

# 日立 総研

特集

「緩和」から「適応」に踏み出す

COP21時代の環境政策

vol.11-3

2016年11月発行

表紙題字は当社創業社長(元株式会社日立製作所取締役会長)駒井健一郎氏 直筆による

# 日立 総研

vol. 11-3  
2016年11月発行

- 2 巻頭言  
4 対論 ～ Reciprocal ～

特集

## 「緩和」から「適応」に踏み出す COP21時代の環境政策

- 12 研究レポート  
気候変動適応への各国政府と企業の取り組み  
シニアストラテジースタッフ 坂本 尚史  
グローバル政策・経営研究センター 主管研究員 城野 敬子
- 16 寄稿  
Adaptation to the adverse effects of climate change  
– A UNFCCC perspective  
Director of the Adaptation Programme UNFCCC secretariat Youssef Nassef
- 20 寄稿  
学際的・実践的な気候変動適応科学  
早稲田大学人間科学学術院 教授 太田 俊二
- 26 寄稿  
グローバルリスクとしての水と気候変動適応策  
東京大学生産技術研究所 教授 沖 大幹
- 34 寄稿  
開発途上国への開発援助と気候変動適応支援  
独立行政法人 国際協力機構(JICA) 地球環境部 気候変動対策室 副室長 佐藤 一朗
- 40 Voice from the Business Frontier  
水ビジネスによる気候変動適応への貢献  
日立製作所 水ビジネスユニット 水事業部 副事業部長 横山 彰
- 44 研究紹介  
46 先端文献ウォッチ

## 技術革新と向き合う

(株) 日立総合計画研究所  
 取締役社長  
 白井 均

全48作品が公開された映画「男はつらいよ」シリーズの第1作が公開されたのは1969年。渥美清さん演じるフーテンの寅こと、車寅次郎の妹さくらはまだ独身で丸の内のOLとして働いていました。彼女の仕事はキーパンチャー。当時の女性にとって花形職種の一つだったのでしょうか。1980年代中ごろに、磁気ディスクや端末が低価格化するとともに、コンピュータへのデータ入力手段としてのパンチカードの役割は一気に低下し、キーパンチャーという仕事も程なく消えていきました。

電話をかける際に「もしもし」と言うのは、かつて電話交換手が電話をかける人と受ける人の中継ぎをしていた時代に、つなぎ先の相手に失礼とならぬように「申し上げます」と言ったことが起源とされています。もししは「申し(もうし)」を連ね短縮した言葉です。その電話交換手の仕事も、日本では1979年に自動交換化が完了すると、その後は大きく減少しました。

技術革新はこれまでも人々の生活や仕事を大きく変えてきました。近い将来技術革新によって、最も大きく変わるとされているのが自動車市場です。電気自動車、水素自動車も既に市販され、自動運転の実用化も目前に迫っています。自動車はこれまでも進化を続けてきましたが、もし自動運転が普及し、自動車を運転するという行為自体が激減すれば、その影響はこれまでの技術革新をはるかにしのぐはずです。

自動車の技術進歩を見つめ、ジャーナリズムの立場から批評家精神をもってチェックする自動車評論家という仕事があります。1976年に「間違いだらけのクルマ選び」を出版し、特定の車種への直接的批判もいとわず辛口の評論を展開し、日本における本格的な自動車評論の道を開いたのは徳大寺有恒氏でした。国産車にまだ性能や走りの大きなバラツキがあった時代、「間違いだらけのクルマ選び」は発売とともにたちまちベストセラーとなりました。以来徳大寺氏は、2014年11月に亡くなる直前まで書き続け、最後となった2015年版まで原稿を寄せます。徳大寺氏の厳しい視線は、自動車メーカーだけでなくユーザーにも向いていました。クルマを作るのはあくまで自動車メーカーですが、ユーザーの質が低ければメーカーはそれに甘えて優れたクルマを作らないと考えたのです。1976年の第1作の冒頭では、「最近私は国産車が現在のように嘆かわしい姿にとどまっている責任の半分は、ユーザーが負うべきものではないかと考える」とし、「その国で生産されるクルマを見れば、その国民のものの考え方がわかる」、そして「日本のクルマを愛するがゆえに、国産車の現状に警鐘を打ち鳴らす」と宣言します。

現在でもアマゾンなどのネット販売で1976年の1冊目から最新版まで「間違いだらけのクルマ選び」の各年版を購入することが可能ですが、ここで不思議な状況が起こっています。1980年代前半のものだけが1万円以上の高値が付いているのです。

---

---

私はその理由を、国産車の出来のバラツキも大きかったが、最も個性あふれるクルマがそろい、徳大寺氏の評論が最もさえわたった時代だったためではないか、と勝手に解釈しています。

この時代にはスペシャルティカーというジャンルがあり、「ベースは一般的な乗用車を用いているが、スポーティなボディを与えて、スポーツカーのようなスタイルと乗用車の使いやすさを合わせ持つクルマ」(1981年版)と定義されていました。若い男たちが自動車に憧れ、女性を誘うにはまずクルマと考えていた時代、そうしたニーズに応え、決して安くはないが、ローンを組むなどして頑張れば何とか手が届いたのがスペシャルティカーでした。トヨタのセリカ、日産のシルビア、ホンダのプレリウドなどが当時の代表的な人気車です。徳大寺氏はあたかも若者に外見に惑わされずクルマの本質を見よ、と言わんがごとく挑戦的な批評を展開します。「スペシャルティカーというのはどこかインチキ臭い」(80年版)に始まって、個々のクルマについても「スポーティなのはボディだけ」(80年版)、「スペシャルティカーと名乗るのも恥ずかしすぎる」(80年版)、「スタイルは似ているが中身は似ていない川越ベンツ」(81年版)、と容赦ない批評を展開します。一方で、数年後改善されたクルマに対しては「徐々に改良されて立派なスポーツになった」(85年版)、「35歳以上の人に乗ってもらいたい大人のクルマ」(85年版)、とその進化をたたえます。今では乗用車生産から撤退したいすゞがイタリアのジウジアーロのデザインによる117クーペを販売し、東洋工業(現在のマツダ)がガスイータ(燃料食い)との批判を受けながらもロータリーエンジンのスポーツカー、サバンナRX-7を販売するなど個性的なクルマがあふれていた時代、徳大寺氏にとってもエキサイティングだったことでしょう。

常に厳しい批判的視座に立つ徳大寺氏でしたが、次世代のクルマ作りに挑戦する企業と技術者たちに対しては温かいエールを送り続けました。最後の原稿は亡くなる前月に試乗したトヨタの燃料電池車MIRAI(2014年12月発売)に関するものでした。「やれエコロジーとか、水素社会がとか、口先だけならいくらでも言えるところを、とにもかくにも商品として具体化したトヨタの勇断はいくら褒めても褒めきれない。技術説明会の最後に、このクルマの開発担当者が十数人、ずらりと勢ぞろいして自己紹介したのだが、彼らの一人ひとりが誇らしげに胸を張っていた」(2015年版)。

1980年代前半と比べ、クルマの性能は飛躍的に向上し、乗り手を選ぶ「暴れ馬」のようなクルマは姿を消しました。最近では自動車評論家をめざす若者も、自動車雑誌の社員募集に応募する人も少なくなっているそうです。一方で、技術革新の成果は、現在の立ち位置を冷静に捉え、進むべき未来への確かな視座を持った批評家精神によってこれまでも鍛えられてきました。一般論ではなく進むべき方向を可能な限り具体的に示す役割は今後の社会においても欠くことができません。立場は異なりますが、シンクタンクも経済社会において、そうした役割の一端を果たしていくべきと考えます。

(参考文献)

徳大寺有恒『間違いだらけのクルマ選び』(1976～2015年版)、草思社

注：2011～15年版は島下泰久氏との共著

# ASEAN経済統合の課題と展望

## ～中国経済減速の中で、ASEAN成長の道筋を探る～

ASEAN加盟国の総人口は6億超とEUを上回り、2020年には世界第4位の経済規模になるといわれています。2015年にASEAN域内の貿易自由化や市場統合などを通じて成長の加速をめざすASEAN経済共同体(AEC)が発足。一方で、中国との関係、域内における開発格差、政治体制の違いなど懸念材料もあります。ASEANが抱える課題や今後の展望について、シンガポール国際企業庁副長官チュア・テック・ヒム氏に伺いました。



チュア テック ヒム  
**CHUA TAIK HIM氏**

シンガポール国際企業庁副長官

1955年生まれ。1977年東京大学工学部電子工学科卒業、1983年カナダ トロント大学にてMBA取得、1999年ハーバードビジネススクールにてAMP修了。1998年シンガポール経済開発庁産業開発局局長、2002年経済開発庁副長官に就任し、2007年より現職。

また、駐日シンガポール大使館経済参事官(1985～1992年)、世界銀行産業構造戦略委員会アドバイザー(2009～2012年)などを歴任。

現在は、国際企業庁投資ホールディング副会長、アジアインフラ融資機構(AICOE)会長を兼任。シンガポール政府系会社や、国内外の多数の民間企業で役員などもつとめる。

## 中国経済の減速が及ぼす影響

**白井:** 長期にわたり2桁の経済成長率を続けてきた中国経済が減速しています。「ニューノーマル(新常态)」を掲げる中で成長率が6%台まで低下し、ASEAN(東南アジア諸国連合)にも影響が出ています。ASEAN経済が今後も持続的な成長を続けるための課題について、どのようにお考えですか。

**チュア:** 現在、ASEAN加盟国の総人口は約6億3,000万人、名目GDPの合計は約2兆5,000億ドルです。世界のGDPに占める割合は3%程度ですが、2020年には米国、中国、日本に次ぐ大きな経済圏になると予測されます。これまでの経済成長を今後も継続すれば、2030年には日本を上回ることが確実です。少なくとも今後5年間は、年5%以上の成長率を維持できるでしょう。

ASEANは今、とても勢いがあります。海外からの投資も活発であり、世界から成長率の高い経済圏とみられています。実際、ASEAN域外からの2014年の投資はおよそ1,300億ドルで、外国企業からも有望な投資先と考えられています。ASEAN域内のインフラ整備に伴い、中間層が増加し消費活動も活発化しています。

中国経済減速による影響を考える上で、最初に抑えておきたい点は、ASEANはEUとは明らかに違うということです。ASEAN各国は産業構造も発展過程も異なります。シンガポール、マレーシア、タイなどすでに経済開放している国もあれば、ベトナム、ミャンマーなど発展途上にある国もあります。これらの国々が中国経済の減速によって、どのような影響を受けるのかについては一概にはいえません。ミャンマーにとっては中国は最大の投資国ですが、フィリピンにとってはそれほど大きくありません。

しかし、程度の差こそあれ、ASEAN各国は今後外資に頼る割合が高くなることは確実です。現在、中国からの投資は域外からの直接投資全体の17%程度と高くありませんが、2010年の5%に比べれば高くなっています。5年先も現在のペースを維持しながら伸び続ければ中国の存在はますます大きくなります。

中国経済の減速への対応としては大きく二つの戦略が重要になるでしょう。一つ目は、ASEAN加盟国間の貿易と投資を促進することによる成長です。現在、加盟国の貿易依存率は約18%で、高くも低くもない数字ですが、今後は伸びていくでしょう。

もう一つは、中国を除く従来の投資国、例えば日本、米国、欧州各国へのアピール強化です。ASEAN各国は自国の投資先としての魅力を再検討する必要があります。自国の力と外資の力を活用し、各国がそれぞれ差別化を図りながら成長していくことが必

要です。投資国に対してASEANの特色をうまく表現していければ高い伸び率を実現できるはずですよ。

**白井:** 中国は投資先としても大変魅力的な国です。米国に次いで世界第2位の経済規模があって、成長率が低下したとはいえ6%台で成長する国は他にありません。

チュアさんがおられるIES(シンガポール国際企業庁)は、シンガポール企業の海外進出を支援する役割を担っています。投資先としての中国の今後の可能性については、どのようにお考えですか。

**チュア:** 中国経済はモメンタム(質量と速度)を見なければいけません。成長のスピードは減速したとはいえ、大国ゆえにまだまだ勢いがあります。世界水準からみて6~7%の経済成長率はまだ高いといえます。

国土も広く、産業構造の幅も広がっています。例えば、アリババの本拠地である杭州市は、経済成長率が10%以上と高く、新興企業やベンチャー企業が数多く生まれています。国家中心都市の一つで、「国の工場」といわれる重慶市も、製造業、サービス業、物流など、あらゆる分野が伸びており、昨年の経済成長率は11%でした。一方で、重工業中心の東北部は、マイナス成長になっています。こうした地域間ギャップをシンガポール企業が埋める役割を担うことができればと思います。

ただし、中国は対外開放政策以来、国内企業が力を高めており、競争が非常に激しくなっています。インターネット産業の変化スピードもかなりのものです。米国にはアマゾン、グーグル、アップルがありますが、中国にはアリババ、バイドゥ、シャオミがあります。重厚長大産業の鉄鋼などもありますが、インターネット産業が急成長しています。中国経済は減速していますが、世界経済を動かす原動力の一つであることに変わりはありません。

中国で成功している外国企業は、中国の事情や状況を理解した上で、うまく事業モデルをカスタマイズし、対応しているところが多いと思います。

## 経済統合がもたらす効果とは

**白井:** チュアさんが指摘された通り、ASEANは世界の成長エンジンとして、EUとは違う形で中長期的に成長していくと思います。一つのメルクマールが2015年のASEAN経済統合でした。実際にスタートしてすでに変化が見られるのか、またこれからどのような発展が期待できるのでしょうか。

**チュア:** 現在、経済統合はAEC(ASEAN経済共同体: ASEAN

Economic Community)で着実に進んでいます。加盟国の中でも早くから参加したシンガポール、タイ、インドネシア、マレーシア、フィリピン、ブルネイの6カ国間ではすでに貿易品目の99%の関税を廃止しています。これ以外の国でも、今後3年間で99%程度の自由化が実現するでしょう。ASEANの経済統合の進展スピードは非常に速いと思います。

モノの貿易だけでなく、サービス貿易も同様です。「ASEANサービス枠組み協定(AFAS: ASEAN Framework Agreement on Services)」は10回の包括交渉のうち、9回がすでに完了してお



り、外資資本比率制限の撤廃などは100前後のサービス分野に適用されています。

投資については、「ASEAN包括的投資協定(ACIA: ASEAN Comprehensive Investment Agreement)」に基づき、分野ごとに自由化していきます。投資に関する手続きの透明性向上、法的保証など環境整備を進めています。

ASEAN経済統合のメリットの代表例として、ASEANオープンスカイ協定による航空自由化が挙げられます。域内国で航空便が自由に行き来できるようになり、人的交流、物流に関わる全ての接続性が向上します。その他、観光産業、eコマースなどでも、これまでになかった新しいサービスが大きく伸びています。関税撤廃、非関税障壁の削減・撤廃、税関手続きの標準化、企業間の協力など、さまざまな角度から連携が進んでいます。自由化優先項目の93%がすでに実現していることから、こうした方針が各国の高い支持を得ていることがうかがえます。ASEAN各国の共同競争力というコンセプトを皆が信じ、守っていくことで、経済成長

をめざしています。

**白井:** ASEAN域内には、先進国の中でも1人当たりGDPの高いシンガポールから、ミャンマー、カンボジアなど、まだ貧しい国まであります。シンガポールは金融、サービス産業中心に経済構造を転換しています。タイ、マレーシアは製造業の基盤を確立し、経済発展を続けてきました。インドネシア、ベトナムなど、今後伸びる国もあります。このダイナミズムがASEANの魅力です。常に先頭を走ってきたシンガポール、マレーシア、タイは、今後ASEANの中で、役割、産業構造をどのように変えていくのでしょうか。

**チュア:** シンガポールは、地理的にもASEANマーケットの中心にあります。ASEAN経済が伸びれば、地域本社、経営管理センター、研究・技術開発のイノベーションセンターとして間違いなく伸びます。もちろんASEAN経済の発展とともに、果たすべき役割は変えていかなければなりません。

eコマースが世界的に広がっていますが、ASEAN地域でeコマースが拡大すれば、物流、金融機能が当然必要になります。シンガポールはあらゆる分野のハブとして、ASEAN経済の拡大に伴いその恩恵を受けています。

日本企業から見れば、シンガポールは製造業、とりわけ労働集約型産業の魅力は低いと思います。しかし、高度な技術を要する付加価値の高い産業、例えば航空機エンジン、医薬品製造など、高度製造業への移行を推進しています。

シンガポールはASEANの中で経済的に最もオープンで、文化的にも多様性があり、中国系、マレーシア系、インド系の人々が暮らしています。市場のニーズに対応できる条件をいちばん備えている国です。

シンガポールは中国に対し、2年連続で最大の直接投資国になっています。今年はインドに対しても最大の直接投資国となり、日本にも投資しています。資本輸出国としての地位も確立しつつあります。資本を提供することで、情報、知識、人材、金融、あらゆる機能を集結することができます。周辺国との連携も経済戦略の一つです。シンガポールは小さい国ですが、オープンエコノミー、経済開放によって今後も伸びていくはずですよ。

**白井:** マレーシアやタイも、シンガポールのようにになりたいのではないのでしょうか。

**チュア:** 競争は自由であり、差別化を図るのは良いことです。ASEAN各国はそれぞれの強みを持っており、シンガポールにない分野もたくさんあります。例えば、シンガポールは天然資源がなく、土地も広くないため農業は活発ではありません。10カ国が均一ではないことがASEANの特徴であり、この多様性がその魅



力です。それらを統合、調整し、まとめるのがシンガポールの役割の一つだと考えています。

## ASEANの成長エンジン CLMV

**白井:**ASEANの中で成長フロンティアとされるCLM(カンボジア、ラオス、ミャンマー)諸国について伺います。潜在的な成長力が高いのは多くの方が認めるところですが、一方で、さまざまな課題があってこれまで十分成長できなかったのも事実です。AEC発足で域内国との結び付きが強まる中で、CLM諸国の成長率は加速するでしょうか。

**チュア:**CLMにベトナムも加えてCLMVと考えるとよいと思います。1人当たりGDPが5,000ドルを超えれば、国の構造はかなり変わります。消費が増加すれば経済は活性化します。経済成長ではベトナムが先行し、次にミャンマーが続きます。ラオス、カンボジアはこれまでタイに依存していました。ラオスは水力発電による電力をベトナム、タイに輸出しています。ラオスとカンボジアは、おそらくベトナムとミャンマーの成長に引っ張られていくでしょう。海岸線を持たないラオスも経済を伸ばすことは確実です。

シンガポールは、1993年にベトナムに工業団地第1号をつくり、今は南部、中部、北部に8カ所あります。昨年のTPP(環太平洋戦略的経済連携協定:Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement)合意に伴いベトナム経済の潜在的な成長力に注目が集まりましたが、海外企業の工場進出に必要なインフラ整備はすでにできています。ベトナムに工場進出しているシンガポール企業も数多くあります。同様の状況は、いずれミャンマーや他の国でも起こるでしょう。それほどCLMVには大きな魅力があります。

課題は、これらの国が物流で連携していけるかです。コネクティビティを高めることで、経済発展のスピードもかなり変わると思っています。日本企業はミャンマーでティラワの工業団地を開発していますが、シンガポールはチャンギ空港のコンソーシアムがヤンゴンで飛行場をつくっています。インフラ整備は早いペースで確実に進んでいきます。近い将来、市場としてASEAN全体の魅力が高まることは確実です。しかも、ベトナムやミャンマーの成長ペースは、インドネシア、フィリピンが対外開放した当時の成長スピードより速いでしょう。

**白井:**ASEANの周辺には成長している国が多くあります。中国の他にインド、バングラデシュ、スリランカなどです。これからRCEP

(東アジア地域包括的経済連携)が合意すれば、これらの国がFTA(自由貿易協定)で結ばれる可能性もあります。ASEANが周辺国の成長力を取り込むにはどのような課題が考えられるでしょうか。

**チュア:**RCEPには日本、韓国、中国、インド、ニュージーランドも含まれます。ASEAN10カ国だけでも発展過程に違いがあります。ASEAN諸国との発展段階の違いが補完関係をもたらし、アジア全体の経済の伸びにもつながります。サプライチェーンだけでなく市場のつながりも強くなり、その相乗効果がRCEPの大き



な魅力です。

課題は、参加国が多く、しかも各国の産業構造、規制、政策、考え方が違う中で、互いの国内事情、政治的な考え方、政策格差をいかにうまく乗り越えていくかでしょう。ハーモナイゼーションの考えが重要であり、各国が協力し合う意識を持たなければなりません。国家間の利害調整をどれだけうまくできるかがRCEPの経済効果を左右するでしょう。

## 技術革新がASEAN発展を加速

**白井:**AI、IoTなど技術革新が進んでいます。これまでは、まず米国、日本など先進国で市場が広がり、その後、新興国、発展途上国に広がりました。今はeコマースやフィンテックがインドネシア、中国、アフリカなどで広がりを見せています。金融インフラが整備されていないがゆえに、最新技術を真っ先に取り入れるという逆転現象も起こっています。フィンテックに限らず、AI、IoTな

