Group on Coupled Modelling委員などを務める。

※ 文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム  
<http://www.kakushin21.jp/>

# 寄稿

## 低炭素社会へのソフトインフラを



NPO法人環境エネルギー政策研究所  
所長

いいだ てつなり  
飯田 哲也

しかし、「問題」を「解決策」にするのであるから、ことは単純ではない。簡単に変えられないから「問題」となってきたのであり、これらを「解決策」とするには、問題の根源に立ち返りつつ、本質的であると同時にきわめて現実的な解決が求められる。

### 「入口側」と「出口側」の 制約に直面する人類

地球温暖化問題とは、すなわちエネルギー問題に他ならない。産業革命以後の現代文明は、石油・石炭・天然ガスからなる化石燃料で支えられている。その「出口側」で地球温暖化問題を引き起こし、「入口側」（スループット）でエネルギー資源制約があり、両方がほぼ同時に顕在化しつつあるのだ。

G8洞爺湖サミットを控え、日本国内でも、また国際的にも「低炭素社会」の形成が最重要課題となっている。洋上風力発電や低炭素住宅、LRTなど、今後の社会インフラ整備には、大きな期待を寄せているが、本稿では、その前提を考察する。

低炭素社会を考えると、都市、交通、国土（社会インフラ）は、いずれも今日の文明の豊かさをもたらしてくれた反面、地球温暖化問題や資源制約を引き起こしてきた「原因」であり、抜本的な見直しを必要としている「問題」であり、同時に、低炭素社会に向けた「解決策」でもあること（でなければならぬこと）に気づく。

燃料と変わらない。

こうした化石燃料などに対して、自然エネルギーは単なる「代替エネルギーの1つ」には留まらない。自然エネルギーは、基本的に前記の「入口側」の問題も「出口側」の問題も引き起こすことはない。つまり自然エネルギーは、「代替エネルギーの1つ」ではなく、「本質的な解決策」として捉えるべきものだ。

それは可能だろうか。自然エネルギーの源となる太陽エネルギーは、人類が今日利用しているエネルギー量の約1万倍に相当する量が地球に降り注いでいる。マグマ（地熱・地中熱）を含めると、その量はさ

らに膨れあがる。つまり量的に見ると、今日の私たちの文明は、十分に自然エネルギーで賄えるのだが、単にそれを利用していないにすぎないのである。なお、エネルギー密度や土地面積、不安定性、コストなどを問題にする声も聞くが、これらは技術的・社会制度的に解決可能である。

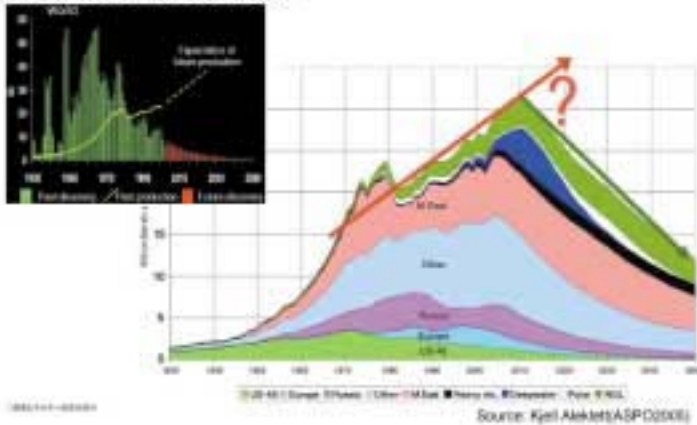
### フローからストックへの構造転換

フローからストックへの転換は、社会インフラの分野で言われるようになって久しい。住宅における「スケルトン・インフィル」の考え方、平成18年に自民党国土交通部会が諮問した「次世代に向けた戦略的社会資本整備の在り方について」フローからストックへや、最近の「2000年住宅ビジョン」など枚挙にいとまがない。これらは当然のこととして織り込むべきものであり、同じ論を繰り返すつもりはない。本稿でいう「フローからストック」への構造転換とは何か。2つの意味がある。