どデジタル技術を社会の中でどう活用していかは大変重要です。ASEANが技術革新の成果を生かして成長を加速させることは可能でしょうか。

**チュア:** デジタル経済はASEANの経済成長の大きな原動力になると思います。AIやIoTは間違いなくその一つで、現時点でも観光、ツーリズム振興の情報提供に関わるインフラ整備は進んでいます。データセンターや通信機能の整備も急速に進んでいます。2、3年ほど前までミャンマーでは携帯電話が通じませんでしたが、今や普及率は90%以上です。ベトナムでも中間層でインターネットが利用されています。ASEANではeコマースやインターネット技術の応用開発などが可能な状況になっています。分かりやすい例が、世界で注目を集めている米国の配車サービスUBERです。シンガポールでも同様のサービスとしてGrab Taxiが急成長しています。世界の最新技術はASEAN域内でも活用されているのです。今まで技術を持たなかった国が先行導入するケースもあります。これは新技術導入の際、障害となる既存のシステムがないからです。IoTに関する情報を新聞やニュースで見る機会が増え、新しいスマートシティをつくりたい、新しいインターネット技術を活用したいと考えるようになってきました。

フィンテックもASEANの経済成長を支えるコンセプトの一つです。シンガポールでは金融分野を中心に、応用開発を広げています。ASEANでは、携帯電話の口座を持つ人が銀行口座を持つ人よりはるかに多くいます。最新のサービスへの信頼が高く、フィンテックもASEANの人々は自然に受け入れます。アフリカのケニアでも携帯電話での送金、貯金が進んでいます。ASEANではさらに速いペースで普及していくでしょう。シンガポールテレコムなどは、フィンテックを未来産業とする構想もあります。シンガポールにはフィンテック関連の企業が現在200社以上あり、世界の企業がシンガポールに拠点を置き、応用開発しています。

**白井:** 従来の常識では、銀行口座を作らなければ金融サービスが受けられませんでした。ところが、例えばインドネシアでは銀行口座を持っていない人が人口の半分以上いるにもかかわらず、携帯電話を持っていれば、銀行口座がなくても送金できるようになっています。完全に発想が逆転しています。フィンテックのインフラやサービスは、シンガポールがリードする形でASEAN全体に普及していくのでしょうか。

**チュア:** そうですね。ただ、シンガポール政府は、フィンテックには大きなリスクもあると考えています。政府も企業も新たな産業として育成、振興に取り組んでいくことが重要です。シンガポール中央銀行も政策によって、多くの企業がフィンテックを実験的

に利用できるシステムを作っています。金融システムはうまく構築、運用しなければリスクを生み、消費者に影響を及ぼします。金融革新のためには、やはり実験的な段階から慎重に取り組みなければなりません。

シンガポールは、すでにフィンテックのテストフィールドの場になっています。政府は世界の金融システムに関わる課題をフィンテックで解決するイノベーション開発に力を入れています。企業から技術をうまく取り入れ、フィンテック開発に応用することがカギを握ります。シンガポールがリードしていますが、ASEAN各国も前向きに取り組んでいます。新しいビジネスモデルや技術が生まれることも十分考えられます。



## 「南アジア」経済圏の可能性

**白井:** 昨年合意したTPPについては、ASEANの中でシンガポール、マレーシア、ベトナムのようにすでに参加している国と、タイ、インドネシアのようにまだ参加していない国があります。AECとTPPが並行して進んでいくわけですが、ASEAN各国はどのように対応していくのでしょうか。TPPに参加する国が増えるのか、あるいは、TPPとAEC両方に参加する国、一方だけの国が存在する形で進むのでしょうか。

**チュア:** それぞれの国は利害を検討している状況だと思います。国により政策の違いはあります。例えばベトナムは、米国への輸出を増やしたい、TPPに加盟していない中国ともっと親密になり

たいと考えています。TPPとAECの参加判断は国によって異なりますが、そうだとすると、経済を自由化し、国を成長させるという考えと矛盾はないと思います。ただ、TPP、AEC両方に参加したほうがスムーズに経済発展していくと思います。

長期的かつ安定的に国の成長を継続させるためには経済開放は効果的です。経済開放を持続できなければ最終的に自国の競争力が落ちるため、ASEANに自由経済を定着させようとしているわけです。ただし、自国に合ったグループに参加することは重要です。実際、あるグループに入り、他のグループには入らないとしても経済を開放していく考えとの矛盾はないはずで

**白井:**ASEANの西には、大国インドがあります。中国経済が減速してきたことありますが、2015年はインドの経済成長率がつ



いに中国を超えました。ただし、中国がインドと同程度の経済規模だった時代は成長率が10%以上だったことを考えると、インドは本来の力をまだ発揮していないとも考えられます。将来はインド周辺国を含め、特に海洋のつながりで“インド洋経済圏”ができるという声も聞かれます。ASEAN側からみて、インドとその周辺国の成長をどのように展望されますか。

**チュア:**インドのモディ首相は、開放政策をはっきり示しています。自ら外資を誘致する姿勢も見られ、何度も中国、米国などを訪問しています。経済自由化、スマートシティ開発も推進しています。インドは大国ですから急速な開放は困難ですが、世界市場を見据えた動きは着々と推進しています。

インドとバングラデシュ、パキスタン、スリランカなど南アジアの

周辺国は政治的な要素が入るため協調は難しいでしょうが、南アジアはASEANにとって重要な経済圏です。飛行機ならシンガポールから3時間半～5時間で行ける距離です。シンガポール、インド間の就航数は1週間当たり600便以上あります。おそらくインド、中国間の約5～10倍です。シンガポールには南アジアからの移民が全人口の7%程度暮らしており、昔から文化的なつながりもあります。最も密接な経済圏であることは確かです。シンガポールにあるインド企業は現在約8,000社あります。シンガポールが直接投資する国としてはインドが最大です。インドの工業団地、発電所、港、通信など、全てのインフラ開発に投資しています。eコマースも非常に活発です。インド経済が成長していけば、ASEANとの連携が一層進みます。経済成長の相乗効果はかなり期待できます。

**白井:**英国の離脱もあり、EUが苦しんでいます。ドイツを除く国は経済も苦境にあります。ASEANからEUの現状をどのように見ておられますか。

**チュア:**EUは経済だけでなく通貨も統一するなど野心的な統合をしました。国による経済構造の違い、所得格差がありながら、通貨を統一すれば不均衡が生じます。加えて、短期間に加盟国を増やしたために、国家間の格差が統合に影響を及ぼしています。一部の社会政策についても統合しました。今大きな問題となっている移民政策は代表例ですが、国民に直接影響が及び、逆効果になってしまいました。

ASEANはスタート地点が違いますし、野心的な経済統合でもありません。プラス面を重視して確実な経済効果をめざし、政治的な問題もうまく考慮しながら進めています。

ミャンマーがASEANに参加することを他国が批判しても、ASEANは加盟を認め、ミャンマーは軍事政権を崩さずにきました。各国の主権を尊重した上で、加盟を促してきたのです。ASEANは格差を認識し、ペースを調整しながら、統合すべきことは統合し、難しいところは時間をかけて議論と調整を進めています。ASEANがEUのようなステップを踏まなかったことは先見性があったのかもしれませんが。

## ASEANをイノベーションの発信地に

**白井:**中国は非常に重要なマーケットですが、突然のルール変更や国産化など、政策が大きく変わるリスクもあります。その点、ASEANへの投資は安心できるように思います。これまで日本企



業がASEANに貢献できたこと、できなかったことはありますが、これからASEAN側が日本企業へ期待することは何でしょうか。

**チュア:** 日本企業は、伝統的にハードウェアが強く、ソフトウェアが弱い。ソリューションが比較的弱いことは確かです。日本企業は、顧客と接触して、その需要に応じて設計していく部分が弱いと思います。標準型のモノを作り、機能が優れ、品質が良く、デザインが良い、それで顧客が購入してくれるというハードウェア主体の考え方はもう時代遅れです。今の経済はアプリケーション、つまり応用力が求められます。顧客のニーズにいかにか短時間で対応できるかが重要です。顧客の多様化が進み、それに対応できる技術はそろっています。日本企業は新しいビジネスモデル、プラットフォームを作っていかなければなりません。例えばアプリのような事業は以前から日本企業もやっていました。ただ、他の企業でも応用できるようにオープンなプラットフォームにしなかったため、経済効果が出にくかったのです。ASEANや中国でも、労働賃金の安さを求めて渡り鳥のように動く旧来の日本企業の考え方では通用しません。どの国も自国の政策を持ち、それぞれの条件を打ち出し、以前より存在感を高めています。日本企業は、ASEAN市場をイノベーションの場として捉えるとよいと思います。いかにアイデアを出し実行していくかを考えていく。日本企業がやらなければ、中国企業、ASEAN各国の企業がやる

でしょう。そう考えると、やはり日本企業は従来と同じ絵は描けません。ASEANでは何ができるのか、ASEANは何を求めているのかを考え、そこから双方が発展するチャンスをつかんでいけると思います。

90年代に、私は経済開発庁に在籍し日立と共同で中国に投資したことがあります。シンガポールは中国で工業団地をつくった経験があり、シンガポールと共同なら、ということで日本企業も中国へ進出しました。今は当時とは違い、それぞれの国の進出の条件、環境は異なり、それぞれの事情に対応しなければなりません。どのようにアジアの企業と競争、連携していくかで得られる成果が変わると思います。

日本はイノベーションの力が強い国です。イノベーションは、マーケティングの力と企業の技術力の両方がなければ生まれません。技術力があっても市場分析ができなければ実現しないのです。

インターネット社会は、ソリューション、プラットフォームの社会で、国や企業と連携しながら、時代に沿った新たな仕組みを整備しなければ勝てません。日本企業に必要なのは、戦略的なパートナーシップです。日本企業はパートナーシップがあまり得意ではないため、さまざまな可能性が縮まってしまう。今後、ASEANだけでなく中国に対しても、ビジネスモデル、プラットフォームを

カスタマイズ、ローカライズし、対等のパートナーシップ構築に力を入れ、成功につなげることが必要です。

**白井:** チュアさんはさまざまな国と仕事をされているので、大変国際的な感覚をお持ちです。日頃から大事にされている信条をお聞かせください。

**チュア:** 私にとって一番大事なのは、正しいことを正しく行うことです。そして、正しいことを行うために、まず実験することです。革新的なものは実験から生まれます。テストして失敗したら、修正すればよいのです。

一方、間違ったことを正しく行くと、自殺行為になります。何が正しくて何が間違っているのか、その判断力がカギです。何が正しいかを判断するには、やはり観察力や方向性を見極める力などの基本的要素が重要です。

複雑な社会の中では課題も複雑化し、何を基準にすれば良いのか、何をやるべきなのか分からなくなることがあります。そういうときは、もう一度原点回帰する。人生の正道に戻り、再度判断します。“Doing right Things right”。考えるだけでなく、実行することが大事です。実行能力も加えなければいけません。経済政策も同じです。正しい政策を打ち出しても実行できない場合、それが戦略的に間違っていると理由付けて修正してしまったら、それで終わってしまいます。正しい戦略、それを実行する能力、ストラテジック・パースペクティブというコンセプトを持って取り組むことが大切です。

**白井:** 「正しいこと」は基本的に国が変わっても共通ですね。

**チュア:** その国にとって何が正しい政策なのかは、皆理解しているはずですが、では、なぜ実行しないのか。例えば、オープンにすればよくて、なかなかオープンにできない。ならばオープンにできないところを解決すれば良いのです。実行できないから悪い政策だと考えるかもしれませんが、本当は正しい政策で、その戦略は間違っていない。判断力、観察力が必要とされます。

今はオープンイノベーションの時代です。日立は研究開発に強い会社ですが、イノベーション社会では、一番良い研究開発をどのように取り入れるかが重要です。他企業が行っていることは正しいのか正しくないのか。それを判断する能力がないために、自分がいつも正しいと分析してしまい、これを継続するケースもあります。イノベーションの領域では、場合によってはコンセプト、マインドを変えなくてはなりません。

先ほどの“Doing right Things right”には、do, rightなど言葉の一つ一つに深い意味があります。それをベースに仕事をすれば、自分をガイドできると思います。

**白井:** 「正しいこと」を実行するに当たり、方法は変われども、そもそも正しいことを前提に取り組めば間違えることはないですね。

**チュア:** そうです。正しいことは、実行力があればできます。ただ、間違ったことを正しく行えば大変なことになります。仕事に慣れてくると同じようなことを繰り返しますが、その考え方、やり方は時代遅れかもしれません。時代が変わっていることに気付かない人は大勢います。

シンガポールも日本もそうですが、過去30年、40年と続いてきた成功モデルがこれからも通用するとは限りません。むしろ邪魔になる場合もあります。それを捨てられるかどうかなのです。日本の場合は失われた二十数年がありますが、シンガポールも同じ道を歩む可能性があります。成功体験が長く続いているから、同じやり方でうまくいくと考えれば間違いなく失敗します。ある日突然企業が消えてしまう、今は、それほどリスクな時代なのです。

**白井:** 本日は貴重なお時間をいただきまして、ありがとうございました。

## 編集後記

今回は、シンガポール国際企業庁副長官でありますチュア・テック・ヒムさんからASEANが抱える現在の課題や今後の展開についてお話を伺いました。

ASEANが今後ますます成長していくためには、参加国の貿易・投資を促進していくこと

や、周辺国の成長力を取り込んでいくことが重要であり、そのためには国家間の利害関係をうまく調整することが必要と伺いました。また、顧客の多様化が進む中において、日本企業には地域の条件を受け入れながら事業を展開していくための応用力が求められているというお話は非常に示唆に富むものでした。



# 気候変動適応への各国政府と企業の取り組み

シニアストラテジースタッフ 坂本 尚史  
 グローバル政策・経営研究センター 主管研究員 城野 敬子

2015年12月のCOP21（国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）で成立したパリ協定は、すべての国が参加する気候変動に関する国際的な枠組みとして注目を集めた。COPにおいては、長年にわたって各国の温暖化ガス排出削減（「緩和」）の目標値が議論され、交渉が難航したが、同時に検討されていたのが、気候変動の影響を軽減する「適応」施策であった。本稿では、COPでの交渉と並行して進められてきた各国政府と企業の「適応」に関する先進的な取り組みを概観する。

## 1. 気候変動問題における適応策

### 1.1 適応策とは

気候変動の顕在化に伴い、気候変動「緩和」策に加え、「適応」策への注目が高まっている。「適応」とは、既に顕在化しているか、あるいは将来予想される気候及びその影響に対する調整の過程（IPCC第5次評価報告書第2作業部会報告書Box SPM.2）と定義される。具体的には、温室効果ガスの増大による高温化や降水など気候の変化がもたらす自然・経済社会・生活への影響があった場合の感受性（影響の受けやすさ）を改善したり、影響を回避・軽減する適応能力を高めることで、その影響を軽減することである（図1）。

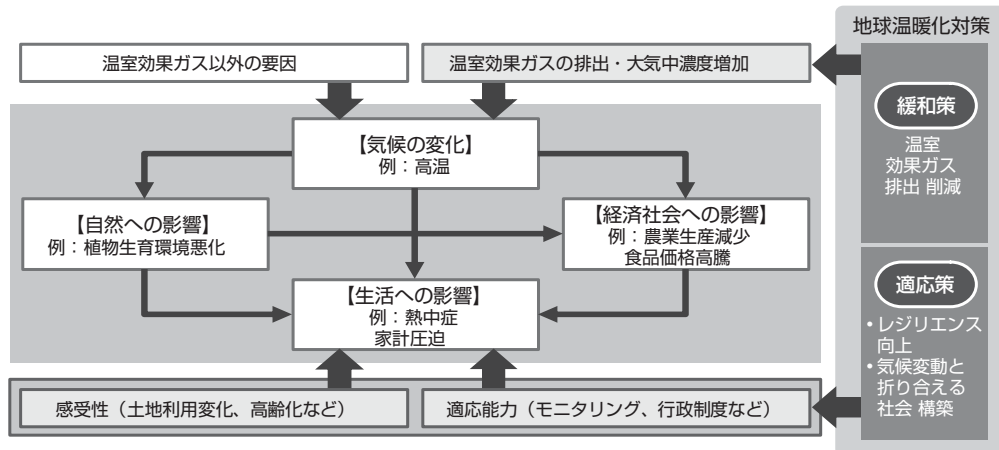
例えば、高温化は、熱中症の増加など生活への直接

的影響をもたらすほか、植物生育環境の悪化など自然への影響、ひいては農業生産の減少・食物価格の高騰という社会経済への影響、家計圧迫などの生活への影響も引き起こす。これに対し、緑化によるヒートアイランド化の抑制や高温耐性品種の開発・普及による農業生産の確保などの適応策が考えられる。

頻発する欧州の大洪水、中国やインドの旱魃（かんばつ）など各地で顕在化する気候変動の影響に対し、既存のインフラでは対応しきれず深刻な被害が発生しており、気候変動の影響を軽減する適応策の重要性が増している。2007年11月に採択されたIPCC第4次評価報告書統合報告書においても、適応策、緩和策のいずれも、単独では気候変動のすべての影響を避けることはできないが、両者を相互補完的に実施することで、気候変動に伴うリスクを大きく低減できると明言している。

### 1.2 各国が着手する適応策

気候変動に対する適応策の重要性についての認識が高まるとともに、適応策を推進する国も急速に増加している。図1に示すとおり、OECD加盟国において、適応戦略・適応計画策定の動きが広がっているが、中国、タイ、ツバルなど一部の新興国では既に国家適応計画を策定している。



資料：三村信男、太田俊二ほか「気候変動適応策のデザイン」（2015年3月31日）より日立総研作成  
 図1 気候変動の影響と緩和策・適応策

表 1 OECD 各国の国家適応戦略・国家適応計画策定状況

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
国家適応戦略	フィンランド	チリ フランス スペイン	オーストラリア メキシコ オランダ	英国 デンマーク ドイツ ハンガリー		ベルギー 韓国 ポルトガル		オーストリア アイルランド スイス トルコ	チェコ エストニア ギリシャ イスラエル イタリア	ノルウェー ポーランド スロベニア スロバキア
国家適応計画		スペイン		フィンランド	メキシコ		フランス ドイツ ルクセンブルク オランダ	オーストリア デンマーク トルコ	英国 ベルギー チリ エストニア ハンガリー	イスラエル ポーランド ポルトガル スロベニア スイス

資料：OECD, Water and Climate Change Adaptation (2013年) より日立総研作成

一方、国連レベルでも、気候変動枠組条約の下で、「適応策に対して、緩和策と同レベルのプライオリティ付けを行う」ことに合意した(2010年COP16)。2015年には、2020年以降の新しい温暖化対策の枠組みを検討するCOP21で、適応策加速のための施策が議論され、世界全体の適応の目標設定、各国の適応計画立案過程・行動の実施、適応報告書の提出・更新、国際協力などを決定した。

こうした動きを受け、日本政府も、2015年11月に「気候変動の影響への適応計画」を閣議決定した。今後、省庁横断的に「農業・森林・林業、水産業」「自然災害・沿岸域」「国民生活・都市生活」など広範な分野での取り組みを推進する計画である。

なお、前述したパリ協定にて、世界全体の適応目標を設定することが規定されたものの、定量目標の設定には至っていない。従って、現時点では、国連レベルで合意された適応目標が、各国目標に展開されるといった推進施策のピラミッド構造は確立していない。そのため、国連の気候変動枠組条約の下でのフレームワーク作りの解説については、別稿に譲り、本稿では先進的な国家適応プログラム策定の取り組みと、一部の企業が着手している事業を通じた適応策への貢献の取り組みを概観する。

## 2. 先進的な国家適応プログラム策定：英国の例

わが国においても適応計画の具体化が課題となる中、英国政府は、他国に先駆けて企業と連携した適応策を展開することで、英国企業の競争優位確立まで視野に入れた政策を推進している点が注目される。

英国は、気候変動緩和策と適応策に関し、2008年

気候変動法(The Climate Change Act 2008)を制定した。本法律により、適応については、気候変動リスク評価、英国適応プログラムの策定を行うことが定められた。これに基づき、2009年には、英国政府が、21世紀末までの英国の気候変動を予測したUK Climate Projections 2009(UKCP09)を発表し、2012年には、国としてのリスク評価であるUK Climate Change Risk Assessmentを発表、その上で、2013年7月に国家適応プログラム(National Adaptation Program)を発表している。

英国の適応策において、これら政府の取り組みとあわせて、重要な役割を果たしているのが、Adaptation reporting powerの実施である。Adaptation reporting powerとは、国民生活に不可欠なサービスとインフラの関係組織・事業者が、気候変動のリスクと対応計画を政府に報告する義務を2008年気候変動法で定めたものである。この報告は、①気候変動リスク管理への組織を促進すること、②公共サービスやインフラの気候変動に対するレジリエンス(耐性)を高めること、③主要部門の対応状況を監督することを目的としている。

Adaptation reporting powerに基づき、2010年12月から2011年12月にエネルギー、輸送、水などの分野に属する100社以上が報告書を提出した(第1ラウンド)。

報告書には、①組織の機能、②気候変動による現在および将来のリスク評価、③リスク対応策が含まれる。クレインフィールド大学の分析によると、本報告書作成・提出の効果として、政府がインフラや公共サービスに予測される気候変動リスクと対応状況を把握したことに加え、①各インフラ・公共サービスを運営する組織が気候変動リスクを可視化し、リスクマネジメント

トプロセスに気候変動リスクを組み込んだこと、②リスク対応への障壁やインフラ間の相互依存性についての認識が高まり、分野横断での取り組みへの契機となったなどが報告されている。

今後、第2ラウンドとして、2016年中に再度報告を行うことが求められているが、第1ラウンド参加組織に加えて、海洋管理、漁業、医療・介護、消防など、より広範な分野の組織が報告の対象となっている。

国としてのリスク評価である UK Climate Change Risk Assessment は、5年ごとに行われることとなっており、今回は2017年1月までに発表が予定されている。また、国家適応プログラムも5年ごとに見直す予定であり、2018年には新しい国家適応プログラムが発表される。現在、政府に提出・公表されつつある Adaptation reporting power に基づく第2ラウンド報告は、2017年のリスク評価、2018年の適応プログラム策定へのインプットとして活用される。

このように、英国政府は、政府としてリスク評価や適応プログラムの策定を行うことに加え、国民生活に不可欠なサービスやインフラを提供する組織に情報提供を求めることで、これら組織の対応状況を把握するとともに、各組織のリスク認識・リスク対応を促進する仕組みを構築している。

### 3. 適応対策に取り組む先進企業の動向

国連のユニークな取り組みとして、「Private Sector Initiative (PSI) : database of actions on adaptation」がある。PSI は、UNFCCC (国連気候変動枠組条約) 事務局が、2011年に立ち上げたデータベースであり、革新的な適応対策への民間企業の取り組み(ケーススタディ)を当該企業自らが提出・登録する仕組みである。企業の自主的な取り組みであるため、実行レベルには濃淡があるものの、先進的な取り組みの切り口やノウハウを学ぶことができる。2016年9月末現在で、102件のケーススタディが登録されているが、残念ながら日本企業の登録は2件にとどまっている。前項で述べた英国政府の国家適応プログラムと連携している英国企業のほか、米国企業の取り組みも目立っている。以下、PSIに登録されたケーススタディから、日本企業への示唆となる三つのポイントをまとめる。

#### 3.1 気候変動影響の詳細な定量評価

民間企業にとっては、洪水や早魃などの気候変動に伴うサプライチェーンへの影響を評価することが、企業としてのリスクマネジメントの出発点である。例えば、食品業にとっては、海外における原材料の調達が困難になることは死活問題である。多くの業界で、先進企業が自社のサプライチェーン上のリスク評価に取り組んでいるが、定量評価は必ずしも十分とは言えない。こうした中で、英国 Maplecroft 社などは、独自に定義した評価指標により、個別企業のリスク評価を支援するサービスとツールを提供している(表2)。また、米国 Cisco Systems のように、一企業の枠を超えて、中央・地方政府の政策当局者の意思決定を支援するシステムの開発を進めている例もある。

表2 気候変動影響の詳細な定量評価の取り組み

企業	取り組み	対象地域
Maplecroft (英国)	・独自の Risk Atlas にて 25km <sup>2</sup> 分解能で企業リスクを評価(自社開発した Climate Change Vulnerability Index を活用)	英国含む 193 カ国
Acclimatise (英国)	・企業の海外投資プロジェクトの気候変動リスクを定量評価し、リスク対策を提案するウェブベースのツールを開発	中南米
Cisco Systems (米国)	・NASA との共同研究にて、自然界からセンサーなどで得られる Big Data を活用した適応対策の意思決定システム(政策当局者向け)を開発中	北米 インド ブラジル

資料：Private Sector Initiative より日立総研作成

#### 3.2 社会インフラシステム全体の再評価

水・電力・鉄道といった社会インフラに関する適応対策は、2項で述べた英国を始めとする各国の取り組みが進展しており、インフラ関連企業は、政府と連携して、気候変動が与えるインフラシステム全体への影響を再評価し、長期的な視点で段階的に対策を行っている。典型的な例は、水分野における英国 Thames Water 社の取り組みであり、2035年に向けて水供給システム全体を気候変動適応、サービス効率・品質の視点で見直している(表3)。これは、適応対策という長期的な課題を契機に、インフラ関連企業が、長期事業戦略の本格的な見直しを行ったものとして位置づけられる。また、電力分野では、ポルトガルの電力会社 EDP のブラジル子会社 EDP Energias 社が、本国親会社の技術とノウハウを活用して、センサーネットワークにより雲間の日差しなどをモニタリングし、5km<sup>2</sup> 分解能で24時間後の気象条件を予測するシステ



ムを Smart Grid（先進的な電力システムシステム）に統合している。このように、先進国で開発された技術を新興国の実態とニーズに合うかたちで再構築して実装する取り組みが、今後増えていくと考えられる。

表3 社会インフラシステム全体の再評価の取り組み

企業	取り組み	対象地域
Thames Water (英国)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2035年に向けて水供給システム全体を気候変動適応、サービス効率・品質の視点で見直した戦略ペーパーを策定</li> <li>・2020年に向け「洪水レジリエンス」向上施策を推進</li> </ul>	英国
EDP Energias (ブラジル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサーネットワークにより日差しなどをモニタリング、5km<sup>2</sup>分解能で24時間後の気象条件（気温、降雨量、風向、湿度）を予測するシステムを開発し、Smart Gridに統合</li> </ul>	ブラジル
国際鉄道連合 (国際団体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄道インフラ適応プロジェクトにより、資産の脆弱（ぜいじゃく）性評価、標準対策を立案</li> <li>・天候、気候、自然災害の影響と鉄道サービスのパフォーマンス管理手法を検討</li> </ul>	欧州 インド

資料：Private Sector Initiative より日立総研作成

### 3.3 ファイナンス・スキームの革新

PSIによると、多くのファイナンス企業が、気候変動による農作物被害に対する保険を開発している。例えば、損保ジャパン日本興亜は、国際協力銀行（JBIC）と協力して、タイの農家向けに「天候インデックス保険」を開発し、2010年から提供している。この保険は、タイ気象庁が発表する累積降水量が一定値を下回った場合に一定の保険金を支払う仕組みとなっている。タイでは精度が高い天候インデックスを活用できたほか、保険になじみがない農家にもわかりやすい商品を開発したことなどが成功要因とされている。HSBCも、同様の保険商品をブラジルで提供している。また、ミュンヘン再保険が、パートナー企業と連携して、気候変動リスク手法を開発するとともに、気候変動と被害に

表4 ファイナンス・スキーム革新の取り組み

企業	取り組み	対象地域
損保ジャパン日本興亜 (日本)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JBICと協力して、タイの農家向けに「天候インデックス保険」を開発・提供開始（累積降水量が一定値を下回った場合に保険金を支払う）</li> </ul>	タイ
ミュンヘン再保険 (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国連大学、パートナー企業と連携して、気候変動リスクの管理手法、適応対策の優先順位付けなどを検討</li> <li>・気候変動の実態と被害に関する高精度のデータを整備</li> </ul>	途上国

資料：Private Sector Initiative より日立総研作成

関する精度の高いデータを整備しつつあり、今後は、保険商品も多様化していくと予想される。

## 4. 官民連携イニシアチブの必要性

世界規模での適応対策の推進状況を見ると、適応対策をリードしているのは、先進的な国家適応プログラムを策定している英国などの政府と、これら公的な取り組みと連携して長期事業戦略の見直しを行っているインフラ関連企業などで構成される官民連携イニシアチブである。欧州各国や米国も同様の取り組みを行っているが、特に、海外展開における英国の戦略性が目立っている。一方、日本では、閣議決定された「気候変動の影響への適応計画」に基づき、省庁横断的に推進計画の具体化が行われている。環境省は、2016年8月、「気候変動情報プラットフォーム」を立ち上げ、都道府県レベルでの適応計画策定を支援するための情報提供を開始した。今後は、日本においても、産業界における適応対策の具体的な検討、特にインフラ関連企業による重要社会インフラ全体の脆弱性評価と対策が進展する。日本の技術とノウハウを活用して、途上国・新興国における適応対策の立案・実行に貢献すべく、官民連携イニシアチブを組成することも検討する必要がある。

## Adaptation to the adverse effects of climate change – A UNFCCC perspective

Youssef Nassef\*

Director of the Adaptation Programme  
UNFCCC secretariat

*\*The views expressed in this presentation are those of the author, and do not necessarily represent the opinion of the United Nations.*

*Youssef Nassef is the Director of the Adaptation Programme at the UNFCCC secretariat, where he has worked for the past 17 years, covering the adaptation cycle from research and systematic observation to planning and implementation. Before that, he was a diplomat with the Egyptian Foreign Service and a climate change negotiator since COP 2. He has also recently been entrusted with coordination of coherent implementation by the UNFCCC of cross-cutting elements of the Paris Agreement. He holds a bachelor's degree in Physics and Computer Science, Master's degrees in Middle East Studies and in International Environmental Policy, and a PhD in International Technology Policy*

The **evolution** of the concept of adaptation and resilience to climate change under the process spurred by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) can be considered to have evolved through a phased approach. The first phase concentrated on assessments of vulnerability and impacts in order to enhance understanding of the potential adverse effects that could beset a country under a wide range of possible global warming scenarios. The second stage was characterized by higher precision in these assessments based on improved modeling and observations as well as actually observed impacts. This eventually led to our current phase which introduces the potential for a more holistic consideration of adaptation within the context of the internationally-agreed global warming limit and associated adaptive capacity that corresponds to this warming limit.

The abovementioned **holism** in treating adaptation is anchored in an **international** conceptual structure that is underlied by an

overarching adaptation goal: enhancing adaptive capacity, strengthening resilience and reducing vulnerability to climate change. This goal aims at contributing to sustainable development and ensuring an adequate adaptation response in the context of the temperature (or mitigation) goal of “holding the increase in the global average temperature to well below 2 degrees above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 degrees above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change” (UNFCCC COP Decision 1/CP/21). Injecting a coherent oversight into the international adaptation process is an Adaptation Committee which serves as the overall advisory body on adaptation under the UNFCCC process, and provides associated recommendations to the supreme decision-making global body on climate change – the Conference of the Parties.

This holism is aided by a **complementarity** of processes and visions at the **national** level. Armed with over a decade of experience in

vulnerability and adaptation assessment as well as pilot adaptation projects, countries can now consider their future resilience within the guiding perspectives of three main facilitative pillars:

- The Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations, which provide a blueprint for eliminating poverty by 2030 including through synergy attained across 17 goals aimed at enhancing human wellbeing in a variety of areas. Most of these goals double as proxies for the tenets of adaptive capacity. Countries are starting to integrate the SDGs into their planning frameworks which, themselves, serve as virtual depositories of proposed adaptation responses as these get mainstreamed into development planning;
- The abovementioned agreed warming limit of *way below 2 degrees and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 degrees above pre-industrial levels* provides a reasonable boundary condition for the first wave of holistic adaptation planning efforts currently under way at the national level. This implies that the vulnerability assessments of countries can now be framed using the projected impacts of an average global warming scenario of 2 degrees. This which would make their assessments more pointed and policy-relevant than previous assessments that included a far wider range of warming scenarios, typically up to 4 degrees.

- Complementarity between planned adaptation on the one hand, and residual risk and its associated contingency arrangements on the other, paves the way for a synergistic link and feedback across these two families of adaptive response. This synergy promises further optimization of cost effectiveness and efficiency, and spurring new and innovative financial instruments that could cater to the types of eventualities envisaged by such adaptive responses. A number of bilateral and multilateral entities are supporting the process to formulate and implement national adaptation plans (NAPs) and other adaptation planning efforts in developing countries. At the same time, the discourse on the use of innovative financial instruments to address climate risk, including residual impacts, is ongoing within the context of the Warsaw International Mechanism on Loss and Damage, established by the COP at its nineteenth session.

Additional impetus is provided by the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 as it sets out global goals for reducing existing disaster risk and preventing new disaster risk, both of which are central to adaptation efforts.

Many envision a dramatic **transformation** in the world's techno-economic paradigm within the next two decades, not least due to the impending quantum evolution in our energy systems, and its associated implications on transportation, energy utilities, and geopolitical relations, to name but

a few. Less evident is the expected parallel transformation in human wellbeing, catalyzed by the collaborative forces of increasing adaptive capacity and achieving the SDGs by 2030. The agreed 2030 timeline for eliminating poverty is one which will have already passed two milestones: having convened the first two global stocktake sessions under the UNFCCC in 2023 and 2028, which would have assessed the aggregate progress of the world's countries in achieving the mitigation and adaptation goals adopted under the Paris Agreement of the UNFCCC. The stocktake sessions would have provided recommendations for course corrections where relevant. At the same time, countries would have made significant progress in the process of formulating and implementing their NAPs as well as have annually reported their progress against the targets of the SDGs. In the longer term, it is hoped that countries would have therefore had in place socioeconomic systems that both use the insights from building adaptive capacity in ways that protect countries from a variety of external shocks, as well as ensure that gains under the SDGs are not reversed.

A notion of “**forward resilience**” can be hereby introduced. The traditional understanding of adaptation and resilience evokes the objective of “bouncing back” to a previously existing desired state, i.e. to where we were before the climatic stimulus (or another external shock) imparted its impact. In the new thinking in which we are transitioning into a world that has developed internal momentum geared towards eliminating poverty and inequality for the first

time in history, adaptation and resilience would not seek to hark back to an earlier state, but rather to the future aspired state defined by an SDG-achieved world. Adaptation measures become the catalyst to achieve *forward resilience* – resilience that enables and empowers a society to leapfrog towards a future world of wellbeing that is defined by the SDGs and their targets, and yet one that has never been experienced before. The global and national systems that will be put in place in the next few years will help transition the world into this climate resilient and SDG-achieved context, and should be mindful of attaining this new state in ways that avoid the creation of a new reality of *haves* and *have-nots*.

Back to the **operational level**, the UNFCCC process has established a system of support within the negotiating process and the UNFCCC secretariat, and has also catalyzed the creation of other support processes that operate more autonomously.

The abovementioned Adaptation Committee is one of three **constituted bodies** on adaptation. The others that are of relevance include the Least Developed Countries Expert Group, which provides technical support to the NAP process, and the Executive Committee of the Warsaw International Mechanism on Loss and Damage, which is engaged in enhancing knowledge and understanding of comprehensive risk management approaches as well as action and support to address loss and damage. These constituted bodies serve as a bridge between the global consensus established by the world's negotiators

under the UNFCCC on the one hand and the various support entities and stakeholders that help further the methodological underpinnings of adaptation as well as in-country support to vulnerable developing countries. Their convening power and catalytic capacity enable them to achieve far-reaching progress on incubating new areas of discourse in adaptation, promoting synergy and coherence, and reaching informed proposals for moving the process forward through recommending these proposals for adoption by the UNFCCC negotiating process.

Underlying this work is the **knowledge** hub of the UNFCCC, which is named the Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation. This serves not only as an online knowledge hub for adaptation, but also as a partnership programme that engages over 300 entities of different types – e.g. NGOs, research institutions, international and regional entities, etc. – that align their work with the adaptation objectives of the UNFCCC. Many of them have contributed action pledges in support of adaptation action relevant to the furthering of adaptation knowledge.

In support of national adaptation action, the UNFCCC process has mandated the establishment of a number of entities for the provision of **finance, technology and capacity-building**. The Green Climate Fund (GCF), which is starting to operate actively, has already approved support for adaptation projects and programmes in excess of 320 million dollars. Adaptation support under the GCF builds on the experience of the already

existing Adaptation Fund, Least Developed Countries Fund and Special Climate Change Fund, all of which were established by the UNFCCC process and have provided significant support for adaptation over more than a decade. Complementing the provision of funding is the Technology Mechanism, the main pillar of which is the Climate Technology Centre and Network which provides “technology solutions, capacity building and advice on policy, legal and regulatory frameworks tailored to the needs of individual countries” (<https://www.ctc-n.org>).

The UNFCCC machinery of multiple processes and entities that work together in an interconnected and synergistic way to support adaptation does not operate in isolation. It links out to the system of **non-State actors** including “civil society, the private sector, financial institutions, cities and other subnational authorities, local communities and indigenous peoples” (UNFCCC COP Decision 1/CP.21). Together, the UNFCCC system and non-State actors operate within the **long term context** of achieving resilience at the subnational, national and aggregate global levels, with a view to forging a new global reality where adaptive measures and systems galvanize *forward resilience* towards a world with no poverty nor inequality of opportunity for sustainable development.

## 学際的・実践的な気候変動適応科学

早稲田大学人間科学学術院  
教授 太田 俊二

(おおた しゅんじ) 1967年愛知県清須市生まれ。1991年早稲田大学人間科学部人間基礎科学科卒、1996年早稲田大学大学院人間科学研究科生命科学専攻博士後期課程修了、博士(人間科学)取得。日本学術振興会特別研究員、早稲田大学人間科学部・助手、1999年山梨大学工学部・助教授。2001年早稲田大学人間科学部・助教授などを経て、現職。2012年から気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)・プログラムオフィサー。2015年より気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)・アドバイザー。

### CONTENTS

1. 気候変動適応策の時空間スケール
2. 気候変動適応策立案の大まかな流れ
3. 先行する気候変動適応策の事例
4. 気候変動に適応できる社会の構築をめざして—学際的・実践的な気候変動適応科学の必要性

文部科学省の大型プロジェクトである気候変動適応研究推進プログラム(Research Program on Climate Change Adaptation: RECCA)は2010年にスタートし、5年間の研究期間中に数多くの科学的成果を得ただけでなく、最終成果物の一つとして出版された適応策策定の指南書(三村ら, 2015)に大きな特徴があった。この書物は、同時期に進行していた環境省環境研究総合推進費の戦略研究開発領域S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」とRECCAの共同出版物であり、省をまたいで成果を簡潔にまとめたという点も特筆すべき点である。また、気候変動適応策の必要性を説くだけでなく、政策立案に近い立場にある人々に役立つ知見を集めた初めての書物であった。しかしながら、政策立案者にとっては理解が困難な説明が多いという批判もあった。そこで本稿では、まずこのような批判を踏まえ、気候変動に対する適応策立案の重要な主体である行政などが科学的評価に基づいた適応策立案をするプロセスの在り方や必要な技術を概観する。次に、現状の気候変動適応研究に関する課題を述べるとともに、気候変動適応科学の特徴や今後の見通しを論じる。

### 1. 気候変動適応策の時空間スケール

1.1 気候変動適応策とは何か—地域スケールの重要性  
地球規模の温暖化は1900年代初頭から理論的には考察されてきたものの、本格的な研究展開は1980年代に入ってからである。その後、科学的な知見の蓄積とともに環境政策をとまなう取り組みが

始まったことは広く知られている通りである。その後、2000年代初頭までは、人為的な地球温暖化の根本原因である人間活動にともなう種々の微量ガスの排出を抑制しようという緩和策に重きが置かれてきた。一方で、2001年に出版されたIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第2次報告書第2作業部会のタイトルは「気候変化の影響・適応・脆弱性」となり、以降最新の第5次報告書まで一貫している。しかしながら、気候変動の影響評価研究は脆弱(ぜいじゃく)性を調べるのが中心であり、IPCC第3作業部会を中心とした経済学、エネルギー工学的な研究などをもとにした緩和策の環境政策展開に比べ、「適応」に関する具体的な研究や政策展開は出遅れていたと言ってよい。

なぜ適応研究は注目されなかったのであろうか。それは、大規模な気候変化は将来生じるものであって、いまはまだその影響はとても小さいだろうという考え方が1990年代から2000年代初頭まで主流であったからである。ところが、気象観測網が充実するにつれて、またモニタリング研究の成果が世界中から集まるにつれて、「気候変化はすでに生じている」、「気候変化の影響はもはや避けられない」という考え方が支持されるようになった。ならば、それに適応すべきであるという機運が高まったのは最近のことである。

適応研究や政策の遅れのもう一つの重要な原因は、気候モデルをはじめとした科学的な研究や緩和策の多くは地球規模で展開されることが多かったのに対して、気候変化の影響は地球規模で一律に生じるのではなく(もちろんマクロ的な影響は存在する

が)、地域によって異なるためである。一方、気候モデルはその性質から地球全体を詳細な地域単位まで高解像度化することは、コンピューターの速度が上昇してきている現在であっても非常に困難である。つまり、地域的な影響評価研究を行うためには、地域的な気候の将来予測が必要であるが、それを得るには一工夫が必要である。気候学的な将来予測に基づいた定量的影響評価を地域的に実施することは現在でも難しく、研究途上である。

それでもなお、すでに生じつつある気候変化は避けられず、さまざまな影響をわれわれは甘受しなければならないなか、少しでもそれらに適応し、持続的、安定的な人間社会をめざしていく必要がある。それこそが、気候変動適応策であり、地域規模で展開されるべき計画である。

都市域に人口が集中する地域、河川の氾濫に悩まされている地域、農業を守らなければならない地域、一口に農業と言っても水稲なのか露地物の野菜なのか、耕地の規模、など地域が抱えるこれらの問題は中長期的な気候変化によっても影響を受けるし、あるいは数カ月のうちに被害にあうかもしれない。気候変化から直接間接に影響を受ける主体は地域によって大きく異なるため、国が一律に策を講じることには限界がある。また、民間企業の場合、国内のみならず、原材料の調達地や現地生産の大規模工場など、考えるべき対象地は国外にも及ぶだろう。

## 1.2 気候変動適応策の時間スケール

以上述べてきたように、適応策を講じる空間スケールは、おのずから決まってくるであろう。しかしながら、対象とする時間スケールはさまざまであろう。

RECCA や S-8 研究によって明らかになってきたのは、科学者が想定する 21 世紀末の気候変化に適応しようというよりも、今年、場合によっては明日がどうなるのか、それに対してどのような適応策をとるべきかを知りたい人々が多いということである。農業分野で言えば、70 年後の農業よりも、5～10 年後の、あるいは今年、来年の影響を予測し、適応したいのである。それは最近の気象現象が単なる気候の「揺らぎ」以上に極端化していることを農業従事者や関係者が実感していることの裏返しでもある。作物の収量や食味が気候と密接に関係している

ため、気候変動適応策などとふりかぶるはるか以前から、少しずつ適応を独自に進めてきている分野であり、その意味では適応策がすでに始まっていると言い換えられるだろう。また、短時間に極端な大雨が降ることによって、河川流域や低地に人口が集中する地域では、水害対策分野もまた今年、来年の予測をしてほしいのだろうと容易に想像できる。