1つは、エネルギーの視点から見た転換である。私たちの今日の文明は、化石燃料という数億年前に地中に形成された枯渇性の炭素ストックをエネルギーと二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)のフローに転換することで支えられている。いわば「化石燃料フロー文明」だ。

他方、古くから利用されている水力発電を筆頭に、太陽光発電や風力発電など自然エネルギー設備は、膨大なフローと

「ピークオイル」いつ来るのか？  
石油と天然ガスの生産の歴史と見通し



「化石燃料フロー社会」から「自然エネルギーストック社会」へ



して流れゆく自然エネルギーを文明で利用するストックである。自然エネルギーは、まだエネルギー供給全体に占めるシェアは小さいものの、近年、飛躍的な成長を遂げつつあり、現状は「自然エネルギーストック文明」への助走に入ったと見ることができる。

「ストックへの構造転換」のもう1つの意味は、従来のハードインフラ重視であった「社会資本」の視点から、社会的共通資本へと視野を広げたソフトインフラの重視への転換である。社会的共通資本は、いうまでもなく宇沢弘文の定義したもので、自然資本と社会資本から構成さ

れ、社会資本はさらに道路・下水道・電気・橋・鉄道などのハードインフラに加えて、医療制度・学校教育制度・司法制度・行政制度・金融制度などの「社会制度資本」に分類されている。

本稿でいうソフトインフラとは、宇沢の言う社会制度資本に加えて、社会関係資本(ソーシャル・キャピタル)を併せて指すものと定義しておく。社会関係資本は、アメリカの政治学者ロバート・帕特ナム『哲学する民主主義』の中で、イタリアでの社会調査をもとに『人々の協調行動を活発にすることによって、社会の効率性を高めることのできる、「信頼」「規範」「ネットワーク」といった社会的仕組みの特徴』と定義づけられている。

**社会プルから要請されるソフトインフラ**

低炭素社会のビジョンはいくつか提示されているが、誰もその実現に実感を持ってない。つまり、ビジョンの内容よりもむしろ、私たちの社会を振り返って、「変革への戦略」を考察することが必要となる。従来のハードインフラ重視の社会資本整備は、前世紀的な産業主義の視点から直線的な成長を伴件として、供給側から技術的・ハード中心かつ硬直的に行われてきた、きわめて「供給・技術プッシュ」の施策であった。

しかしながら、今日の文明は大きく変容している。グローバル化・知識社会化・リスク社会化・液状化などさまざまな形容

「近代化」が進行する今日、産業主義の時代に形成された「供給・技術プッシュ」の施策は、もはや通用しない。「変革への戦略」のために、「需要・社会プル」の視点に立ったソフトインフラの拡充が必要なのである。「需要・社会プル」とは、重要な社会のニーズに沿って、市場や社会制度のあり方を見直し、当該技術やサービスの普及を図る考え方をいう。

具体的に見てみよう。たとえば河川の水利権である。古くからの慣習をもとに形成されてきた農業かんがい用の慣行水利権と明治以降の近代化で国家統治のもとに河川法で管理されてきた許可水利権に大別されるが、社会的共通資本として見ると、水利権の強い排他的権利は「大井川砂漠」と

「技術プッシュパラダイム」から「社会・市場プルパラダイム」へ  
「国のエネルギー産業政策」(産業の産業による産業のためのエネルギー政策)に対する「地域エネルギー戦略」(地域社会と生活者のための環境エネルギー政策)

供給側(技術プッシュ)	需要側(社会プル)
・供給側 ・技術志向 ・産業主義	・需要側 ・市場と地域志向 ・生活者主義
技術アセスメント 機器供給に焦点 経済的な競争力	市場アセスメント 応用、付加価値、ユーザーに焦点 政策、ファイナンス、制度・組織、社会的に見た必要性と解決策
技術的な実証	ビジネス/ファイナンスモデル、制度・組織的なモデル、社会的モデル
初期の補助金	健全な市場形成のためのリスクとコストを分担
計画	経験、結果、教訓
コスト削減	市場における競争力

(出所) Martinot E, Chaurey A, Lew D, Moreira J B & Wamukonya N 2002 Renewable Energy Markets in Developing Countries. Annual Review of Energy and Environment. 27: 309-348