それでは、すべての気候変動適応策は短期的な取り組みだけでよいのであろうか。果樹栽培は 1 年ずつの適応ではなく、中長期的な科学的な予測に基づいて対応すべきであることは言うまでもない。水田などの耕地を気候的適域に配置して安定的に食味のよい付加価値の高い作物を得ようとするにも、中長期的なビジョンは欠かせない。河川管理や都市計画も本質的には短期的な対処の積み重ねだけでは実行できない。

企業活動もその例外ではない。短期的な収益も重要ではあるが、持続的、安定的に収益を得られる地域に活動の主軸を置き、すでに投資した地域ならば将来の（あるいは近未来の）気候変化影響を知り、適応できるよう準備する必要がある。

したがって、あらゆる分野において、気候変動適応策は、短期的だけでなく、中長期的な予測に基づいて行わなければならない。

しかしながら、ここで科学的な適応策策定には一つの大きな障壁があることを指摘しなければならない。それは将来的な気候の予測は、数十年後から数百年後の科学的な信頼性は高くなってきているが、数年程度先から 2030 年頃までの予測は非常に難しいということである。十数年という近未来の気象現象を科学的に予測するという研究はほとんどなく、その結果は気候の揺らぎかもしれないし、おそらくは現在でも経験している温度上昇の範囲におさまるトレンドを検出するだけかもしれない。

2015 年度からスタートした文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology: SI-CAT) では、近未来の気候変化を定量的に予測しようという意欲的な試みが始まっている。その成果が得られるまでは、短期的な気候変化を中長期的な気候変化と同じように論じることはできないだろう。

## 2. 気候変動適応策立案の大まかな流れ

これまでみてきたように、適応策は地域的な空間単位を想定し、数年後から21世紀末までの時間スケールの科学的な予測に基づいて策定されるべきである。では、科学的な予測はどのような手続きによって得られるのであろうか。

気候変動に対する適応策立案までに策定者が何を行う必要があるのかの概略を図1に示した。大きく分けると、(1) 気候変化の予測データの入手、整備、(2) それを用いて影響評価を実施、(3) 影響を小さくするための適応策の立案、という三つの段階を経る必要がある。

### 2.1 短期的な気候変動適応策のための準備作業

1.2 で述べたように、短期的な気候変化のトレンドを科学的に得ることは難しいため、短期的な適応策は中・長期的な適応策と途中のフローが異なってくる。短期的な気候変動への適応策とは、現在の極端な気象現象や数年先に生じるかもしれない変化への「対策」に近いものである。その意味では、多くの自治体で準備されつつある防災マップは、気候変動適応策の一つと考えてもよい。短期的な「対策」が、その後の適応策につながっていくこともありうるだ

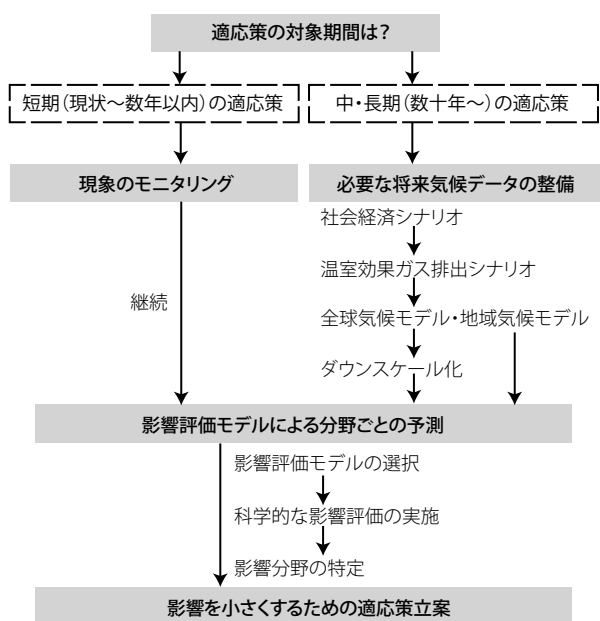


図1 気候変動に対する適応策立案までの概略(太田, 2015に一部加筆)。適応策の対象期間が短期であるのか(左のフロー)、中・長期であるのか(右のフロー)によって途中の作業内容は異なっていることに注意する必要がある。

ろう。気象災害に対する防災や減災という考え方やそれを実現するための政策は、気候変動に対する適応策として採用できるケースがある(白井, 2015)。

すなわち、短期の適応策は既存の対応策を強化することと言い換えることもできよう。先に記したように、短期の気候条件の予測に基づくのではなく、現状をよく理解し、それを「少し先へ延ばす」ものと考えるとよいだろう。そのためには、現在生じている、あるいは生じつつある現象のモニタリング体制を強固にする必要がある(図1・左のフロー)。

このわかりやすい例として、農業の適応策のために行われる圃場(ほじょう)での気象観測や害虫のデータ収集などがある。農業試験場などの関連部署を持っている自治体では容易であるが、そうでない場合には難しいかもしれない。そのような場合には、市民参加型のモニタリングの先行事例を参考にすべきである。特別な観測機器を使わずとも、ツバメやウグイスの鳴き声がいづ聞こえてきたか、残雪はどの程度であったか、農作物の成長の様子を写真に撮って集約サイトに送るなどの取り組みは長野県(陸, 2013)やRECCA北陸での農業研究(Guo et al., 2013; 2015)においてもすでに実施されている。山岳地帯が多い地域では気象観測点が平地に偏在することによるデータ不足を補う重要な役割も果たしている。短期的な適応策といえども、科学的な事実に基づいた策定を行わなければならないので、このデータ収集は継続的に実施されなければならない。

### 2.2 中・長期的な気候変動適応策のための準備作業

2030年以降の中・長期的な適応策を策定する場合には、気候科学が予測する結果に基づく予見的適応(Proactive Adaptation)を検討しなければならない。それゆえ、短期的な適応策策定の手順よりもかなり複雑な工程が必要である(図1・右のフロー)。先に述べた三つの段階の(1)「気候変化の予測データの入手、整備」はさらに次のような具体的手順を踏まなくてはならない。それは、(1-1)温室効果ガス排出シナリオの選択、(1-2)気候モデルの選択、(1-3)地域規模で利用可能なデータへのダウンスケール、である。

将来を予測する気候科学に従事する研究者は、一般に想像されている以上に予測結果に対して慎重であり、予測値に確率的な幅を持たせて理解することを大前提にしている。この科学的信頼性に対する真



摯（しんし）な科学者の姿勢が、かえって一般の人々や政策立案者の理解を困難にしている現実がある。加えて、将来の人間社会について考えられるだけのシナリオのパターンを複数用意するため多くの排出シナリオが存在する。つまり、もっとも確からしい一つの条件だけで将来を計算しているわけではない。結果的に、理解に困るほどたくさんの気候モデルによる予測値が存在することとなり、ある地域の2050年の気温は1.5℃上昇するのか2.0℃上昇するのか専門的な科学者以外の人々にはわかりづらくなっているのである。また、アンサンブル予測<sup>1</sup>という方法が気象学では欠かせず、さらに多くのバリエーションのある結果がユーザーには提供される。

将来の社会経済シナリオに基づく温室効果ガス排出シナリオを選択するには、上記のような観点を持つ必要があり、楽観的なシナリオでいくのか、もっとも悲観的なシナリオでいくのか、ということを決めるのである。もちろん、そうは言っても選べないということも多いだろう。同じことは気候モデルの選択でもありうる。選べない場合には、研究者が示す標準的なシナリオと気候モデルの出力値を利用するとよいだろう。ポイントは、気候モデルを

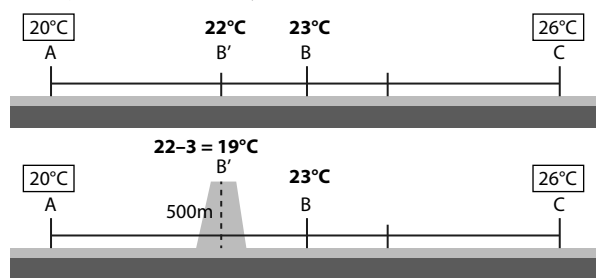


図2 空間的なダウンスケールの単純な例（太田，2015）。標高0mのA-C地点において（上段）、A地点とC地点の気温が観測によってわかっているとき、A-C上のB地点やB'地点の気温は比例配分（距離による重み付け）で求められる。B地点はA地点とC地点のちょうど真ん中であるので23℃、B'地点は22℃であると推定できる。一方、B'地点のみ標高が500mの場合（下段）、高度とともに大気温度が低下する割合（気温減率、 $-0.6^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{m}^{-1}$ ）から、 $22 - (0.6 \times 5) = 19^{\circ}\text{C}$ と求めることができる。日射量の時間解像度を高める場合には時刻A-時刻Cまでの間を内挿するが、日の出、日の入りの時間を考慮し、非線形の配分を行うこともある。また、降水量の補完は空間的にも時間的にもさらに複雑である。降水量を単純に降水日数で割って日量とするのではなく、確率降水量と再現期間の関係を求めるなどの工夫が必要である。

<sup>1</sup> 台風の進路予測など天気予報にも用いられる数値予報では、モデルの初期値を一つに決めるのではなく、少しずつ異なる初期値を複数個用意する。複数の初期値による複数の結果について、その平均やばらつきを統計的に分析し、最も生じやすい現象のパターンを得ることができる（台風の進路の予報円の中心を思い浮かべるとよい）。つまり、アンサンブル予測の結果は一意に決まるものではなく、確率情報を持った結果であるところに特徴がある。

自分のコンピューターで動かして結果を得るのではなく、出力値を利用するという点にある。

次に行うべきは、目的とする地域スケールに気候出力値を合わせる点である。残念ながら気候モデルの多くは自治体規模や企業活動で求められる単位ほど、その空間解像度は高くない。地球規模の気候モデルの空間解像度は水平方向で約100～250kmである。また、多くの出力値の時間解像度は月平均値、月間積算値といった月単位データであることが多く、旬や日単位といった情報を直接入手することはできない。農作物の成長を正確にシミュレーションする場合や、水害の確率を求めようとする場合には、日単位よりもさらに詳細な時間単位のデータが必要な場合もある。そこで登場するのが、データのダウンスケール（ダウンスケーリングとも呼ばれる）という技術である（図2）。

地球規模の気候モデルから出力された値を使って、さらにそれを細かい時空間解像度で計算する地域気候モデルという手法もある。天気予報に使われている技術でもあり、それでも数km～20km程度の水平解像度である。したがって、地球気候モデルや地域気候モデルの出力値を内挿外挿することによって目的の解像度の値を得るのである（図2）。冒頭で説明したRECCAでは、データのダウンスケール技術を精力的に研究し、めざましい成果を得たものの、ある自治体や目的とする場所に必要データを取得するためのだけに開発者と同じ手法を適応策立案者が再現することは極めて困難であるし、時間の浪費である。後継プログラムでもあるSI-CATでは、適応策立案に適した解像度の気候データをあらかじめ用意し、提供していくべく準備を行っている段階である。

### 2.3 適応策立案のための気候変動影響評価

モニタリングによるデータや気候データを目的の時空間解像度で得られたら、次の段階では影響評価を行っていく。影響評価研究は、特にS-8内の各種プロジェクトで精力的に取り組み、後継のSI-CATでも引き続き研究されている。水災害、水資源（渇水や水質悪化を含む）、農業被害、生態系の変化、熱中症、感染症、産業や経済活動への影響などさまざまな影響分野の予測モデルが存在している。ここでは、目的とする影響分野を絞り込むことが必要である。一つかもしれないし、二つにまたが

るようなものかもしれない。例えば、水資源と農業被害、水災害と農業被害などといった場合である。これらについては、三村ら（2015）の第2部に詳しく述べられているので参照されたい。

公開されている影響評価モデルのほとんどは研究論文で発表されたのち、ソースコード（場合によっては実行可能なOSを限定したバイナリ）を配布することが多い。実際に、適応策立案の希望者の大半がこれを活用するのはかなり難しいだろう。このため、RECCA や S-8 では、ウェブベースで利用可能な対話型影響評価モデルの開発研究も同時に実施した。北海道大学の近未来ビューワーなどがその成果である。ほかにも広く公開されていないものの、研究だけでなく、ユーザー（例えば、農業や漁業従事者など）が活用できる多くの影響評価モデルも開発されつつある。これらを用いて目的とする地域の分野ごとの影響評価を行い、負の影響を小さくする方策を検討していくことになる。

#### 2.4 メッシュデータ形式の重要性

ここまで説明してきた適応策のためのデータ処理も多くの場合にはメッシュデータの形式で行う必要がある。日本の場合、気候値だけでなく、土地利用形態など各種データがメッシュ状に整備されている。1980年代から整備され始めたこの仕組みは、日本列島を碁盤の目のように区切り、それぞれの格子に住所表記を付与するようなものである（図3）。適応策立案予定者が自ら影響評価を行わないとしても、最終的な出力値がこの形式で示されることが想定され

る。日本国内の適応策立案のためにはメッシュコードの付番法は最低限理解しておくべきである。

その他、影響評価からその結果に基づく適応策立案に関するフローの具体的な検討事項、障壁やその克服方法は、太田（2015）を参照してほしい。また、SI-CAT においては、適応策を立案しようとする人々の科学的障壁を可能な限り低くすべく、SI-CAT アプリ（仮称）の開発が鋭意進められているところである。最近の日本を対象とした研究では、三次メッシュを標準としつつも、熱中症の分析、予測などに活用できるさらに高空間解像度のメッシュデータも使用されている。

### 3. 先行する気候変動適応策の事例

気候変動に対する適応策は繰り返し述べてきた通り、科学的な手順を地域単位で行う必要があり、従来のように研究者が各自の興味関心に基づいて研究するだけでは行政や企業からの多くの要請に応えることはできない。地域ごとの固有の取り組みが必要であり、地域が主体でなければ適応策をつくることは困難である。しかしながら、地域には2. でみてきたような科学的な手続きを担える人材は非常に少ないのが現状である。

長野県は県行政を横断するような仕組みをつくり、2010年から策定のための調査事業を始めている（陸，2013）。農業分野は農政部、森林分野は環境部というように、以前からの部局を尊重しつつも横断した検討会を設置するなど、適応策策定をめざして

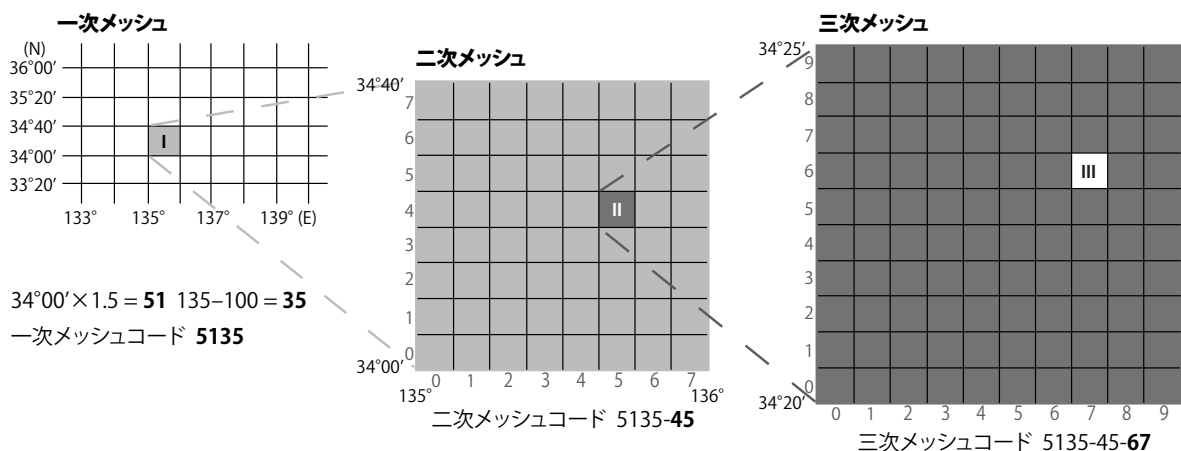


図3 メッシュコードの付番法とメッシュサイズ（太田，2015）。

図中行方向は緯度、列方向は経度を示している。一次メッシュは緯度2/3度（40分）ごと、経度1度ごとに全国を分割した約80km四方格子である。二次メッシュはそれを8等分した格子（約10km四方）、三次メッシュは二次メッシュをさらに10等分した格子（約1km四方）情報である。最近ではさらに詳細なメッシュも使われている。

いる。2.1で紹介したように、市民参加型のモニタリングを通じたデータ収集のみならず、それを通して市町村や住民、事業者などから適応策についての理解を得ることにつながっている。

埼玉県では、温暖化対策課が県庁内の河川、道路、防災、保健、農林業などの関連部局に呼びかけて専門部会をつくり、適応策に関する検討が積極的に行われている（鶴見，2013）。それを受けて、条例や温暖化対策実行計画に適応策を盛り込んでいる。一方で、従来部局での事業化や予算化が可能かという問題や、広範囲にわたる適応策の主体はどこで部局で行うべきかといった問題が報告されている（鶴見，2013）。

以上みてきたように、適応策の現状は、研究者と行政が共同で研究するなかで推進してきている段階である。また、長野県と埼玉県に共通しているのは、環境に関する独自の研究所を持っていることである。研究者は行政の仕組みがわからず、行政担当者は研究者マインドや複雑な理論の理解に時間がかかる。現状では、両者をつなぐ重要な役割を果たしているのが環境系の付置研究所なのである。

#### 4. 気候変動に適応できる社会の構築をめざして—学際的・実践的な気候変動適応科学の必要性

研究所を独自に持てるような大都市や都道府県レベルの自治体以外は適応策を策定することはできないということでは、気候変動に適応できる社会を構築することは不可能である。一方、民間企業では、以前から大地震やテロなどといった不測の事態に備える危機管理は行ってきており、加えて最近では大規模洪水や水資源不足、エネルギーの安定確保など広範囲にわたる気候変動リスクも検討するようになってきている。しかしながら、気候変動の時間的スパンは企業活動のそれよりもはるかに長く、気候変動研究の予測に「幅」がありすぎる、影響の大きさを経済的な価値に置き換えにくいなど問題山積である。その一方で、人為的な分野（特に農業）では、地域によっては気候変動への適応を先取りすることによって正の影響として生かしていくことも可能である。例えば、作付けの変更などがそれに相当し、新しい産地となり、付加価値の高い農産物をつくることもできるかもしれない（太田，2015）。同様に、企業の気候変

動に対する適応策の取り組みを単に気象被害を小さくするためだけではなく、将来の気候変動を十分に分析・予測して新しい商品を開発するなどビジネスチャンスの拡大と捉えることも可能であろう。

気候変動適応科学という学問領域は学際的、かつ、実践的という特徴を持つ。すなわち、気象学、農学、生態学、水環境工学などといった自然科学だけでなく、経済学、経営学、政策科学などといった社会科学にいたるまでさまざまな科学的基礎から成り立っている。加えて、従来の学際的学問領域は研究者を中心に形成されることが多かったが、適応策立案からその実行による成果まで、実践性がともなわないと意味がないことから、行政担当者、民間企業の環境に関わる担当者とともに形成しなければならない。単に気候変動を科学的に研究だけでなく、行政や企業で活躍できる人材の育成が急務である。

#### 引用文献

太田俊二（2015）「気候変動の影響評価に基づく適応策立案の流れ」（三村信男（監修）、太田俊二・武若聡・亀井雅敏（編著）「気候変動適応策のデザイン」）42 - 52, クロスメディアマーケティング社。

陸齊（2013）「日本の地方自治体の取組み事例2 - 先行する長野県からの報告」（田中充・白井信雄編「気候変動に適応する社会」）85 - 91, 技術堂出版。

白井信雄（2015）「実施すべき適応策の3つの方向性」（三村信男（監修）、太田俊二・武若聡・亀井雅敏（編著）「気候変動適応策のデザイン」）15 - 17, クロスメディアマーケティング社。

鶴見恒「日本の地方自治体の取組み事3 - 先行する埼玉県からの報告」（田中充・白井信雄編「気候変動に適応する社会」）92 - 96, 技術堂出版。

Guo W., Rage U. K., and Ninomiya S. (2013) Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model. *Computers and Electronics in Agriculture* 96: 58-66.

Guo W., Fukatsu T., and Ninomiya S. (2015) Automated characterization of flowering dynamics in rice using field-acquired time-series RGB images. *Plant Methods* 11: 7.

三村信男（2015）（監修）、太田俊二・武若聡・亀井雅敏（編著）「気候変動適応策のデザイン」クロスメディアマーケティング社，120p.

## グローバルリスクとしての水と気候変動適応策

東京大学生産技術研究所  
教授 沖 大幹

(おき たいかん) 1964年東京生まれ。東京大学大学院工学系研究科修了、博士(工学)。気象予報士。1989年東京大学助手、1995年同講師等を経て2006年より現職。2016年より総長特任補佐、国連大学上級副学長、国際連合事務次長補を兼務。専門は水文学(すいもんがく)で、地球規模の水循環と世界の水資源に関する研究。気候変動に関わる政府間パネル(IPCC)第5次報告書統括執筆責任者、国土審議会委員他を務める。書籍に『水の未来』(岩波新書、2016年)、『水危機 ほんとうの話』(新潮選書、2012年)、『水の世界地図第2版』(監訳、丸善出版、2011年)など。生態学琵琶湖賞、日経地球環境技術賞、日本学士院学術奨励賞など表彰多数。水文学部門で日本人初のアメリカ地球物理学連合(AGU)フェロー(2014年)。

### CONTENTS

1. 水とグローバルリスク
2. 気候変動と水リスク
3. 水リスクと適応策
4. 食料安全保障と水リスク
5. 国連持続可能な開発目標と適応策

## 1. 水とグローバルリスク

### 1.1 世界的には水リスク

「潜在的な影響が最も大きいと懸念されるグローバルリスクは水危機」だとダボス会議で知られる世界経済フォーラムは2015年1月に発表した(「グローバルリスク報告書2015年版」)。これは、28のグローバルリスクの中から約900人の専門家が選んだ結果である。2番目が感染性疾患の迅速かつ広範囲にわたるまん延(パンデミック)、そして3番目が大量破壊兵器であり、以下、地域に重要な結果をもたらす国家間紛争、そして気候変動への適応の失敗と続く。

この報告書でいう水危機とは「人間健康や経済活動への有害な影響をもたらす水の量的あるいは質的な利用可能性の重大な減少」を指す。具体的には、

- 人口増加の二倍の速度で水利用が増大していて2025年までに世界人口の3分の2が水ストレスに曝(さら)されると想定されている点
- 世界人口の9人に1人が改善された水源に飲み水を求めることができず、3人に1人が改善されたトイレを利用できない結果、毎年約350万人が命を落としている点、そして、
- 2000年～2006年間の早魃(かんばつ)、洪水、高潮によって30万人にも上る人々が亡くなり、4220億ドル(約50兆円)相当の被害をもたらされている点

などが指摘されている。20世紀初頭からの国際的な統計では、自然災害による死者の半数が早魃による

ものであり、影響人口の半数が洪水関連で、経済被害のほぼ1/3ずつが地震、洪水、暴風害となっている。

日本では自然災害というと地震への備えばかりに注意が向きがちであるが、世界的には早魃、洪水、暴風雨など水関連が主要であり、内外のリスク認知の大きな違いを認識すべきであろう。

### 1.2 世界の水リスク

世界の水の問題と聞くと、飲み水のことを真っ先に頭に浮かぶかもしれない。確かに、安全な飲み水が手軽に利用できない地域では、長時間の水くみ労働や劣悪な衛生環境によって女性の社会進出や教育の機会が奪われたり健康寿命が失われたりしている。しかし、それは各方面に多大な悪影響を及ぼす恐れのあるグローバルリスクというよりは、開発の必要性と水利用可能性の問題である。

これに対し、洪水や早魃は工業生産や農業生産に直接影響を及ぼし、甚大な人的・経済的被害をもたらす。2005年8月にアメリカ合衆国南部を襲ったハリケーン・カトリーナでは1800人以上が亡くなり、日本円に換算して10兆円以上の被害をもたらした。2012年にアメリカ合衆国東部を襲ったハリケーン(上陸時には低気圧に変わった)サンディによる被害は4兆円とも推計され、日本のように治水事業が進んでいる国でも、死者数こそ年間数十名程度と抑えられているものの、経済被害は平均で年間5000億円程度とGDPの約0.1%が毎年水害で失われている。こうした近年の水害では、建物や製造機械、原

材料・製品などの直接被害に加えて、操業停止などに伴う機会損失が半分を越えると推計されているのも特徴的である。

また、早魃や河川水量の低下、地下水枯渇などの水不足に伴う悪影響は、工場の操業時間の短縮や停止、農業生産への壊滅的な打撃だけではない。大量の冷却水を必要とする施設が基本的に海岸沿いに立地している日本とは異なり、冷却水不足による火力発電所や原子力発電所の停止も大陸では生じており、気候変動による河川水温の上昇に伴って操業停止リスクが今後上昇するとも懸念されている。さらに、水不足をめぐっては、水を必要としながら十分な水確保ができない零細農家と大企業との間に軋轢（あつれき）が生じる場合もあり、たとえば法的に何の問題がなくとも、特定企業の取水が水不足を引き起こしているといった風評被害が生じた例がある。

他方、複数の国家間で共有されている国際河川や国際帯水層（地下水を豊富に含む地層）に関しては、国家間の緊張を招いている場合も多い。20世紀後半に正式な宣戦布告をした上での水をめぐる戦争は生じていないという研究結果もあるが、日本でも安定して水資源を供給する施設が整備されていなかった時代や地域では集落間で紛争が生じた例も数多かったことを思い起こすと、地域的な紛争の直接・間接の要因に水をめぐる争いに関係する可能性は捨てきれない。

地球上には人間の需要を満たすのに十分な水資源が存在するが、時間（季節）的・空間（地理）的に偏在しているため、安定して利用可能にする水管理施設が十分に整備されていないと自然の気候変動による極端な渇水時に水が不足する事態が生じるのである。

また、生態系サービス（ecosystem service）あるいは自然の恵み（nature's benefits）が健全である初めて人類社会も健全であり得る、という考え方が普及した21世紀には、人間が必要な水資源だけでなく、水圏生態系にとっても十分な水を確保する必要があるという理念も広まっており、人類だけが使いたいだけ水を使って良いという話ではない。

### 1.3 水リスクのグローバル化

3月に東日本大震災が発生した2011年の10月初め、タイ中央平原を流れるチャオプラヤ川では半世紀ぶりの大洪水となり、七つの工業団地の800以上の企業が浸水被害にあった。その経済損失は日本円

にして1兆円、あるいは機会損失も含めると4兆円にも上るとされる。浸水被害にあった企業の半数以上が日系企業で、日系の損害保険会社による企業向けの保険金支払総額は再保険分も含めて約9,000億円にも上り、東日本大震災向けの約6,000億円をはるかに超えたという。

自動車部品やハードディスクドライブなど、この地域に集積していた部品の供給が滞ったため、被害は現地に工場を持っていた企業にとどまらず、世界中で自動車やパソコンを始めとする関連製品の生産に深刻な影響が出た。

家計向けの地震保険9,700億円や共済組合の支払金9,000億円を加えるとさすがに日本での地震被害に対する支払額の方が多いが、それでも他国の洪水被害がここまで日本企業・日本経済に影響を及ぼした点は注目に値する。

従来であれば一地域に限定されていたであろう洪水被害の影響が、経済活動のグローバル化によって全世界に波及し得ることをまざまざと見せつけた水害であった。

ここで想起すべきなのは、海外において日本政府は日系企業や法人を自然災害から守ってはくれない、という点である。日本国内のようにそれなりの安全度が確保されている場所と同じように考えるのは極めて危険である。海外に進出する際には、日本では考えもしないような自然災害や事故・事件のリスクを想定して適切にマネジメントする必要がある、中でも水関連リスクは頻度も高いため要注意である。

## 2. 気候変動と水リスク

### 2.1 気候変動は水循環の変動

気候変動は地球温暖化という名前の通り全球的な気温の上昇をもたらすばかりではなく、雨の降る地域や強さも変えるなど、水循環の変動そのものである。高潮、暴風雨、洪水、早魃、それらに伴うインフラ施設被害や食料不作など、気候変動はおおむね水を通じて人間社会に悪影響をもたらす。

気温が数度上昇したり雨の降り方が変わったりしたとしても、現在そういう気候下でも健康で文化的な生活を送っている国々はあるだろうから、気候が変化して何が問題なのか、と思う方がいるかもしれない。実は、問題は年平均気温や年降水量の絶対値

ではなく、その変化自体にある。

すなわち、年平均気温 12 度、年降水量 800mm の地域 (例えばヨーロッパの一部) はその気候に見合った水資源確保、特定の頻度で繰り返される洪水に適応した水管理の仕組みを構築し、都市用水や農業用水として利用し、水害を最小限に抑えている。ところが、そういう地域で年平均気温が 15 度で年降水量が 1,600mm になってしまったら、植生や適した農作物の種類は変化し、雨水が排水できず、常時浸水に悩まされる事態に陥るかもしれない。

しかし、日本のように年平均気温 15 度、年降水量 1,600mm 程度でも、先進国として健康で文明的な生活を送ることは十分可能である。気温が 15 度であること、年降水量が 1,600mm であることが問題なのではなく、現状から変化してしまうのが問題なのである。

そういう意味では、気候の変化に応じて社会の仕組みを変えたり施設を整備したりできる国や地域では悪影響は抑えられ、そうした対応が適切にできない国や地域では影響が甚大となるのは想像に難くないだろう。

リスクという観点からも、リスクそのものというよりは、リスクの増大が問題なのである。

## 2.2 気候変動に伴う主要なリスク

では、具体的に気候変動によってどのようなリスクが高まると懸念されているのだろうか。

気温の上昇は脆弱(ぜいじゃく)な都市住民にとって熱波に伴う熱中症など健康被害の増大をもたらし、また、生息域の拡大を通じてこれまではリスクの少なかった地域にも感染症リスクをもたらす。

また、氷河の融解水に水資源を頼っていた地域では氷河の消失は深刻な水不足をもたらし、積雪地域では融雪時期の早期化と融雪出水ピークの減少が農事暦に変化を強いる結果になると考えられている。

積雪地域ほど明瞭ではなくとも、気温の変化と降水量の変化は農業や漁業には変化が求められ、適切に対応できない場合には生計や収入が損なわれる。特に、熱帯地域では海水温度の上昇に伴い、漁場が両極方向に移動すると想定されるため、沿岸漁業で生計を立てている漁業従事者に大きな影響が生じると懸念されている。

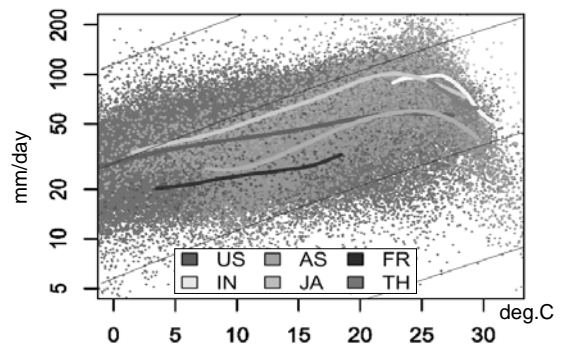
一方で、海面上昇は沿岸低地や小島しょ開発途上

国における高潮や津波のリスクを増大させる。海水が河川を遡上(そじょう)したり地下水に侵入したりして利用可能な水資源量を損なう可能性も指摘されている。

## 2.3 洪水や早魃の頻度の変化

気候変動影響を考える上で、より深刻なのは平均値の変化ではなく、数十年や 100 年に一度といった非常にまれにしか生じない極端現象の変化である。

月平均気温に関しては 20 世紀の終わり頃より、平均値が上昇するのみならず、その変動が大きくなると一貫して推計されてきているが、日降水量についても極端に強い豪雨の頻度が変化することが明らかとなり始めている。



注: US (米国)、AS (オーストラリア)、FR (フランス)、IN (インド)、JA (日本)、TH (タイ)

資料: Utsumi, N., S. Seto, S. Kanae, E. Maeda, and T. Oki, 2011: Does higher surface air temperature intensify extreme precipitation?, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L16708.

図 1 世界の主要地域における日平均気温と上位 1%の日降水強度の関係

まず、過去の観測結果による研究結果 (Utsumi et al., 2011) を示す。図 1 は観測された降水量の上位 1% に相当する日降水強度とその日の平均気温との関係を世界の主要な地域に関して示している。大気中に含まれ得る最大の水蒸気量、飽和水蒸気圧は気温 10 ~ 20 度前後では気温 1 度の上昇に対して約 7% 上昇するため図中で斜めの実線としてその傾きを示しているが、日本やオーストラリアではほぼこの傾きとなっていることがわかる。大陸性の北アメリカや欧州では傾きは緩いもののやはり気温の高い日ほどまれな豪雨の強度も大きかったことがわかる。また、日平均気温 25 度前後で頭打ちとなり、これより高い気温の日が多いインドやタイではむしろ気温の高い日の方が降水強度は弱くなっているが、日本の 10 分間降水量記録で調べると頭打ち現

象は観測されない。すなわち、気温の高い日の方がごく短時間の豪雨は強い傾向にあるのは間違いないが、気温の高い日にはそれが継続しにくいということを図1は示している。

例えば東京では20世紀の間に約3度気温が上昇しているが、そのうち地球温暖化の寄与分は約1度程度と見込まれ2度分はヒートアイランドの影響であるとされている。図1では両者の影響は区別されておらず、温暖化だろうがヒートアイランドだろうが、気温の高い日には大気中の水蒸気量は多くなり得るため、結果として短時間の豪雨が強くなる可能性があるという証拠を示している。実際、日本においても日降水量100mmや200mm以上の日数、時間雨量50mmや80mm以上の観測回数は増大傾向にあることが報告されている(気象庁、2012)。

日本の内水被害に絞った推計結果(福林、2012)によると、近年約1200億円/年であった内水被害が、資産密度や脆弱性は変化しないとして今世紀の終わりには1400~6800億円/年になるという結果が得られている。

台風のような熱帯低気圧の頻度は減少するか現在と同じである可能性が高いが、最大風速と降水強度は増大する可能性が高いとIPCCの第5次評価報告書でも述べられていて、気象庁気象研究所の高解像度大気大循環モデルの推計(Murakami et al., 2012)によると、まれだが強い台風による最大風速が10%程度増大することが示されている。現在はほとんどの建物で地震動が設計応力となっていると推察されるが、風速の1割の増大は風応力の約2割増に相当するため、今後は構造物の設計を台風時の強風も含めて見直す必要が出てくる可能性もある。

### 3. 水リスクと適応策

#### 3.1 緩和策と適応策

1992年に採択され1994年に発効した国連気候変動枠組条約(UNFCCC)では気候変動の根本的な原因である二酸化炭素など温室効果ガスの排出削減を当初から主眼に置いており、その目的に沿った具体的な取り組みが京都議定書である。省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの利用拡大、といった化石燃料に伴う二酸化炭素排出量の削減は気候変動の進展を緩和することから「緩和策」と呼ばれ、気候

変動(地球温暖化)対策の主眼は1990年代より常に緩和策にあった。

しかし、2007年に公表されたIPCCの第4次評価報告書では、温室効果ガスの排出を即時に止めたとしても、今世紀のうちに全球平均気温は約0.6度上昇するという推計が示され、温室効果ガスの排出を減らす緩和策だけでは不十分で、多少気候変動が進行しても悪影響を最小限に抑えるための適応策も重要であると明言された。気候変動の原因を元から絶つという意味では緩和策の方が本質的であるが、緩和策だけでは温暖化の悪影響を完全に抑えるのが現実的に難しいばかりではなく、対策に即効性がなく効果も目に見えにくいため、いわば対症療法である「適応策」にも光が当たるようになったのである。

これには、緩和策だけでなく適応策も交えた方が気候変動の悪影響を抑えるには費用対効果的にも有利であるという認識が研究の進展に伴って広がってきた点も大きいだろう。

さらに、IPCCは2011年に「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書(SREX)」を公表した。ここで気候変動対策をリスクマネジメントとして捉える考え方が示された。すなわち、気候変動によって高潮や豪雨の頻度や強度が増大しても、その増大に応じて防災施設や体制を整えたり、危険地域内でリスクに曝(さら)される人命や財産を減らしたりできれば被害の増大は抑えられる、というのがリスクマネジメントとしての気候変動対策であり、適応策の基本となっている。

#### 3.2 世界各地域の主要リスクと適応策

気候変動の悪影響は、水、健康、生態系といった対象分野によって、また、気候条件のみならず都市か農村か山地か沿岸か小島しょかといった地理的条件によって大きく異なる。しかも取り組み可能な適応策は、それぞれの国や地域の経済条件や技術的要因、文化などによってさまざまである。ここでは、IPCC第2作業部会の第5次評価報告書政策決定者向け要約の一部を紹介する。

アフリカでは、早魃や水不足、高温や早魃あるいは洪水による農業生産性の低下、疫病を媒介する動物や水によって媒介される疫病の出現範囲や発生率の変化などが懸念されている。自然現象としての早魃は止められずとも、組織強化による需要削減や地

下水の有効利用、統合的な上下水計画、持続可能な都市開発などが水不足に対する適応策となる。農業分野では、乾燥や高温、水不足などのストレスに強い品種改良、灌漑（かんがい）、観測システムの強化などの技術的な適応、小規模農家の生計の多様化や生産資源の利用可能性の確保、保全型農業やアグロフォレストリー<sup>1</sup>などが適応策である。安全な水や改良された衛生施設へのアクセスといった開発目標の達成や、公衆衛生調査の強化、危険地帯地図の作製と早期警報システムによる情報提供などが疫病対策としての適応策となる。

ヨーロッパでは、都市化や海岸侵食の進行と海面水位や河川のピーク流量の上昇に起因する洪水や高潮、水需要の増加や特に南部地域における蒸発散量の増加に起因する利用可能な水資源量の減少、および酷暑が、健康や福祉の損失、労働生産性や穀物生産の減少、大気汚染の増加、さらには南欧やロシアの北方林における野火リスクの増大などをもたらす。これらによる経済的損失や影響人口の増大などが主要な気候変動リスクとされる。

ヨーロッパは経済力も組織力もあるため、想定される被害のほとんどは適応によって避けられ得る。洪水や高潮に対しては堤防強化や築堤と湿地の回復の併用で適応できるが、洪水対策には高額のコストが見込まれるし、土地需要、環境、景観などの点からはそうした適応策の実施に困難も予想される。水不足に対しては、灌漑の導入、工業分野や家庭における水利用効率の向上や節水戦略の実施、河川流域管理計画や統合的水管理や統治手段の導入で適応できる。酷暑に対しては、警報システムの導入、農作物の収量低下に対する保険、大気汚染物質排出削減、野火の管理などが適応策として考えられている。

アジアでは、河川洪水や高潮、都市洪水の増加、高温に関与した死亡リスクの増大、早魃によって水や食料が不足し栄養失調となるリスクの増大が主要な気候変動リスクとされる。洪水氾濫に対しては、堤防など構造物による対策に加えて、効果的な土地利用計画や選択的移住による曝露の軽減、水供給・エネルギー・廃棄物管理・食料・交通・通信といったライフラインの脆弱性軽減、観測網の充実と早期警報システムの導入、さらには生計や経済の多様化が適応策として考案されている。熱対策としては、熱

<sup>1</sup> 植樹した樹の間で農作物を栽培する農法

中症予防のための警報システムの導入、ヒートアイランド効果を軽減する都市計画、人工的構築環境の改善や持続可能な都市の開発、そして屋外労働者が熱ストレスを避けられるような新たな働き方の工夫などが適応策である。早魃対策としての適応策は、早期警報システムや統合的水資源管理以外に、貯水池など水インフラの開発、再生水利用を含めた水源の多様化、水利用効率の向上などである。

北米では、乾燥傾向と気温上昇の帰結としての野火による生態系の統合性や財産の喪失、人間の死傷、酷暑による人の死亡、そして海面上昇と極端な豪雨や暴風雨による河川沿いや沿岸域の都市洪水による財産や社会基盤施設の被害、サプライチェーンや生態系、社会システムなどの分断、公衆衛生への影響、水質の劣化などが気候変動リスクとして懸念されている。

野火に対しては、計画火災や耐火性植物の導入などの保護措置を計画に組み込むといった適応策がとられるようになってきている。メキシコでは、アグロフォレストリーが焼き畑農業を効果的に減らし得るが、危険地帯に家を建てるなど曝露の増大が適応を阻んでいる。

酷暑にはエアコンが効果的だが、停電すると利用できないし、運動選手や屋外労働者は利用できない。洪水の激化に対する都市雨水排除施設の導入は高価であるため、後悔が少なく副次効果も期待できる戦略としては地下水涵養（かんよう）を促すための不浸透面積の削減、緑のインフラや屋上庭園の導入などが考えられている。過去の降水観測データに基づいて決められていた設計基準を、現在の気候条件を反映するように更新する必要もある。マングローブを含む湿地の保全と戦略的な土地利用計画は、洪水強度を削減し得る適応策である。

以上のように、気候変動への適応策は、従来の開発や防災と結果としては変わらず、特に今後も開発を必要としている途上国では気候変動がなくとも取り組むべき施策がほとんどである。しかし、通常の開発とは動機が違うのに加えて、途上国・先進国を問わず、従来では考慮しなくとも良かった規模のハザードを考慮せねばならない点、さらには、海面水位や気温、豪雨強度などが将来にわたって徐々に変化していくと想定される点が、これまでの開発や防災、環境保全とは大きく異なる。また、問題の解決という技術的手段ばかりに関心が集まる場合が多いが、制度的な



規制、あるいは経済的な動機付けなども有効であり、水や気候変動など環境問題の解決を考える際にはそうした視点から施策を考案するのが得策である。

### 3.3 水分野の適応策

気候変動に伴う極端現象の激化に対する水分野の適応策も、基本的にはここで述べた各地域での適応策と同様であり、

- 堤防や貯水池といった防災構造物の整備
- 観測網や予測モデルを含む早期警戒システムの構築
- 災害に対して強靱（きょうじん）な国土とするための土地利用規制
- 非伝統的な水源利用の促進や水需要削減のための経済的動機付け
- 人材育成、組織強化、社会経済開発

などがあげられていて、いずれも自然災害リスクマネジメントとしても有効である。非伝統的な水源としては、海水淡水化のようなエネルギー多消費型のものから、雨水貯留利用のように小規模多数で効力を発揮するものまであり、また、水需要削減方策としては再生水利用の促進などの技術的対応や水使用量に応じた課金システムの導入、水あるいは水を使う権利の入札による市場原理の導入などが考えられている。

## 4. 食料安全保障と水リスク

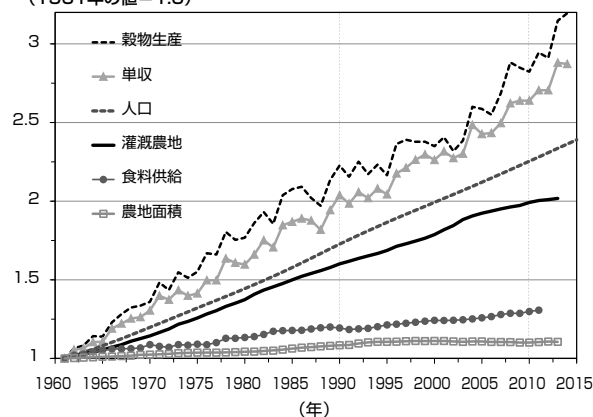
### 4.1 気候変動と農業生産

たいていの場合水を通じて気候変動の悪影響は社会にもたらされるが、世界の取水量の2/3、消費量の9割を農業灌漑が占めることからわかる通り、大きな関心事は水利用可能性の変化が農業・食料生産を変化させ、食料安全保障を脅かすのではないか、という懸念である。

まずは過去の推移を検討する。図2は1961年の値を1として、近年までの世界の穀物生産量などの推移を示したものである。この間に人口は2.4倍近くになったものの、農地面積は1990年代までに約10%増えただけで、その後は横ばいどころかむしろ減少傾向にある。しかし、単位面積あたり収穫量（単収）が人口の伸びを超過して2.9倍近くとなり、主要穀物の生産量は3倍以上に増え、結果として肉類や油脂なども含めた1人当たりのカロリーベースの食料供給

量も世界平均では1.3倍程度に増大している。これは、緑の革命に象徴される多収量品種の開発と普及、施肥量の増大、そして灌漑施設を備えた農地面積の増加などのおかげである。国際連合農業食糧機関によると、2014～2016年に約8億人が慢性的な栄養不足に苦しんでいるとされるが、それは世界的に食料が不足しているからではなく、貧困や社会構造のせいで食料を入手できない人々がいるからである。

(1961年の値=1.0)



資料：国連農業食糧機関に基づき筆者作成

図2 人口、農地面積、穀物収量などの世界推移

人間の本能である情念に根ざすため人口が等比級数（指数関数）的に増大するのは止められないのに対し、生産は等差級数的にしか増えないため、どこかで供給が需要を満たせなくなる、というマルサスの人口論の終末論的な思想は今でも引き継がれ、食糧安全保障に対する根強い不安の根幹を支えている。マルサスの人口論は貴族社会崩壊への恐れへの反映であったという意味では、彼の予見通り民主社会に推移してしまったともいえるが、少なくとも20世紀後半の食料供給に関してはあてはまらなかった事実が図2から明らかである。

今後の予想に関しては、肥料をどの程度投入できるのか、灌漑施設をどの程度整備できるのかなどを含めた農業技術の発展、あるいは需要増に応じた生産拡大にどの程度投資されるかの想定によって大きく変わり得る。農地面積が減少傾向にあるのは塩害や土壌流出のせいで、危険な兆候だとみなす人もいる。一方で、毎年耕作面積は世界の農地面積の約半分にすぎないため、まだまだ余裕はあるという見方もある。1990年代後半から21世紀初めにかけて、単収（10アール当たり収量）が一時的に横ばいとなり、もうこれ以上の伸びは期待できないという悲観

論も唱えられた。しかし今となって眺めれば、長期傾向としてはまだまだ増大しつつある。実際、途上国の単収は先進国の数分の一であり伸びる余地はいまだに大きい。また、そうした伸びが実現されるよう適切に途上国を支援するのが世界の食糧安全保障の実現につながると考えるのが妥当だろう。

#### 4.2 気候変動と食料生産

先に述べた通り、気候が変動して気温や降水量、その季節変化が変わると従前通りの農業を続けるならば収穫量が減ってしまう可能性もある。しかし、より高温や乾燥に強い品種に変更したり、作付け時期を前後させて開花時期にちょうど良い気温になるようにしたり、熱帯低気圧が来る時期よりも前に収穫できるように作付け時期を早めたり、そもそもコメではなく乾燥に強いオリブを栽培するようにしたり、といったふうに、農業従事者は新たな気候に適応して、気候変動の悪影響を最小限にしようと努力するだろう。人為的な気候変動を特に認知・意識せずとも、変動する気候に対して行われるこうした対策を自律的な適応 (autonomous adaptation) と呼ぶ。

IPCC の第 5 次評価報告書では、そうした適応策をした場合でも、気温が 2 度以上高くなると、熱帯域でコムギの単収が激減するという研究結果のとりまとめが示されている。熱帯ではトウモロコシについても、適応のあるなしに関わらず 4～5 度の気温上昇で 20% 程度の単収減少が見込まれる。コメに関しては、適応なしでもあまり気温上昇の影響を受けず、適応すればむしろ気温上昇に伴って単収の増加が見込める結果となっている。これらは、コメが温暖湿潤気候に適しているのに対し、コムギは冬の低温を必要とする作物であるのが影響している。

これに対し温帯では、コムギ、トウモロコシ、コメのいずれについても、適応策をしない場合には 4～5 度の気温上昇で 10% 程度の単収減少が見込まれる。適応策を施した場合には、気温が上昇しても単収がほとんど変化しない (トウモロコシ) か、むしろ 10% 程度増えるという研究結果が示されている。コメについては研究例が少ないものの、4 度程度の気温上昇では単収がやはり 10% 程度上昇する結果が示されている。

以上のように、品種の選択や作付け時期の変更、さらには気候条件的にコムギやトウモロコシの栽培に適

さなくなった地域における他の作物への転換などの適応策がもし広く普及すれば、長期的には世界の農業生産はあまり深刻な影響を受けずに済むと期待できる。

一方で、図 2 の穀物生産量が右肩上がりながら年によって上下しているのは、主に旱魃や洪水、あるいは冷害など気候の年々変動による影響である。長期の傾向としては上昇しているのに、ある年下がっても前年よりも大きく総生産量が割り込むことはないが、それでも数% 少なくなっている年もあり、在庫や投機資金状況次第では価格が高騰する恐れがある。すなわち、食料安全保障にとっては、気候の長期的な変化よりも、そうした年々の変動の方が一時的な不作と価格高騰を招く可能性があり、むしろ注視して事前の対策をとっておくべき対象である。特に、例えばフランスを中心とする EU とアメリカなど、世界中にコムギを輸出している複数の地域で同時多発的に不作になるような気象条件の発現が最も懸念される。

そういうわけで、気候変動と農業に関する専門家の関心は気温や降水量の長期的な変化よりもその年々の変動が大きくなって極端な事象が現れやすくなるのかどうかにある。そもそも、農業分野はメタンなども含めて人為的な温室効果ガス排出の 1/4 を占めているとされ、影響評価や適応策ばかりではなく、農業分野における緩和策にも関心が向けられていることが多い。

#### 4.3 仮想水貿易による適応策

コムギ 1kg の生産にはその千倍の重さ、約 1,000～2,000L の水が雨水も含めて必要だとされる。コメではさらに多く、飼料の生育に必要な水量を積算すると肉類などではこの比率はさらに大きくなり、100g の牛肉を得るには 1,500～2,000L の水が必要であると推計されている。

そうなると、水が不足している国が水を輸入して食料を生産するよりは、水が比較的豊富に利用可能な国で食料を生産してもらってそれを輸入する方が輸送コストを考えるとはるかに合理的である。

すなわち、食料を輸入すると、その食料の生産に必要な水量を使わずに済むため、輸入国の水需給は緩和される。すなわち、食料の輸入は仮想的に水を輸入しているようなものだ、という観点から、食料取引を仮想水貿易 (virtual water trade) だと呼ぶことがある。

同様に、もし仮に気候変動に伴って農業生産の年々の変動が大きくなり、一部の地域で不作となっても、購買力のある消費者は多少割高になっても他の地域から必要な食料を購入すれば良い。すなわち、裕福な消費者にとって仮想水貿易は適応策となり得る。もちろん、絶対量が足りなくなるとは困るので、「適応の限界」が存在することを忘れてはならないだろう。

また食料生産は単に食料を供給するばかりではなく、家族や地域のコミュニティを結束させたり、生態系サービスを保全したりといった重要な役割を担っているため、仮想水貿易があれば食料生産をしなくても良いという話にはならない点にも注意が必要である。

むしろ、自給自足に近く、市場経済に組み込まれていない農家の方が、不作の際に食料へのアクセスがなくなる可能性があるなど気候変動に対して脆弱である、という点を理解しておくのが大事であろう。

## 5. 国連持続可能な開発目標と適応策

### 5.1 空気の次は水に課金される時代になるのか

温室効果ガスである二酸化炭素の大気への排出に対して実質的に課金されるようになったのに対し、気候変動と同様に重大なグローバルリスクである水に対しても特にその使用に応じて課金してはどうか、という意見もある。

例えば、オランダに本部を置くウォーターフットプリントネットワーク (WFN) では、農業・工業製品の原料調達から廃棄に至る過程の全使用水量 (雨水を含む) に汚濁分を加味した値をウォーターフットプリントと定義し、その値に応じて課金し、集めたお金を水の保全に使ってはどうか、といった主張もなされている。

しかし、水の保全が必要な地域は実際に水が使われた地域であるとは限らず、むしろ水問題が深刻な地域では十分に水を使えていないことが多い。課金によって水の豊かな地域で節水の動機付けがなされても水が使えない地域で水を使えるようになるわけではないため、こうした手法の導入に対して現時点では積極的な意見はあまりない。

また、国際標準化機構 (ISO) ではウォーターフットプリントを「水利用に関連した潜在的な環境影響の評価結果の指標」と定義しており、主に水需給に

着目した WFN の定義とは異なり、水の希少さの時空間的な違いを考慮した指標となるように工夫が求められている。

### 5.2 気候変動への適応策とグローバル目標

2015 年は 12 月に UNFCCC の新たな行動目標を定めたパリ協定が採択されると同時に、9 月には国連において持続可能な目標 (SDGs) が採択された年であった。

SDGs には、貧困の撲滅、食料安全保障と持続可能な農業の推進、平等で質の高い教育の確保、女性の平等の実現、水や衛生の利用可能性と持続可能なマネジメントの確保など、17 分野の開発目標 (goals) の下に 169 項目の行動目標 (targets) がまとめられている。

持続可能な開発というと、日本では環境に配慮した施策、環境の持続可能性を意味する場合が多いが、世界的には社会や経済の持続可能性も含んだ概念である。経済的に貧しいと、寿命も短く、主観的な幸福度も低い。環境保護のための予防的方策に言及したりリオ宣言の第 15 原則でも費用対効果に言及されている。また、環境保全が経済開発を促進し、経済的發展が貧困を削減し、貧困層が減れば環境がより守られるようになる、といった良い相乗効果も期待できる。一方で、不自由・不平等であったり、理不尽な待遇を受けたりしていると幸福度は低いので、社会的な公正性も大事である。いわば、トリプルボトムラインと呼ばれる社会、経済、環境にわたる持続可能性の構築が重要であるという考え方が SDGs によって国際的に誰の目にも明確になった。

すなわち、環境と経済の両立に悩んでいた時代はとうの昔に過ぎて、環境と経済と社会という三者の持続性をいかにバランスよく構築するかを構想し、その実現に向けて取り組む時代が来ているのである。幸い、気候変動への適応策はそうした持続可能な開発との相性も良く、相乗効果が期待できる。緩和策とともに、気候変動対策の車の両輪としてますます適応策にも力が注がれるようになるであろう。

#### 参考文献

- 沖 大幹、2012：『水危機 ほんとうの話』、新潮社。
- 沖 大幹、2016：『水の未来——グローバルリスクと日本』岩波新書。

## 開発途上国への開発援助と気候変動適応支援

独立行政法人 国際協力機構 (JICA) 地球環境部  
気候変動対策室 副室長 佐藤 一郎

(さとう いちろう) 1972年宮城県生まれ。京都大学農学修士(林学専攻)、英国エディンバラ大学科学修士(生態経済学専攻)。1997年国際協力事業団(現国際協力機構)入団。主に環境、防災、気候変動分野の業務に携わる。メキシコ、ブラジルの在外事務所に駐在した他、海外長期研修制度により国際自然保護連合(IUCN)ベトナム事務所にて1年間勤務。2014年から気候変動対策室で気候変動に関する組織内の方針・制度作り、主流化推進、ナレッジ・マネジメント、対外コミュニケーション/パートナーシップ構築などに従事。

### CONTENTS

1. 気候変動適応策とは何か
2. 求められる途上国への適応支援拡充
3. 開発と適応策の一体的な推進
4. 気候リスクの評価
5. 不確実性下の事業計画
6. 途上国の適応策に日本の支援を

2015年12月に気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)で「パリ協定」が採択された。同協定は、気候変動の緩和策、適応策、途上国支援などの主要課題をバランスよくカバーし、それぞれの課題について国際社会が取り組むべき目的、達成すべき目標、取り組みの基本枠組みなどを定めており、適応については適応能力・強靱(きょうじん)性を強化し、脆弱(ぜいじゃく)性を低減させることをグローバル目標として掲げている。途上国、中でも小島しょ国や貧困国は、大気中の温室効果ガス濃度上昇への寄与・責任は小さいにも関わらず、気候変動の影響による被害は甚大となることが予測されており、こうした途上国への適応支援は、気候変動対策の国際枠組みにおける最重要課題の一つである。

途上国への開発援助の世界においても、気候変動適応への支援は、ますます重要な課題になりつつある。そこで本稿では、開発援助の現場の実務的観点から、途上国の適応支援をめぐる現状、課題、今後の取り組みの方向性などについて論じたい。

### 1. 気候変動適応策とは何か

適応策は重要という認識は高まりつつあるものの、具体的に何をどうすれば良いか分からないという声をよく聞く。その原因の一つは、そもそも何をもちいて適応策と見なすか明快な判定基準がないことであろう。開発援助機関の間でさえ、適応策について議論する際に何を適応策と見なすかで意見の違いが生じることがある。特に重要な意見の相違は、人為的な要因による気候の変化とその影響のみへの対

応を適応策とするのか、あるいは人為的要因か自然要因かに関わりなく、あらゆる気候の変化とその影響への対応を適応策とするのか、という点である。どちらか一方が正しいということではない。気候変動枠組条約(UNFCCC)において「適応」という用語は定義されていないが、「気候変動」は人為的要因による気候の変化であることが明記されており、ならば「気候変動」への「適応」は、上述の二つの考え方のうち前者を採るべきという主張は理解できる。他方、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による最新の第5次評価報告書(AR5)第2作業部会報告書では、適応を「現実の又は予想される気候及びその影響に対する調整の過程」<sup>1</sup>と定義しており、気候の変化の要因が人為的か否かは問題としていない。さらにAR5における「気候変動」の定義も、UNFCCCと異なり、人為的要因のみならず自然要因による気候の変化も含む概念となっている。従って、IPCCの定義に基づけば、上述の後者の考え方も主張し得るのである。

筆者は、適応策を推進する実践的な観点から、後者の考え方を支持している。仮に自然要因による気候関連の影響と、人為的要因の気候変動影響を区別して評価できたとしても<sup>2</sup>、自然要因による影響に対処せずに、人為的要因の追加的影響の部分だけに対策を講じることは多くの場合困難である。例えば、河川で治水対策を行う際に、自然要因の洪水氾濫対策には手を付けずに、人為的気候変動による追

<sup>1</sup> IPCC AR5 第2作業部会報告書政策決定者向け要約の環境省による確定訳から引用。

<sup>2</sup> 実際には多くの場合、科学的に両者を区別して評価するのは極めて難しい。

加的影響だけに対策を講じることは考えにくい。逆に、例えば気象観測、自然災害の予警報・避難体制の強化のように、自然要因の現存リスクへの対策が、意図せずとも人為的気候変動による追加的影響（それを定量的に評価できなくとも）への対策としての効果も期待できるケースが多い<sup>3</sup>。適応策を拡充していくためには、そうしたいわゆる「後悔の少ない（low-regret）」対策を適応策として積極的に評価し、推進していくべきだ。要因が何であれ対策が必要なことには変わりはなく、また求められる対策の内容も共通性が高いことから、実践的な観点からは、これら二つの影響によるリスクを一体的に「気候リスク」として捉え、その対策を統合的に講じる方が合理的なのである。



写真提供：JICA

図1 ケニア乾燥地帯の干ばつに対するレジリエンス（強靭さ）強化支援のJICA事業にて、地域住民との対話の様相。こうした支援は気候変動で干ばつリスクが増加しても効果が期待できる。

## 2. 求められる途上国への適応支援拡充

開発途上国の適応への支援要請は高まりつつある。この要請に応え、支援を拡充していくにはどのような方策が必要か。

鍵となるのは、支援を提供する側（支援国政府、開発援助機関など）と支援を受ける側（開発途上国）の双方において、気候変動適応への理解と意識を高め、適応をさまざまな分野の開発と統合し、課題としての適応の優先度を高めていくことである。こう

<sup>3</sup> ただし、現存リスクへの対策が、気候変動による追加的リスクが加わった際には十分な効果を期待できない、場合によっては負の影響を生じることもあり得るため、注意が必要である。例えば灌漑事業において、気候変動影響で灌漑用水の水源が枯渇するリスクに注意するなど。

した取り組みは、気候変動適応の「主流化」とも呼ばれる。

まず支援を提供する側、特に公的支援について言えば、開発援助機関における適応の主流化が重要である。経済開発協力機構（OECD（2015））によると、先進国から途上国への気候変動対策支援の公的資金の流れは、2013-2014年の平均で総額408億米ドル／年だが、うち二国間の政府開発援助（ODA）を通じた支援が47%、世界銀行などの国際開発金融機関を通じた支援が38%をそれぞれ占め、合わせて85%を占める。途上国の気候変動対策支援に特化した多国間気候基金を通じた支援資金（5%）と比べ、これらの開発資金の存在感は圧倒的に大きく、その開発資金を使って事業展開する二国間・国際開発援助機関における適応の主流化が、適応への支援拡充には重要なのだ。

表1 2013-2014年の途上国への気候変動対策支援資金の流れ  
単位：10億米ドル

資金の出し手	2013年	2014年	2013-2014平均
二国間開発援助	18.9	19.3	19.1 (46.8%)
その他（二国間）政府資金	3.6	3.8	3.7 (9.1%)
多国間気候基金	2.2	2.0	2.1 (5.1%)
国際開発金融機関	12.9	18.0	15.5 (38.0%)
国連専門機関他、多国間機関	0.3	0.4	0.4 (1.0%)
合計	37.9	43.5	40.8 (100%)

資料：OECD（2015）から筆者作成

では、開発援助機関において適応の主流化がどの程度進んでいるかと言えば、ここ数年で目に見えて進展しつつあるものの、総じて適応の主流化はまだまだ十分とは言えない。適応を主流化していくためには、それを促す①経営層のリーダーシップ、②当該機関への資金の出し手（政府や投資家）からの要請、③適応に関する目標、戦略、計画、組織体制、制度、ツールなどの整備、④スタッフの意識向上・能力開発などが有効であり、主流化に向けた不断の取り組みが必要となる。

次に支援の受け手としての開発途上国における適応の主流化の重要性を指摘したい。開発援助機関のような外部からの支援は、支援を受ける側のオーナーシップがなければ、定着し持続的な効果を発揮

することは困難である。特に中央政府における適応策へのオーナーシップ、主流化は、有効な支援に不可欠だ。適応はさまざまな分野において開発と一体的に推進すべき課題であり、各分野を所管する官庁が連携・協力して取り組む必要がある。しかし、気候変動問題を主管している官庁の政府内での影響力が相対的に弱く、政府内で適応が重要な課題に位置付けられていない途上国が少なくない。そのような状況において、適応を主流化していくためにはどのような対応が考えられるか。簡単な答えはないが、これまでの経験から有効なアプローチの一つは、政府の中で有力な官庁の適応への理解と取り組み意欲を高め、その有力官庁の影響力・統率力をてこにして、適応の推進に向けた省庁横断的な連携・協力体制を構築し、政府全体の適応への意識を高め、開発と一体的に適応策を推進していく体制づくりを支援することである。そのような有力官庁は国によって異なり、大統領府のような首脳直轄機関であるケースもあれば、財務省や開発計画担当官庁である場合もある。

### 3. 開発と適応策の一体的な推進に向けて

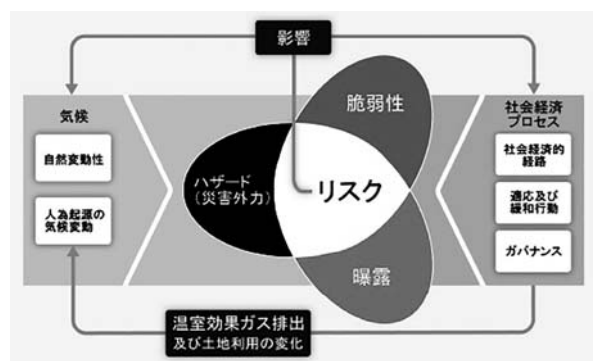
ここで、再び開発援助機関における適応の主流化に目を転じ、開発援助を通じた適応支援を推進していくにあたっての課題と今後の取り組みの方向性について考えてみたい。

開発援助機関による適応支援の中には、適応に焦点を当てた支援がある。例えば、将来の気候変動影響予測への支援、中央政府や地方政府の適応計画づくりへの支援などがこれに該当する。このような適応に焦点を当てた支援は重要であり、今後もさらに拡充していく必要があるが、開発援助機関の事業全体の中では比較的小さな割合を占めるにすぎない。それよりも、開発を主目的とした事業に適応が副次的目的として含まれるケース、あるいは適応が他の開発目的と並んで複数の目的の一つとなっているケースの方が割合としてははるかに多く、このような開発と一体化した適応支援をいかに拡充していくかが重要であり効果も大きい。

開発事業の中で、気候変動影響に配慮し、適応を組み込んでいくプロセスは、開発援助機関ごとに異なるものの、次のようなプロセスを経るのが一般的だ。

- ① 事業における気候リスクを大まかに把握し、当該事業にとって気候リスクに対処することが重要かどうか、重要と思われる場合はどのような影響が特に問題か判断する（リスク・スクリーニング）。
- ② 気候リスクに対処することが重要と判断された場合は、より詳細なリスク評価を行う。
- ③ リスク評価の結果に基づき、事業計画の中に気候リスク対策を組み込む。
- ④ 事業実施をモニタリングし、必要に応じ追加的な対策を講じる。

ここで気候変動影響による「リスク」の概念について確認しておく。図2はIPCC第5次評価報告書（AR5）第2作業部会報告書に掲載されているリスクの概念図であり、気候リスクが気候に関連するハザード（災害外力）、曝露<sup>4</sup>、脆弱性<sup>5</sup>によって決まることを示唆している。リスク評価は、ハザード、曝露、脆弱性と、それらの関係性を分析してリスクの大きさを評価する作業ということになる。ハザードは多くの場合適応策ではコントロールすることが困難であり、緩和策（温室効果ガス削減）によって人為的要因部分のハザード抑制を図る必要がある。従って、適応策は主に曝露と脆弱性を最小化することを通じて気候リスクを削減する対策と理解することができる。



資料: IPCC 第5次評価報告書 (AR5) 第2作業部会報告書 (環境省確定訳)

図2 気候変動影響によるリスクの概念

<sup>4</sup> 「悪影響を受ける可能性がある場所及び環境の中に、人々、生活、生物種又は生態系、環境機能・サービス及び資源、インフラもしくは経済的、社会的又は文化的資産が存在すること。」(IPCC AR5 第2作業部会報告書政策決定者向け要約の環境省による確定訳から引用。)

<sup>5</sup> 「悪影響を受ける傾向又は素因。脆弱性は危害への感受性又は影響の受けやすさや、対処し適応する能力の欠如といった様々な概念や要素を包摂している。」(IPCC AR5 第2作業部会報告書政策決定者向け要約の環境省による確定訳から引用。)

上述の①から④のプロセスは一見シンプルだが、途上国の開発事業の現場でこれを実行するには多くの困難が伴う。その中で特に困難な作業を挙げるとすれば、気候リスクの評価と不確実性下の事業計画の二つである。以下、それぞれについて課題と今後の取り組みの方向性を論じていく。

#### 4. 気候リスクの評価

途上国の開発事業において気候リスクの評価を行う際にまず問題となるのがハザードの評価である。ハザードの評価は、主に過去のデータの分析に基づく現在のハザードの評価と、過去のデータに加え将来の気候変動予測情報の分析に基づく将来のハザードの評価の両方が必要となる。ここで最も頻繁に直面する障害は、過去データの不足・欠如だ。途上国では、気象・水文データなど、必要な基礎的データが得られない場合が多く、将来のハザードのみならず、現在のハザードの評価さえ困難なケースが少なくない。将来のハザード評価において定量的評価を行う場合、全球気候モデルの将来気候予測データを事業対象地域の位置、必要な空間解像度に合わせてダウンスケーリングするのが一般的な手法だが、その際にダウンスケーリングで得られたデータを、対象地域の過去の実測気象データを使って補正する作業が必要となる。しかし、過去のデータ不足で困難にぶつかることが多い。

加えて、ハザード評価を行う人材不足の問題もある。開発援助事業において気候リスク評価は、事業計画段階における技術的調査の一環として行うケースが多いが、こうした技術的調査は専門のコンサルタントに委託して実施するのが一般的である。しかし、気候変動の影響を考慮したハザードの定量的な評価、特に上述のダウンスケーリングの技能を持った人材は少ない。全球気候モデルは数多く存在し、それぞれ特徴が異なるが、事業対象地域の条件や事業計画上の要件に最も適したモデルを選定するのは、高度な知識・経験を要する。また、全球気候モデルの将来気候予測データは膨大な量になり、これを入力し、適切に取り扱うことさえも容易なことではない。ダウンスケーリングには大別して力学的ダウンスケーリングと統計的ダウンスケーリングがあるが、比較的扱いやすい統計的ダウンスケーリングであっ

ても、ダウンスケーリングしたデータを適切に補正する作業には、高度な知識・経験が求められる。こうした技能を持ったコンサルタントは現状では少なく、大学などの研究機関に依存している状況であるが、研究機関は開発援助事業の技術調査が本来の業務ではないので、対応できる事業件数は限られる。

ハザード評価に続いて必要となるのは脆弱性と曝露の評価、およびこれら3要素を考慮したリスクの評価だ。脆弱性もハザードと同様、その効果を定量的に評価しようとするのが難しい。例えば、作付け時期の少雨と高温による農作物の生産量減少という気候リスクを評価するとした場合、将来の降雨量や温度の上昇といったハザードの評価が仮にうまくできたとしても、それが農作物の生産量にどのような影響を及ぼし得るのか（つまりリスクがどれだけあるのか）を定量的に評価するためには、脆弱性の要素を組み込んだ何らかのモデルが必要となる。代表的な作物の場合は、そうしたモデルは存在するが、モデルが存在しない作物も多々ある。またモデルがあったとしても、やはり現場のデータ不足の問題、現場の多様な環境下でのモデル自体の再現能力の問題などにより、リスク評価の結果には大きな不確実性が伴う。

このように、気候リスク評価をめぐるさまざまな問題点・課題が存在するが、今後どのように対策を講じていくべきか。

まずは、気候リスクが対象事業にとってどの程度重大であるか、リスク・スクリーニング段階で見極め、リスクが重大ではない事業においては、気候リスクの定量的な評価にこだわることなく、定性的なリスク評価の活用を推進する必要がある。ポイントは、定量的評価ができないからリスクを無視するのではなく、定性的評価でも構わないのでリスクを意識して事業計画を立てるのが重要ということだ。施設の設計に気候変動影響への対策を反映させようとする場合などには、定量的なリスク評価があった方が望ましいことは確かだ。しかし、定量的に評価できなくとも、気候リスクが将来どのように変化するのか、既存の調査・研究からある程度想定可能であることが少なくない。そうした定性的評価であっても、将来のリスク対策を工夫し、事業計画に盛り込む余地は十分ある。農業を例にとると、耕作期の少雨と高温が予想されるならば、高温・乾燥に強い品種を導入する、農家の代替生計手段を創出する、

作物保険制度を導入するなどの対策を講じることが考えられる。そうした対策の多くは、現存する気候リスク対策としても有効な「後悔の少ない (low-regret)」対策であることが多いが、将来の気候リスクの増大を意識することが、対策の検討・推進の動機づけとなり、対策実施の後押しとなり得る。結果的に開発援助事業の質の改善も期待できる。



写真提供：JICA

図3 日本の協力で建設したミャンマーのサイクロン・シェルター(避難所)と小学校の生徒たち。平時は学校として利用する。

他方で、スクリーニングの結果、気候リスクが事業にとって重大であると判断される場合は、やはり気候リスクを定量的に評価する努力は重要だ。現場の気象データ不足の問題に対しては、過去の限られた地点の観測データと数値モデルによって観測データのない地点の過去の気象データも再現した再解析プロダクトが各種提供されるようになっており、現場の観測データがない場合の代替データとして活用を検討し得る。このような再解析プロダクトの質や種類が今後さらに向上・拡充していけば活用の可能性は広がる。また、衛星リモートセンシングなどの技術の進歩により、地上観測設備がない地域のリモートセンシングによる気象観測も質が向上しつつある。今後さらに精度や空間・時間解像度の高いデータが使えるようになることが期待される。こうした新しい技術やプロダクトを気候リスク評価に積極的に活用する研究や取り組みが重要だ。加えて、こうした新技術も取り込みつつ、定量的な気候リスク評価、特に将来のハザード評価の手法をできる限り標準化・簡素化し、特別に高度な知識や経験がなくとも実施できるようにしていかななくてはならない。気候リスク評価への需要は今後高まっていくことは間

違はなく、需要があり、かつ標準的な手法が確立されれば、コンサルタント業界における人材養成も進んでいくであろう。

## 5. 不確実性下の事業計画

開発援助事業において適応策を講じる際に直面するもうひとつ大きな困難は、不確実性がある中で適応策をいかにして事業計画に盛り込んでいくかという問題である。前項で列挙したようなさまざまな困難をクリアし、気候リスクを評価したとしても、その評価結果には必ず不確実性が伴う。不確実性の要因はさまざまあり、将来気候予測を行う全球気候モデル、ダウンスケーリング手法、ハザードや脆弱性・曝露からリスク評価するモデルなど、モデル・手法の性能に起因する不確実性もあれば、現場の気象・水文データ、曝露や脆弱性に関する情報など、使える情報・データの内容や正確さに起因する不確実性もある。さらに、今後国際社会が温室効果ガスの排出削減にどの程度成功するか分からないことに起因する不確実性もある。こうした不確実性を含んだ気候リスクの将来予測結果を、例えば治水計画やかんがい事業計画に定量的に反映させていくのは難しい判断となる。気候リスクが、過大あるいは過小に評価されている可能性があり、それを計画に反映すると過大投資、過小投資につながる恐れがあるためだ。そもそも大きな不確実性を含む予測結果を計画の基礎とすることに関係者の理解が得られない場合もある。

こうした状況の中で、途上国の開発事業に適応策がより積極的に採り入れられていくことを促進するためには、気候リスクの不確実性がある中で適応策を開発事業計画に盛り込んでいくための指針を開発援助機関が整備していくことが必要であろう。同様の指針は日本国内でも各分野で検討・整備されつつあるが、そうした国内の検討の成果も取り込みつつ、開発援助事業特有の条件も踏まえ、指針を整備していくことが期待される。筆者が所属する国際協力機構でそうした指針は未整備だが、指針に盛り込むべきと思われるポイントはいくつか考えられる。

第一に、段階的かつ順応的なアプローチを取ることである。気候変動の影響、そして他の社会経済動向の影響も同様だが、時間と共に変化していくため、対策の検討に時間軸の視点を持つことが重要で



ある。考えられる全ての対策オプションを直ちに全て実施することは通常不可能なので、致命的な損失・損害のリスクを慎重に避けつつ、緊急性の高い対策、適応策としての効果の有無に係らず開発便益の大きい「後悔の少ない (low-regret)」対策などから段階的に実施していくアプローチが有効である。そして、現実の気候や社会経済状況のモニタリング、科学技術の進歩によって精度が改善する気候リスク予測などを踏まえ、柔軟に対策計画を修正していく順応的アプローチが有効である。その際、順応性を高めておくため、将来取り得る対策オプションを可能な限り保持しておくことが重要である。例えば、河川流域の治水計画において、現時点の予測では遊水地の確保が必要ないと判断される場合でも、遊水地として活用し得る用地を開発せずに残しておくことは、将来の対策オプションを維持しておく観点から有効である。ただし、土地を開発せずに残しておくことにも社会的コスト（機会費用）が発生するため、社会的コストと将来のリスク対策オプションとしての便益とのトレード・オフの判断が求められる。

第二に多様な将来の可能性に備えた意思決定のアプローチを取ることである。開発援助における従来の計画立案手法として一般的なのは、ある合理的な予測に基づく将来シナリオを想定し、その想定の下で最適な（例えば費用対効果の最も高い）計画を立案するアプローチであるが、将来の不確実性が大きい場合、このアプローチには問題がある。想定外のシナリオが実現して期待と大きく異なる望ましくない結果につながる危険が小さくないためである。このような問題に対し、頑健な意思決定 (Robust Decision Making: RDM) という手法が提案されている。同手法はもともと気候変動適応策への適用を念頭に開発されたものではないが、世界銀行が適応策の検討手法として導入を試みている<sup>6</sup>。この RDM では、気候変動で変化するハザードのパラメータに加え、その他の重要かつ不確実なパラメータ<sup>7</sup>を選

定し、各パラメータの値を合理的に想定し得る範囲内で変化させて組み合わせることで、数千、数万通りの将来シナリオを作り、それらの中で各対策オプションがどのような効果を発揮するか評価していく。そして、より多様な将来シナリオの下で期待される効果を発揮できる、あるいは損失が少ない頑健 (robust) な対策に高い評価を与えるという手法である。RDM 手法を厳密に開発援助事業に適用することは、コストや時間がかかるうえ技術的にも難度が高いことから、すぐに幅広い事業で使っていくことは現実的ではない。しかし、不確実なのは気候変動影響だけではないことを認識し、重要かつ不確実な要素を特定したうえで、これらが多様に変化する将来シナリオを想定したうえで、「頑健」な対策を講じていくという RDM の考え方、コンセプトを適応策の検討に採り入れていくことは可能であり、そうすべきだ。

## 6. 途上国の適応策に日本の支援を

気候変動適応策は難しい、よく分からないという印象を持たれがちである。確かに難しく奥が深い。しかし、具体的な一つ一つの対策を見てみれば、その多くは従来実施してきた開発事業と共通のものである。そうした開発事業の多くは、そのままだでも適応策としての効果は期待できるが、気候変動の影響を考慮し、そのリスクへの対策を付加していくことで、適応策としてさらに大きな効果が期待できる。

開発途上国は大きな気候リスクに直面しており、適応策への支援を必要としている。そして日本の企業、自治体、政府機関、研究機関、市民団体などは、途上国の適応策に役立つさまざまな技術や知見を持っている。適応策の分かりにくさに惑わされることなく、途上国の適応ニーズに目を向け、得意な技術やノウハウを生かして支援に取り組んでいただきたい。

### 引用文献

OECD (2015) “Climate finance in 2013-14 and the USD 100 billion goal”, a report by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) in collaboration with Climate Policy Initiative (CPI).

<sup>6</sup> 世界銀行がいくつかケーススタディを発表しているが、比較的最近の事例として以下のものがある。

「Robust decision-making in the water sector: a strategy for implementing Lima's long-term water resources master plan」(2015) <http://documents.worldbank.org/curated/en/617161468187788705/pdf/WPS7439.pdf>

<sup>7</sup> 例えば対象地域の人口、農作物の市場価格など、曝露や脆弱性に関連するパラメータが考えられる。

Voice from the Business Frontier

日立製作所 水ビジネスユニット 水事業部 副事業部長 横山 彰

～水ビジネスによる気候変動適応への貢献～



(よこやま あきら)  
1983年日立プラント建設株式会社入社。2004年空調システム事業部設計部長。2009年株式会社日立プラントテクノロジー空調システム事業本部技術本部長、2013年日立製作所インフラシステム社水環境ソリューション事業統括本部統括本部長を経て、2016年水ビジネスユニット水事業部副事業部長 兼グローバル水ソリューション本部本部長に就任し、現在に至る。

水ビジネスユニット水事業部副事業部長として水事業の海外展開をけん引されている横山彰氏に話を伺いました。

Q1. 水ビジネスユニットの事業内容と成長戦略についてご紹介いただけますか。

2015年の当社水事業全体の規模は1,300億円弱となっています。これは国内・海外の水処理関連の電気、機械設備納入に加え、水事業向けの大型ポンプ、産業用の水処理オペレーションとメンテナンスといった事業を合計した数値です。稼ぎ頭は国内の監視・制御システムなどの電機分野、それに続くのが国内の水処理プラント事業です。われわれ海外チームは現在事業拡大に向け立ち上げ中です。

国内事業は電機と大型ポンプがトップシェアをいただいております。しかし、これから国内は人口が減少していくため、市場規模の拡大は見込めず、2兆円強の市場規模のまま横ばいで推移すると予測されています。

一方、国内のオペレーションについては徐々に

民営化が進み、国内の新しい市場になっていくと予想されます。民営化の進展スピードは決して速くはありませんが、われわれが事業展開している北海道夕張市のほか、大阪、広島、静岡など、徐々にこのような案件が出てきています。近い将来加速的に全国に広がればと期待しています。現在は国内の事業が頑張っていますので、その間に海外事業を立ち上げ、いかに伸ばすかが課題です。

海外水事業の市場規模は2016年度86兆円です。その9割が公共分野で、産業分野は1割程度しかありません。公共分野は浄水場、下水処理場、それに関わる配管網が大勢を占めていてCAGR（年平均成長率）5.6%で堅調に推移する見通しです。その中であって海水淡水化分野は、市場規模はまだ小さいですが、CAGR 13.5%と非常に高い成長率です。公共分野の多くの技術が既に成熟していますが、海水淡水化分野は技術的に発展途上にあるため、新技術開発の要素があり、注力すべき分野と考えています。

Q2. 日本の水関連産業の海外展開については、さまざまな課題があるとされています。運営を含め一括で請負うグローバル水メジャー企業に対抗するには単品の機器だけでは厳しいことも言われていますが、どのような状況でしょうか。

ご指摘のとおりです。バリューチェーンでいうとマスタープラン作成などのコンサルタントが担当する最も上流のプロセスがあり、次に薬品・膜・ポンプ等のコンポーネントの供給、EPC（Engineering, Procurement and Construction：設計、調達、建設）、プラントのO&M（Operation

and Maintenance) を含む事業運営と、大きく四つに分かれます。欧州発の水メジャーである、Veolia と Suez は事業運営を中心にバリューチェーン全般をカバーし、盤石の2強となっています。一方、多くの日本企業はおおのこの部分を専門会社が手掛け、オペレーションは自治体にノウハウが集中し、リスクの高い海外のEPC対応で苦しんできたのがこれまでの姿です。これからは、中央のEPCから上流、下流へ事業範囲を広げていく必要があります。

オペレーションの主体はやはりまだ自治体にあります。これから水道や下水道を整備していく国、都市にとって、日本の基準は非常に高級で高コストな仕様になっています。例えば、ベトナムなど途上国での水供給事業を検討する場合、日本と同じやり方では往々にしてタリフ（水道料金）がマッチしません。どうしてもギャップが出てしまうため、日本政府の支援枠組みやオペレーションを含めたビジネスモデルの検討が必要ですが、まだオールマイティな解がないのが正直なところです。

**Q3. 英国の鉄道事業は車両メンテナンス、一部オペレーションも含めて現地に合ったサービスを提供する長期契約を結んでいます。水インフラについてはいかがでしょうか。**

新規に水インフラ整備の需要が存在するのは主に途上国になります。自治体と民間企業が組んで途上国に進出して水供給を一括で行う事業はわれわれも挑戦しています。このような事業は組成期間が非常に長く、先ほどのタリフの問題とともにカントリーリスクを含む多くの課題が出てきます。これまで、日本政府は解決に資する枠組みを提供しています。例えば、VGF (Viability Gap Funding) でタリフのギャップを埋めるような低利融資のアレンジやEPCからO&Mまで一括で行うプロジェクトに付与される事業・運営権対応型無償資金協力という制度がこれにあたります。

一方、欧米等先進国へのアプローチは先進的技術の中核に据えたマネタイズモデルで行っていきたいと思っています。

**Q4. 海水淡水化が非常に伸びているということでしたが、その必要性に迫られるほど深刻な水不足が世界的に広がっているということでしょうか。**

2025年度には世界の人口の2/3が水不足になると言われています。

中東では海水淡水化が多用されていますが、その影響でペルシャ湾の塩分濃度は通常海水の2倍になってしまいました。このような歴史的に水不足であった地域以外でも都市化と気候変動の影響により、水不足に陥る地域が各所に発生しています。先進国では北米の水不足が深刻です。特にカリフォルニア州では、干ばつが続いており、今年で4年目になります。同州の主要産業である農業への影響が心配されています。ここでは海水淡水化と同時に下水再生水へのニーズが高まっています。

**Q5. 気候変動により洪水や干ばつなどの増大が懸念されています。深刻化する被害を減少させるため、気候変動への適応(アダプテーション)を進めるプロジェクトもあるのでしょうか。**

適応プロジェクトとして日立が取り組んでいるのは、省エネ型海水淡水化プラント「RemixWater」です。海水淡水化には二つの課題があります。一つは非常に消費電力が多いことです。淡水1m<sup>3</sup>あたりおよそ3~4kWhの電力が必要です。もう一つは、先ほどペルシャ湾の問題に触れましたが、濃縮した排水で近隣海域の塩分濃度が上昇してしまうことです。「RemixWater」は消費電力を3割程度削減し(当社比)、かつほとんど塩分濃度の負荷をかけずに排水を海に戻すことができます。

このシステムは NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization : 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の実証プログラムに応募し、採用されました。2017 年に南アフリカのダーバン市でプラント建設に取りかかります。「RemixWater」の実証は既に国内でも行っていますが、海外ではダーバン市に納入するのが初号機になります。6,250m<sup>3</sup>/日と規模は小さいですが、ニーズは 10 万 m<sup>3</sup>/日あります。実証後の事業化の段階で拡張していく予定です。

本事業ではバリューチェーンの最初から最後まで関わりたいと考えています。複数地域に同時並行で展開することを検討しており、2 機目、3 機目は北米など、確実な需要とニーズが得られる地域を狙った展開を考えています。

続いて、海水淡水化のろ過膜の配置と圧力制御に独自の工夫を加え、透過水の分布を均一化することにより省エネルギーを実現する「E-RexWater」システムを市場投入する計画を進めています。

**Q6. 水不足の地域は数多くあると思いますが、「RemixWater」の実証実験の場としてダーバン市を選択された理由をお聞かせください。**

南アフリカは降雨量が世界平均の約半分の少雨地帯であり、そこに人口増加と都市化、さらに気候変動の影響を受け、深刻な水不足による海水淡水化ニーズが存在します。加えて、南アフリカは金融制度が高度に整備されています。インフラ整備に関するプロジェクトファイナンスの仕組みも充実しており、数多くの成功実績があります。このようにビジネスを非常にやりやすい環境にあったことが、ダーバン市を選んだ理由です。ダーバン市水道衛生局の方々が第 5 回 TICAD (Tokyo International Conference on African Development : アフリカ開発会議) で横浜に来られた際、当社の「RemixWater」に強い関心を示

され、検討が始まりました。ダーバン市の海岸沿いの既に稼働している下水処理場と新規に設置する海水淡水化プラントを組み合わせる計画となりました。

**Q7. 海水淡水化ビジネスを行う際、注意すべき点は何かでしょうか。**

海水淡水化に限りませんが、需要が確実であること、タリフレベルが事業内容に見合うこと、カントリーリスクがコントロールできる範囲にあることが重要です。「RemixWater」システムを使うとイニシャルコスト、ランニングコストが下がるので、この強みを生かして顧客と共に Win-Win の関係が構築できることも肝要です。

一方、海水淡水化を計画する際、重要なのは原水となる海水の水質調査です。経時変化、季節変動を伴いますので、この調査結果に従い、最適な前処理設備を設計することが重要です。これにより、海水淡水化の天敵である水供給停止事故につながるバイオフィウリングリスクの低減が可能です。

**Q8. 水ビジネスでグローバル大手企業と競争していくためには何が重要でしょうか。**

水メジャーに代表されるグローバル大手企業と競争するためには確かな差別化技術、差別化製品を活用することが重要と考えています。また、当社の得意とする IT (業務システム) - OT (現場データ) を IoT プラットフォーム「Lumada」でジョイントした高付加価値サービスの提供が有効です。一方、協創の発想で当社はグローバル水メジャーの Veolia と提携して、日本の ODA (Official Development Assistance : 政府開発援助) を含む案件に取り組んでいます。

Q9. 日立の技術水準はいかがですか。

継続して新技術を開発しており、技術的な強みは確保しています。特に海水淡水化、高度排水処理の分野では only one 技術を保有しています。しかし、これを組み合わせ、活用し、事業として結実させるプロセスがまだ不十分です。われわれのチームは「技術・知財をマネタイズしよう」をスローガンに掲げて取り組んでいます。

Q10. 日本政府や政府機関との連携に関して、どのようなことが議論されているのでしょうか。

経済産業省や JICA との勉強会で度々話題に上がるテーマとして「ODA 案件の評価を LCC（ライフサイクルコスト）の視点で行うにはどうするか」があります。世界銀行の案件でこの評価方法が最初に用いられました。現在は JICA 案件でも LCC 評価が徐々に注目されていますが、提案した性能が達成できなかった場合の罰則の決め方に多くの課題が残っています。例えば 10 年でこれだけの LCC で運転できる製品を納めますという契約を結び、その LCC が守れなかった場合に、その原因を客観的に特定し、どのようなペナルティを課すのかといったルール作りが難しいと思います。しかし、この評価方法が定着すると、日本企業には追い風となります。LCC が低く、オペレーション、メンテナンスなどのコストを抑えられることを評価してもらえれば、初期コストだけの競争から脱出することができます。

当社で現在施工中であるイラク・バスラの大型海水淡水化 ODA 案件では、完成後 5 年間のオペレーションとメンテナンスを行うことが条件として組み込まれています。また、COP21 でパリ協定が成立しました。GHG（Greenhouse Gas：温室効果ガス）排出量を評価基準にする方法も有効だと思います。

Q11. 水の安定供給に向けて分散型の水処理インフラを検討する傾向が最近みられます。このトレンドについてご意見をお聞かせください。

発展途上国や新興国では、まず都市部で集中型インフラを整備し、次に郊外で分散型インフラを整備するのが自然な流れだと思います。また、水インフラのレジリエンス（強靱（きょうじん）さ）の観点でも、分散型を全体システムに取り込むことにより、災害に強い水供給網を構築できるメリットがあると思います。

Q12. 最後に水ビジネスユニットがめざす長期的なビジョンについてご紹介ください。

水事業全体をどのように拡大・強化し、そこにゴールを設定するか、内部で相当議論してきました。世界の水メジャー企業は、1 兆円、2 兆円の事業規模を誇りますので、キャッチアップするのはなかなか難しいと思います。3 番手が 4,000 億円弱の事業規模ですので、まずはそこをめざすことを考えています。国内市場の拡大は期待できませんので、事業規模を拡大するためには海外事業を伸ばすことが重要になります。IT を活用したトータルソリューション力とインフラ事業の豊富な実績・ノウハウなど、日立の強みを生かしながら事業拡大と同時に高収益ビジネスの実現をめざしてまいります。

※「RemixWater」「E-RexWater」「Lumada」は（株）日立製作所の日本登録商標です。

# トランザクティブエコノミーの台頭

研究第二部 ファイナンスグループ 副主任研究員  
藍木 信実

需要側と供給側の経済主体（企業・個人）を直接つなぎ、多数の市場参加者間でリアルタイム取引を実現する「トランザクティブエコノミー」が広がろうとしている。日立総研では、ビジネスモデルやサプライチェーンの変革という視点から、トランザクティブエコノミーの研究を進めている。

## 1. トランザクティブエコノミーの背景

トランザクティブエコノミーを加速させるのは技術革新とそれに関連する契約など制度の革新である。

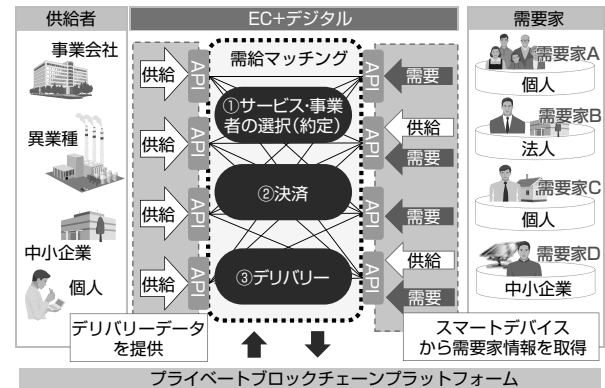
技術においては、EC（Electronic Commerce）におけるIoT（Internet of Things）とAI（Artificial Intelligence）の活用が広がり、需給情報の共有・需給マッチングが拡大する。「プラットフォーム」と呼ばれるEC環境を提供する事業者が、スマートフォンやセンサーを用いて、ユーザーからサービスの需要情報を、供給者からはサービス内容・条件に関する情報を、ECサイトやSNSなどを介して収集する。それら需要と供給の情報を可視化し、提供するサービスのマッチングを自動的に行う。この一連のプロセスではAIが重要な役割を担う。

契約に関しては、所有権などの権利の設定・実行がデジタル上で管理可能となることで、契約締結・支払い・サービスデリバリーの自動連携が進展する。決定した取引条件に基づき、権利の設定・実行をプラットフォーム上でデジタル管理することで、契約締結・支払い・サービスデリバリーがシームレスに連携し、取引がデジタルの世界で完結する。

その際、安全な契約自動執行の仕組みとして、スマートコントラクト技術が重要となる。スマートコントラクトとは、暗号技術を用いて電子的な元帳記録を行う技術である。スマートコントラクトに契約締結・支払い・サービス手続きの実行条件を記載し、商流・金流・物流の各システムと連携させることで、契約からデリバリーまでを自動的に行うことができる（図1）。

仲介者が介在する従来の取引はコストと時間を要し、取引に参加できる需要家・供給者も限定されていた。トランザクティブエコノミーにおいては、多数の需要家と供給者の間で、低廉で、よりカスタマイズさ

れたサービスが、リアルタイムで提供可能となる。金融、エネルギーなどのインフラ分野で拡大し、サービス取引の小口化・高頻度化・多様化が進んでいる。



資料：日立総研作成

図1 トランザクティブエコノミーの概念図

## 2. 金融分野で先行拡大

FinTechが進展する金融分野では、資金の貸し手と借り手をマッチングするP2P型資金調達サービス、複数の送金者をマッチングするP2P型決済サービスが急成長し、低コスト、小口、高頻度なサービスを提供している（表1）。

表1 トランザクティブエコノミー型サービスの取り組み例

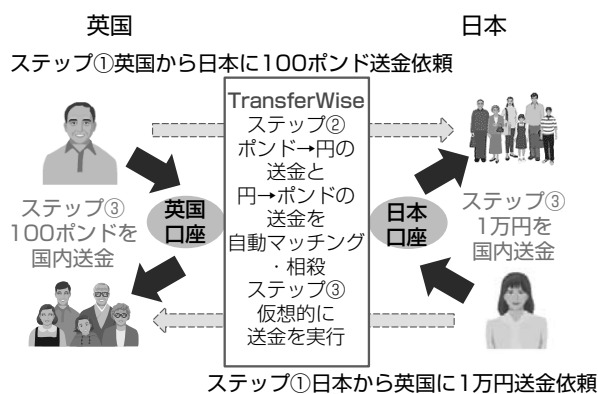
	企業名	取り組み
資金調達	Lending Club	資金の貸し手と借り手のマッチングによるP2P融資
決済	TransferWise	送金者のマッチングによるP2P海外送金サービス
保険	InsurETH	インシデント時に保険金の自動支払いを行うP2P保険

資料：各種資料より日立総研作成

決済においては、従来は高額であった海外送金を低コストで提供するサービスが伸びている。英国TransferWiseが提供するサービスは、40以上の通貨を対象に、複数のユーザーから送金需要データを取得の上、為替取引を要する送金を相殺することで、安価な小口の海外送金サービスをエンドユーザーに提供し

ている。2015年5月に月間取扱額が5億ポンド（約960億円）を超えており、利用が拡大している（図2）。

保険では、伝統的な保険会社を介さずに契約者間でお金をプールし、契約者の損失時にプールしたお金から保険金を支払うP2P保険が欧州を中心に拡大している。英国 InsurETH が2015年にデモを発表したP2P型フライト保険では、スマートコントラクトにより、航空便の遅延・キャンセル発生時に、保険金リアルタイム・自動的に支払われる。煩雑な保険金請求支払い手続きを自動化することで、低コストな取引を可能にしている。このようなP2P型保険が普及することで、リアルタイム・高頻度な保険サービスが一般化していく。



注：為替レートを1ポンド=100円とする。  
資料：TransferWise 資料を基に日立総研作成

図2 TransferWise のサービスのイメージ

### 3. エネルギー、物流、ヘルスケア分野への拡大

エネルギー分野においても、トランザクティブエコノミーの取り組みが始まっている。

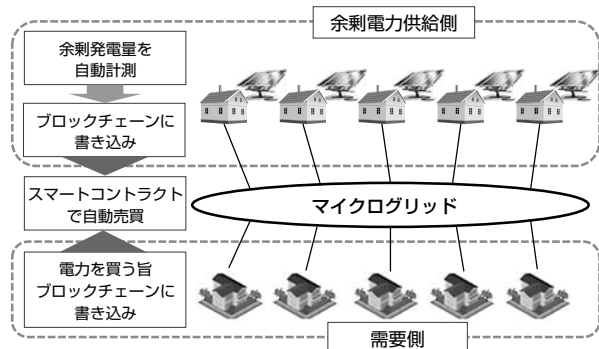
従来の電力供給では、電力会社などの系統運用者が、需要状況に応じて主に供給側に発電量の増減を指示することで需給を調整していた。それに対し、需要家と供給者が電力と情報を直接やり取りし、市場メカニズムを通じて電力系統全体の需給バランスを維持するトランザクティブグリッドの実証実験が始まっている。

米国 TransActive Grid がニューヨークの住宅を対象に行う実験では、太陽光パネルで自家発電する住宅が、他の住宅に電力を直接販売する。需要家と供給者の間で需要量と余剰発電量がネットワークで共有され、需給マッチングが行われる。スマートコントラクトの利用によって、マッチングで決定された条件に基

づく電力の売買契約締結と供給が自動的に行われる。決済機能を追加し、電力量に応じて自動支払いを行うことも想定している（図3）。

トランザクティブグリッドは、現在は小規模な取り組みである。しかし今後、小売り自由化の進展と需要者へのスマートメーター普及によって市場参加者が拡大すれば、スマートコントラクトとの連携が進展する。その結果、ネガワット取引やアンシラリーサービスなどのデマンドレスポンスサービスを、電力小売り事業者を介することなく、多数の需要家と供給者の間でリアルタイム・自動的に行うことが可能となる。

物流分野では、フォワーダーに代わり荷主と物流会社を自動的に直接マッチング可能なプラットフォームが開発されており、ヘルスケアでも遠隔医療の普及に伴い、医師と患者をマッチングするサービスの成長が予想される。これらの分野でも契約からデリバリーまで自動化された高頻度な取引の拡大が見込まれる。



資料：TransActive Grid HP を基に日立総研作成

図3 「トランザクティブグリッド」実証のイメージ

### 4. 今後の展望

金融、エネルギーなどのインフラ分野で広がるトランザクティブエコノミーは、規制改革による市場参加者の増大や、サービスデリバリーの革新によって、他の社会・産業サービスへ拡大していくと予想される。

トランザクティブエコノミーが社会で広く実現するためには、産業間・企業間の情報連携や高頻度取引を実現するICTインフラの開発が重要である。具体的には、スマートコントラクトの実用化やAPI（アプリケーションプログラムインターフェース）の標準化が鍵となる。

日立総研では、引き続きトランザクティブエコノミーの動向が企業活動に与える影響を研究していく。

## The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life By Carlo Ratti, Matthew Claudel

研究第三部 主管研究員 瀬戸 宏一

古代ローマから現代までの都市開発の深化は、必ずしも連続的なものではなく、コンクリートなどの建材、上下水道網や電気などのインフラ、自動車の普及といった根源的な変化、都市開発のあり方を再定義する変局点を経てきた。現在は、IoT、SNSなどのデジタル技術の利用拡大が、新たな変局点になろうとしている。

米国マサチューセッツ工科大学の都市研究・計画学科教授である著者のカルロ・ラッティは、2004年にSENSEable City Labを設立して以降、インターネットを通じて都市のインフラ、建物、生活者などが多様につながる未来において、どのような社会や生活環境となるのかを検証すべく、多様な研究プロジェクトを展開している。

本書は、そのSENSEable City Labの活動を中心に、具体的な事例を交えながら、交通、エネルギー、建築、ソーシャルネットワークなど多様な視点からデジタル社会における都市の未来を展望したものである。

### 1. Future-crafting

本書はボストングローブ紙による1900年の未来予想の紹介から始まっている。そこでは、100年後には動く歩道や気送チューブ交通、飛行船が出現し、スラムが無くなると予想されていた。それに対して著者は「未来を予想するのは、たいてい無益だ」と述べている。

SENSEable City Labのプロジェクトは、こうした壮大な未来のビジョンから入るのではなく、都市活動の直近のデータや実際の生活パターンなど事実に基づいて、中庸な変化やトレンドを見出すアプローチをとっている。これを、本著では「Future-crafting」と銘打っている。現状の都市機能、限られた資源、社会・経済活動の状況に基づいて、今年や来年の都市生活をどのように変えることが可能かを考え、取り得るオプションを「見える化」し、探るアプローチだ。

「Future-crafting」とは、より効率的な交通、より環境に優しいゴミ処理、よりスマートなビルなどの都

市開発上の課題に対して、予測困難なひとつの未来を提示するのではなく、より現実的なオプションを市民目線で作るアプローチである。それでは、具体的にどのような都市の未来が考えられるのだろうか。

### 2. 「都市の動画」がもたらすインパクト

都市において、さまざまな都市政策、コンセプト実験、新技術の導入を行う際、著者は全てのカオスが見えるようにするためにデータを生成することが重要と述べる。Lab創設後の10年間、研究者たちは交通や人の流れ、ゴミの行き先など都市の活動を多様な情報の流れとして捉え（Metropolitan Data Flow）、それらのデータを基に「都市の動画」(pictures of cities in motion)を制作し、都市の動態をテクノロジーアートとして表現し、発表してきた。

コミュニケーションやソーシャルネットワークの観点で制作した「都市の動画」の代表例として、ニューヨーク近代美術館の「New York Talk Exchange」(2008年)が挙げられる。これは、ニューヨーク市と米国内外の各都市間での、長距離電話とインターネット通信のやりとりをビジュアル化し、ニューヨーク市民のグローバルコミュニケーションの実態を示したものである。

環境の観点では、住民の自転車が動くセンサーとなり、環境情報を収集して回るコンセプトが「Copenhagen Wheel」(2009年)で実験されている。自転車に搭載した各種センサーが、ペダルや自転車の動き、大気の状態や騒音などの環境情報を広く収集して、都市の導線や環境の状況を広く可視化している。

「Boston 311 Map」(2010年)は、都市問題の動画といえる。舗道のひび割れ、ゴミ収集、落書き対策などの行政サービスについて、担当部局にかかわらず電話で問い合わせできる「311」に寄せられる情報をリアルタイムで解析し、現時点で都市が抱える問題の種類と件数をマッピングする。

「Trash Track」(2009年)では、シアトルとワシ



トンの生活系廃棄物に追跡タグをつけて、その移動をトレースしている。その軌跡は数週間、数カ月にわたり、移動の範囲も米国全土、隣国のカナダやメキシコにまで及んだ。これにより、ゴミの流れに関する実態が分かり、大衆の関心が高まり、現在も NPO などが追跡調査を続けるなど、その社会的影響は大きかった。

都市を取り巻くさまざまな事象やデータを束ねた「都市の動画」は、見えにくかった都市活動のカオスや実態を明らかにし、都市開発に関わるステークホルダーに対して課題解決に向けたアクションを促す効果をもたらす。

### 3. シミュレーションによる都市デザイン

「Future-crafting」は、直近の都市情報・データに基づく「都市の動画」を活用し、そう遠くない将来の変化を検証することで、都市開発の現実解を探っていくといったアプローチをとる。

「Future-crafting」では、都市の状態は常時変化しているという理解のもとに、変化要因と、変化が都市にもたらすインパクトを捉えることが重要である。「Real Time Rome」(2009年)は、通信キャリア企業、ローマ市と連携して、携帯電話の位置情報とバスやタクシーの運行情報を統合し、サッカーワールドカップという大イベントが都市活動にもたらす多大な影響を直感的に理解できる形で示した。これにより、2006年にドイツで開催されたワールドカップの決勝戦でイタリアがフランスに勝利した際、人の流れが一瞬にして発生したことを捉えることができた。こうした研究により、非定期に発生するイベントが都市にもたらす影響を事前にシミュレーションできるようになる。突然の渋滞に即応したバス臨時増発などの動的制御への応用が期待できる。

「Hub Cab」(2014年)は、ニューヨーク市のタクシーネットワークがもたらす膨大な交通流動データを用いた交通シミュレーションプロジェクトである。本プロジェクトではまず、現行のタクシー運行台数や空車状況に加え、乗車場所、行き先や乗車時間、空き状態で流している時間や台数、そのルートなどを「見える化」した。その結果、多くのタクシーが、例えば3人乗車可能なのに1人しか乗せていないなど輸送能力に余裕

がある状態で、同じ時間帯に同じ方向に向かいたい人を同じルート上で拾っていることが分かった。次に、現行のタクシー配車状況はそのままに、同時間・同方向に向かう乗客が相乗り(ライドシェアリング)したと想定して交通シミュレーションを行い、シェアリングエコノミーのインパクトを評価した。その結果、タクシー台数の95%は相乗り可能であり、しかも台数は今の4割で済むことが判明した。ライドシェアリングの導入によって、現状のタクシー通行台数の4割程度まで削減可能となれば、運行コスト削減や混雑緩和、移動時間の縮減など、大きな社会的効果が期待できる。交通当局は、こうした定量的検証結果に基づき、ライドシェアリングのような新たな交通手段がもたらす経済効果を踏まえて、都市交通政策を策定することが可能となる。

都市交通のような複雑な動きを捉え、公共交通網の弾力的な増強や、ライドシェアリングの導入などの非連続な変化が都市にもたらすインパクトを、都市計画段階からシミュレーションにより検証していく取り組みは、IoTやAIなどの技術革新を通じて、いずれ都市計画の主流になると考えられる。

### 4. むすび

本書は、従来の都市を構成してきたインフラや建物(フィジカル)と、都市に浸透するインターネットやIoT(デジタル)の融合がもたらす都市の未来について、多彩な事例を通じて展望している。このような融合を通じて、都市のさまざまな「もの」が情報でつながるようになると、セクターを越えた交通状況の把握や地域のつながりなど、都市のダイナミクスをより深く把握できることを、本書は示している。また、こうした都市のダイナミクスの中心にあるべきは、建物やインフラの技術ではなくエンドユーザ(住民)であり、著者も強くこれを意識していることが印象深い。都市学や情報処理の知識が少なくとも、分かりやすく読める一冊となっている。

# 日立 総研

vol.11-3

2016年11月発行

発行人 白井 均

編集・発行 株式会社日立総合計画研究所

印刷 株式会社 日立ドキュメントソリューションズ

お問合せ先 株式会社日立総合計画研究所

東京都千代田区外神田一丁目18番13号

秋葉原ダイビル 〒101-8608

電話：03-4564-6700（代表）

e-mail：hri.pub.kb@hitachi.com

担当：主任研究員 坂本 真理

<http://www.hitachi-hri.com>

All Rights Reserved. Copyright© (株)日立総合計画研究所 2016（禁無断転載複写）  
落丁本・乱丁本はお取り替えいたします。



# 日立 総研

[www.hitachi-hri.com](http://www.hitachi-hri.com)